

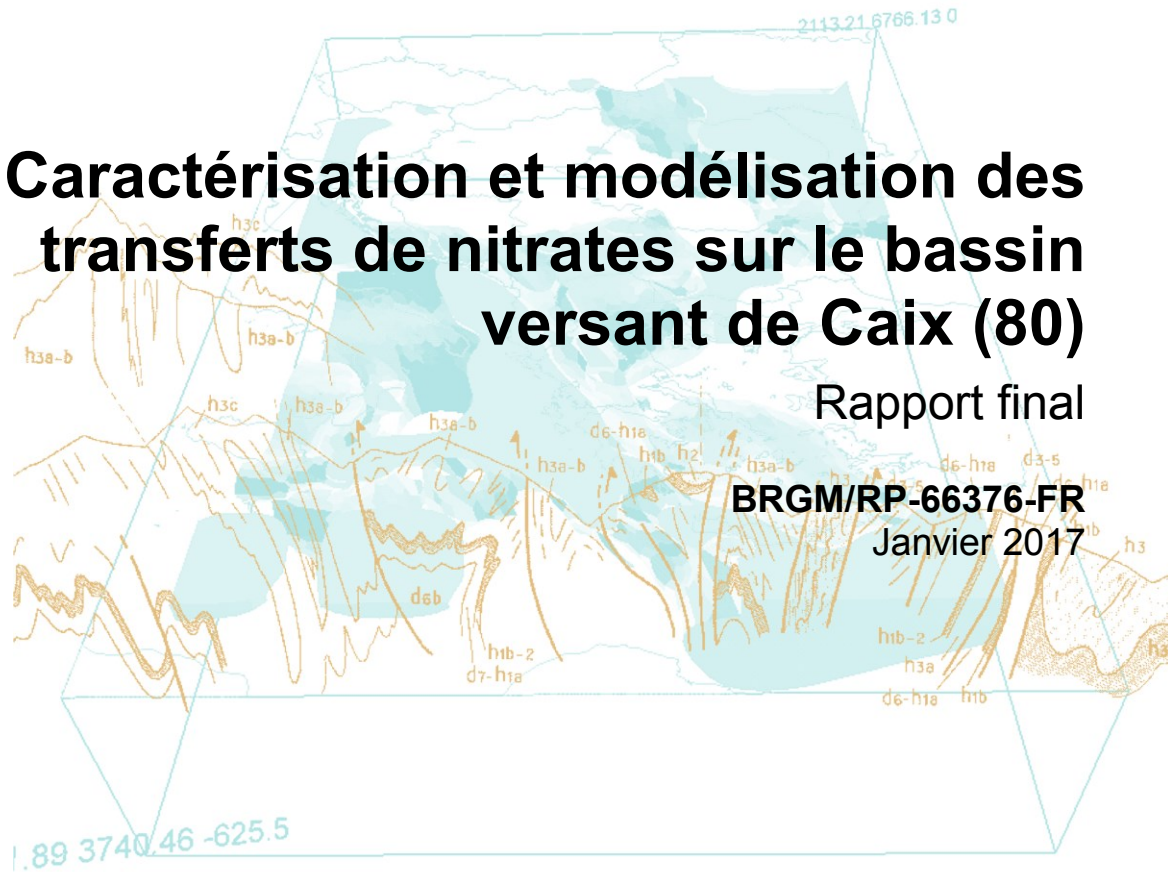


Caractérisation et modélisation des transferts de nitrates sur le bassin versant de Caix (80)

Rapport final

BRGM/RP-66376-FR

Janvier 2017



Caractérisation et modélisation des transferts de nitrates sur le bassin versant de Caix (80)

Rapport final

BRGM/RP-66376-FR

Janvier 2017

Étude réalisée dans le cadre du projet de recherche NITRAEAP

**Géraldine Picot-Colbeaux, Nicolas Surdyk, Hubert Péru,
Nicolas Devau, Dominique Thiéry, Marc Parmentier,
François Crastes de Paulet, Stéphane Touzelet**

Vérificateur :

Nom : Jean-Jacques Seguin

Date : 23 Mars 2017

Signature :



Approbateur :

Nom : Pascal Audigane

Date : 03 Avril 2017

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : Nitrates, Modélisation, Zone non saturée, Nappe de la craie, Caix, Somme, Pollution diffuse, MARTHE, MONICA

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Picot-Colbeaux G., Surdyk N., Péru H., Devau N., Thiéry D., Parmentier M., Crastes de Paulet F., Touzelet S. (2017) – Caractérisation et modélisation des transferts de nitrates sur le bassin versant de Caix (80). Rapport final. BRGM/RP-66376-FR, 92 p., 4 annexes.

© BRGM, 2017, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La présente étude est le résultat de la seconde étape du projet NITRAEAP qui a été construit pour répondre aux attentes de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie cherchant à définir les vitesses de transfert des nitrates (NO_3) vers les eaux souterraines et à évaluer la qualité des eaux de la nappe de la craie à l'horizon 2027 (DCE). Il s'agit d'identifier les mécanismes hydriques, physiques, physico-chimiques, et potentiellement microbiologiques, contrôlant le transfert réactif des nitrates vers la nappe de la craie.

L'objectif de cette seconde étape (application sur site expérimental) est de quantifier les bilans de masse d'azote et les flux des nitrates de la surface du sol vers la nappe de la craie d'une Aire d'Alimentation de Captage (AAC) «représentative» du contexte des aquifères crayeux du bassin Artois-Picardie en appliquant les concepts et outils numériques établis lors de la première étape du projet (Picot-Colbeaux et al, 2017).

L'AAC étudiée dans ce document est celle de Caix située dans le département de la Somme (80) sur le territoire agricole du Santerre dans le bassin de l'Avre. L'AAC de Caix 3 a été choisie afin d'appliquer les modèles développés. Contrairement au site de l'AAC de Caix 1 (présence de décharge, de station d'épuration, etc.), ce site a été mis en avant car les nitrates présents ont clairement une origine agricole, notamment en raison d'une faible activité urbaine. Une synthèse des données disponibles complétée par l'acquisition de connaissances nouvelles a été réalisée. Ces nouveaux apports sont :

- Une caractérisation des sols (mai 2015) pour compléter les données acquises lors de la réalisation de la carte des sols par la société GéoNord. Les mesures et les observations ont été réalisées dans 8 fosses pédologiques (1 fosse par unité de sol définie sur la carte des sols). Pour chaque fosse, les horizons ont été décrits puis analysés (nitrates, nitrites, matière organique, granulométrie, densité apparente). Les teneurs en nitrates mesurées dans les sols sont comprises entre 0.00 et 58.66 mg N- NO_3 /kg de sol sec (médiane à 1.39 avec deux valeurs élevées à 58.66 et 16.21 mg N- NO_3 /kg de sol sec). Deux horizons superficiels crayeux présentant une forte teneur en nitrates ont fait l'objet d'une caractérisation complémentaire (24 juillet 2015) qui a confirmé les teneurs en nitrates préalablement analysées.
- Une caractérisation des eaux souterraines (14-15 septembre 2015) sur 12 forages agricoles et 2 forages d'alimentation en eau potable (Caix 3) par prélèvements des eaux, mesures sur site des paramètres physico-chimiques et analyses géochimiques en laboratoire des eaux. Cette campagne de mesures a permis de connaître la composition chimique des eaux ainsi que leur répartition spatiale à un instant donné. Les valeurs de pH mesurées sont caractéristiques des eaux de la nappe de la craie (7.2). Les concentrations en nitrates analysées dans les eaux souterraines sont comprises entre 28.2 et 58.3 mg NO_3 /l avec une médiane de 42.7 mg/l,

- Une caractérisation d'un profil de nitrates et une reconnaissance géologique (29 septembre 2015) par sondage de 22 m de profondeur. Les faciès rencontrés sont des limons sur les 5 premiers mètres suivis de la craie sénonienne jusqu'à la nappe, identifiée à 22 m. Les échantillons solides ont été prélevés tous les 50 cm et analysés afin d'obtenir un profil vertical de teneurs en nitrates, nitrite, ammonium et humidité pondérale sur toute la hauteur de la zone non saturée. Les résultats montrent une nette démarcation des teneurs en nitrates entre les limons et la craie. Les teneurs en nitrates sont plus élevées dans la craie, elles fluctuent de 3.41 à 8.17 mg N-NO₃/kg de sol sec jusqu'à 17 m. Les teneurs en nitrates s'homogénéisent dans la zone de battement de la nappe plus en profondeur entre 1.46 et 2.86 mg N-NO₃/kg de sol sec. Ponctuellement des mesures de carbone organique ont été réalisées et montrent des valeurs plus élevées dans les limons entre 1.5 et 2.4 g/kg et plus faibles dans la zone crayeuse de l'ordre de 0.5 g/kg.
- Une expérience en laboratoire de percolation et traçage avec des nitrates sur des colonnes non remaniées de craie matricielle et de limons. L'injection d'une solution dopée en nitrates et en bromures à un débit imposé de 0.4 ml/min dans les colonnes saturée en eau a montré que les nitrates se comportaient comme un traceur non réactif. Une différence importante de comportement en termes de dispersivité est apparue entre la craie matricielle et les limons, les limons étant très dispersifs.

Sur la base des données recueillies sur l'AAC de Caix 3 une modélisation en coupe verticale des écoulements et du transport de nitrates a été réalisée à l'aide des modèles couplés MARTHE-MONICA (développements réalisés dans le cadre du projet, Picot-Colbeaux et al, 2017). Un scénario impliquant la reforestation de parcelles cultivées a été réalisé pour mettre en évidence les interactions entre les facteurs hydrogéologiques, agro-pédologiques et (bio)géochimiques influençant l'évolution des concentrations en nitrates dans la zone non saturée et dans la nappe de la craie. Les simulations calculent les bilans hydriques et les bilans azotés du sol nécessaires à la détermination des flux de nitrates arrivant à la nappe. Elles sont également construites pour mieux comprendre les flux et les stockage/déstockage des nitrates dans la zone non saturée et prédire les tendances évolutives des concentrations en nitrates dans la nappe de la craie. Par ailleurs, un schéma conceptuel dynamique du transport de nitrates est proposé suite à l'interprétation des mesures ponctuelles observées dans la zone non saturée et aux captages AEP de Caix 3.

Une piste d'amélioration évidente pour une poursuite du projet serait la mise en place d'un réseau de mesures, spatialisé sur l'AAC de Caix 3, du suivi piézométrique et des concentrations en nitrates dans les sols, la zone non saturée et la nappe. L'acquisition spatio-temporelle de ces informations permettrait d'améliorer le schéma conceptuel proposé de la dynamique des transferts de nitrates et de valider les concepts développés dans l'outil de calcul MARTHE-MONICA à l'échelle de l'AAC. Enfin, le suivi des itinéraires techniques des cultures sur l'AAC de Caix 3 permettrait d'identifier plus finement les bilans azotés de l'hydrosystème et d'appliquer le modèle MARTHE-MONICA afin de prédire les concentrations en nitrates des forages AEP de Caix 3.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Synthèse et analyse des données existantes sur le bassin versant de Caix (80)13	
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	13
2.2. CLIMATOLOGIE	15
2.2.1.Composition chimique des eaux météoriques	16
2.3. PEDOLOGIE.....	19
2.4. AGRICULTURE/AGRONOMIE	22
2.5. GEOLOGIE	24
2.6. HYDROGEOLOGIE	27
2.6.1.Piézométrie.....	27
2.6.2.Zone Non Saturée (ZNS)	29
2.6.3.Qualité de l'eau souterraine	31
2.6.4.Caractéristiques hydrauliques de l'aquifère.....	35
2.6.5.Captages d'eau souterraine	36
2.7. CONCLUSIONS.....	43
3. Caractérisations complémentaires sur le bassin versant de Caix (80)	45
3.1. OBJECTIFS DES CARACTERISATIONS COMPLEMENTAIRES.....	45
3.2. CARACTERISATION PEDOLOGIQUE DES SOLS	45
3.3. CARACTERISATION D'UN PROFIL DE NITRATES DANS LA ZNS	48
3.3.1.Localisation, échantillonnages et analyses	48
3.3.2.Interprétation du transfert vertical des nitrates dans la ZNS	50
3.4. CARACTERISATION DES EAUX DE LA NAPPE DE LA CRAIE	52
3.5. ESSAI DE PERCOLATION SUR COLONNE DE CRAIE ET LIMON.....	58
3.6. CONCLUSIONS.....	65
4. Modélisation des transferts de nitrates appliquée à l'AAC de Caix 3 (80) à l'aide de l'outil de modélisation MARTHE-MONICA.....	67
4.1. DIMENSIONNEMENT DU MODELE.....	67
4.1.1.Dimensionnement spatio-temporel du modèle	67
4.1.2.Paramètres hydrodynamiques	69
4.1.3.Paramètres culturaux.....	70

4.1.4. Initialisation	71
4.2. RESULTATS DES SIMULATIONS	72
4.2.1. Bilan hydrodynamique du modèle.....	72
4.2.2. Bilan azoté du sol (1 ^{er} mètre du domaine maillé = 5 premières lignes de cellules) 74	
4.2.3. Bilan de masse.....	79
4.2.4. Impact sur la ZNS.....	80
4.2.5. Impact sur la nappe	83
5. Conceptualisation des transferts de nitrates sur l'AAC de Caix 3 (80)	85
6. Conclusion	87
7. Bibliographie.....	89

Liste des figures

<i>Figure 1 – Situation géographique de la zone d'étude Caix (80)</i>	13
<i>Figure 2 – Délimitation de l'aire d'alimentation et des périmètres de protection des captages Caix 1 et 3 (Source : SIEP du Santerre)</i>	14
<i>Figure 3 – Emprise communale de l'aire d'alimentation des captages Caix 1 et 3.....</i>	14
<i>Figure 4 – Evolution des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) annuelles à Caix</i>	15
<i>Figure 5 – Répartition des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyennes mensuelles à Caix (moyennes sur la période 1994-2015)</i>	15
<i>Figure 6 – Amplitude des précipitations mensuelles à Caix (diagramme bleu : valeur mensuelle moyenne sur la période 1994-2015 ; points bleus : valeurs mensuelles minimum et maximum)</i>	16
<i>Figure 7- Evolution du pH sur les stations d'Abbeville, Carpentras et Gourdon (Le Moullec & Mezdoor, 2011)</i>	17
<i>Figure 8 - Evolutions moyennes des nitrates (haut) et de l'ammonium (bas) dans les dépôts atmosphériques sur les stations d'Abbeville, Carpentras et Gourdon – unité : N, kg/ha/an (Le Moullec & Mezdoor, 2011)</i>	18
<i>Figure 9 – Carte des sols des AAC de Caix 1 et Caix 3 (source Géonord)</i>	19
<i>Figure 10 – Occupation du sol en 2010 pour les communes de Caix et de Rosiere-en-Santerre</i>	22
<i>Figure 11 - Implantation des industries agroalimentaires en Picardie</i>	23
<i>Figure 12 - Carte géologique de Roye 1/50000 (n°63) avec l'emplacement des captages de Caix et du forage 00632X0030 (Source : BRGM).....</i>	26
<i>Figure 13 - Localisation des ouvrages souterrains et cartes piézométriques disponibles dans le secteur d'étude (Piézomètres pour le suivi de l'altitude de la nappe de la craie, Qualitomètres pour le suivi de la qualité géochimique de la nappe de la craie, Log-geol pour la caractérisation lithologique du sous-sol).....</i>	28
<i>Figure 14 - Chroniques piézométriques des ouvrages suivis par le BRGM (Source : ADES). ...</i>	29

Figure 15 – Variation de l'épaisseur de la zone non saturée au regard de la lithologie (LP : Limons des Plateaux, LPs : Limons argileux à silex)	30
Figure 16 - Profondeur de la nappe au regard de la géologie locale sur les forages AEP 00632X0069/F31 et 00632X0070/F32 de Caix 3 (Sources : SIEP - BRGM)	30
Figure 17 - Concentrations en chlorure (bleu), nitrates (vert) et sulfate (rouge) dans les captages de Caix 1 (00632X0008/F1, 00632X0058/F2, 00632X0010/F, 00632X0118/F1-4) depuis 1960. Les séries « chlorure », « nitrates » et « sulfate » proviennent du SIEP et correspondent à des données pour lesquelles il a été impossible de distinguer la provenance parmi les 4 captages (Sources : SIEP – BSS - ADES).	32
Figure 18 - Concentrations en chlorure, nitrates et sulfate dans les captages de Caix 3 (Sources : SIEP – BSS - ADES)	33
Figure 19 - Concentrations en chlorure, nitrates et sulfate des qualitomètres situés sur le secteur d'étude (00633X0130, 00633X0104, 00633X0103, 00637X0095, 00636X0046, 00638X0010)	34
Figure 20 – Localisation des ouvrages souterraines captant la nappe de la craie pour l'AAC de Caix 3 et sa périphérie proche	37
Figure 21 - Chroniques piézométriques des captages de Caix 1 et 3 (Source : SIEP)	38
Figure 22 - Evolution du volume annuel total prélevé par les forages AEP à Caix 3 (Sources : AEAP, SIEP)	39
Figure 23 - Evolution du volume annuel prélevé par les forages 00632X0069/F31 et 00632X0070/F32 de Caix 3 (Sources : AEAP, SIEP)	39
Figure 24 – Evolution du volume total prélevé à l'échelle journalière entre 2011 et 2015 par les forages AEP de Caix 3 (Source : SIEP)	40
Figure 25 – Evolution des volumes journaliers prélevés par les forages 00632X0069/F31 et 00632X0070/F32 de Caix 3 (Source : SIEP)	40
Figure 26 – Débit pompé dans le forage 00632X0070/F32 Erreur: +/- 5 m3/h d'après le SIEP (Source : SIEP)	41
Figure 27 - Prélèvements en eau souterraine recensés dans l'AAC de Caix 3 (Source : AEAP)42	
Figure 28 - Prélèvements en eau souterraine recensés pour l'irrigation dans l'AAC de Caix 3 et sa périphérie (Source : AEAP)	42
Figure 29 - Prélèvements annuels moyens en eau souterraine par forage destiné à l'irrigation dans l'AAC de Caix 3 (Source : AEAP). Sur la période, le nombre de forages moyens est de 12 et variant de 5 à 17	43
Figure 30 – Localisation des fosses dédiées à la caractérisation pédologique des sols sur fond de carte des unités de sols (UTS et UCS)	46
Figure 31 – Synthèse des écoulements probables en subsurface et transferts potentiels de nitrates par unités de sol (les flèches bleues indiquent les sens d'écoulement dominants ; les couleurs indiquent le risque vis-à-vis du transfert de nitrates : blanc = peu de risque, hachures rouges = risque modéré ; rouge = risque fort)	47
Figure 32 – Localisation du sondage géologique dédié à la caractérisation du profil de nitrates dans la ZNS sur fond de carte des unités de sols (UTS et UCS)	48
Figure 33 – Faciès et teneurs en nitrates (N-NO3 mg/kg de sol sec) dans la ZNS en fonction de la profondeur	49
Figure 34 – Teneurs en eau pondérale (g/kg) et en carbone organique (g/kg) dans la ZNS en fonction de la profondeur	50
Figure 35 : Cartographie des points d'échantillonnage en eaux souterraines sélectionnés pour la campagne de septembre 2015	52

<i>Figure 36 : Erreur sur l'électroneutralité ($100 \cdot (\text{Cat} - \text{An}) / (\text{Cat} + \text{An})$) par rapport au pH tel que mesuré sur site sur les eaux souterraines prélevées en septembre 2015 à Caix 3.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure 37 : Diagramme de Schoeller des eaux souterraines prélevées en septembre 2015 sur Caix 3</i>	<i>54</i>
<i>Figure 38 : Etat de saturation vis-à-vis de la Calcite (CaCO_3) et de la Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) des eaux souterraines prélevées en septembre 2015 sur Caix 3. Indice de saturation < 0 : eaux sous-saturées ; indice de saturation = 0 : à l'équilibre ; indice de saturation > 0 : sur-saturation</i>	<i>55</i>
<i>Figure 39 : Cartographie des concentrations en nitrates (NO_3), sulfate (SO_4), potassium (K), sodium (Na), fer (Fe) et nitrite (NO_2) dans les eaux souterraines de l'AAC de Caix 3 mesurées en septembre 2015</i>	<i>56</i>
<i>Figure 40 : Diagrammes binaires des concentrations en nitrates vs sulfates, chlorure et potassium dans les eaux souterraines en septembre 2015 pour Caix1 et 3</i>	<i>57</i>
<i>Figure 41 : Diagramme sulfates vs nitrates comparant les données historiques aux captages de Caix 3 (données de la Figure 18) et les données obtenues en septembre 2015 en différents points de l'AAC.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 42 : Prélèvements des solides sur l'AAC de Caix 3 destinés aux expériences de percolation en colonne (A. Craie altérée sous horizons de sol et craie fracturée, carrière d'Hangest-en-Santerre, juillet 2015 ; B. Limons loessiques représentatifs de l'UTS 5 / fosse 1, mai 2015.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 43 : Dispositif expérimental de laboratoire dédié aux expériences de percolation sur colonne de craie</i>	<i>61</i>
<i>Figure 44 : Dispositif expérimental de laboratoire dédié aux expériences de percolation sur colonne de limon.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure 45 : Conductivité et concentration C/C0 en Br et NO_3 en fonction du temps (A. essai de percolation sur la carotte de craie matricielle, B. 1er essai de percolation de courte durée sur la carotte de limons, C. 2nd essai de percolation de longue durée sur la carotte de limons).....</i>	<i>63</i>
<i>Figure 46 : Estimation des paramètres de porosité efficace et de dispersivité par reproduction des courbes de restitution C/C0 en Br et NO_3 en fonction du temps à l'aide d'une solution analytique de l'équation de convection-dispersion (A. carotte de craie matricielle, B. 1er essai carotte de limons, C. 2nd longue durée carotte de limons)</i>	<i>64</i>
<i>Figure 47 : Courbes de restitution en NO_3 en fonction du temps pour la craie matricielle et pour les limons obtenues à l'aide d'une solution analytique de l'équation de convection-dispersion.....</i>	<i>65</i>
<i>Figure 48 : Représentation conceptuelle du modèle 2D de Caix sous MARTHE-MONICA</i>	<i>69</i>
<i>Figure 49 : Rotations des cultures des parcelles prises en compte dans le modèle MARTHE-MONICA.....</i>	<i>69</i>
<i>Figure 50 : Lois de rétention et de perméabilité utilisées dans le modèle MARTHE-MONICA. .</i>	<i>70</i>
<i>Figure 51 : Apports globaux d'engrais inorganique (gauche) et de résidus de cultures (droite) dans le modèle MARTHE-MONICA</i>	<i>71</i>
<i>Figure 52 : Etat initial en coupe verticale des teneurs en eau (A) et des concentrations en nitrates (B) dans le modèle MARTHE-MONICA après 40 ans de mise en régime (orientation W-E)</i>	<i>72</i>
<i>Figure 53 : Evolution de la recharge effective fonction des conditions atmosphériques et des cultures (en cumulé)</i>	<i>73</i>
<i>Figure 54 : Evolution des débits transitant par les limites à charges imposées.....</i>	<i>73</i>

<i>Figure 55 : Evolution du stock d'eau dans le domaine (valeur positive = stockage ; valeur négative = déstockage)</i>	<i>73</i>
<i>Figure 56 : Bilan azoté calculé par le modèle MARTHE-MONICA (Picot-Colbeaux et al., 2017)74</i>	
<i>Figure 57 : Bilan azoté du sol et des cultures calculé par MARTHE-MONICA (les masses sont des masses d'azote, 1 kg de nitrates NO₃ = 4.42857 kg d'azote N)</i>	<i>76</i>
<i>Figure 58 : Percolation d'azote sous forme de nitrates sous la zone racinaire après le bilan hydrodynamique et azoté du sol et des cultures calculé par MARTHE-MONICA (différence entre la valeur du stock de NO₃ au début et à la fin du pas de temps hydroclimatique).....</i>	<i>77</i>
<i>Figure 59 : Evolution des flux azotés cumulés calculés par MARTHE-MONICA.....</i>	<i>77</i>
<i>Figure 60 : Evolution cumulée de la percolation d'azote sous la zone racinaire au regard des évolutions cumulées du stockage d'azote dans le sol dû aux pratiques agricoles et aux cultures (sous forme de nitrates)</i>	<i>78</i>
<i>Figure 61 : Evolution de la percolation d'azote journalière moyenne sous la zone racinaire (sous forme de nitrates).....</i>	<i>78</i>
<i>Figure 62 : Evolution des masses calculées à l'échelle du domaine modélisé (masses entrantes et sortantes par les charges imposées :Pot_Impos ; masses stockées et déstockées : Dé-stock_Néga, Stockage_Posit, Stockage_Net ; masse totale du domaine maillée : masse/Chal_Tot). Les masses sont des masses de nitrates par unité de surface79</i>	
<i>Figure 63 : Evolution des charges matricielles (ou pressions négatives), teneurs en eau et perméabilités calculées dans la zone non saturée à 0.05, 0.20, 1.50, 10.50 et 30.50 m de profondeur.....</i>	<i>81</i>
<i>Figure 64 : Evolution des profils de charges matricielles (ou pressions négatives), teneurs en eau et perméabilités calculées dans la zone non saturée entre deux périodes climatiques contrastées (de juin à novembre)</i>	<i>81</i>
<i>Figure 65 : Evolution des concentrations en nitrates calculées dans la zone non saturée au droit de la parcelle cultivée (amont ZS43) et de la parcelle cultivée puis boisée (ZS43) à 0.05, 0.20, 1.50 et 10.50 m de profondeur</i>	<i>82</i>
<i>Figure 66 : Evolution des profils de concentrations en nitrates calculées dans la zone non saturée de 1990 à 2015 au droit de la parcelle cultivée et de la parcelle cultivée puis boisée82</i>	
<i>Figure 67 : Représentation en coupe verticale des concentrations en nitrates calculées de 1990 à 2015 sur le domaine modélisé (orientation W-E)</i>	<i>83</i>
<i>Figure 68 : Evolution des concentrations en nitrates calculées dans la nappe en amont et en aval du domaine modélisé et au droit des parcelles cultivée (amont ZS43) et cultivée puis boisée (ZS43)</i>	<i>84</i>
<i>Figure 69 : Evolution des concentrations en nitrates mesurés dans la zone non saturée(sous parcelle boisée ZS43 en mai 2015) et dans la nappe aux captages AEP de Caix 3 (F3.1)</i>	<i>85</i>
<i>Figure 70 : Schéma conceptuel dynamique du transport de nitrates sur l'AAC de Caix 3 (1. Stockage dans la ZNS ; 2. Elévation du niveau piézométrique ; 3. Déstockage de la ZNS ; 4. Baisse du niveau piézométrique).....</i>	<i>86</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 - Caractéristiques de l'eau de pluie en France Moyennes annuelles (MIQUEL G., 2003)</i>	16
<i>Tableau 2 - Analyse chimique de l'eau de pluie à Lihons (80) en juin 2015 (Source : SIEP du Santerre)</i>	18
<i>Tableau 3 - Coupe du forage 00632X0130/F2 (Source : BRGM - Infoterre)</i>	25
<i>Tableau 4 - Productivité de la craie (en nappe libre) dans la région Nord-Pas-de-Calais (Source : Roux et al., 2013)</i>	35
<i>Tableau 5 - Productivité des deux captages de Caix 3 (Cobo, 1991) ; * valeur particulièrement influencée par le mode de pompage</i>	35
<i>Tableau 6 - Productivité de différents forages agricoles présents sur l'AAC de Caix 3 (Sources : Infoterre ; Comon, 1992 & 1995)</i>	36
<i>Tableau 7 - Caractéristiques des captages de Caix 1 et 3 (Source : BSS)</i>	37
<i>Tableau 8 - Résultats de mesure in situ et d'analyse en laboratoire des eaux souterraines sur Caix3 (LQ : limite de quantification ; UTS : unité de sol sus-jacent)</i>	53
<i>Tableau 9 - Analyses d'attaque totale de roche (mise en solution) des échantillons de craie et de limons par fluorescence X et ICP/AES (LQ : limite de quantification)</i>	59

Liste des annexes

Annexe 1 Rapport de l'étude pédologique réalisée par Géonord	93
Annexe 2 Caractérisation complémentaire des sols par fosses pédologiques	95
Annexe 3 Données mesurées lors de la réalisation du profil ZNS sur la parcelle boisée ZS43 à Caix 3	105
Annexe 4 Fichiers de paramètres MARTHE-MONICA utilisés pour les simulations en coupe verticale (2D) à Caix	109

1. Introduction

La pollution des eaux souterraines par les nitrates est liée à de très nombreux processus physiques, physico-chimiques et biologiques couplés qui se déroulent à la fois dans le sol et la zone non-saturée (ZNS) sous-jacente. Plusieurs études (Benson et al., 2007; Babiker et al., 2004 et d'autres) ont cherché à identifier les conditions et les mécanismes de lessivage de l'azote et sa mobilisation/transfert depuis le sol jusqu'aux nappes. Il ressort de ces études que la compréhension du devenir des substances azotées dans les sols et la zone non saturée doit prendre en compte de manière couplée un ensemble de processus à différentes échelles spatio-temporelles.

En premier lieu, l'occupation du sol (zone agricole, zone d'habitation...) est un facteur majeur à prendre en compte, au même titre que le climat, les propriétés hydrauliques du sol, et la profondeur de la nappe (Cameron et al., 1979 ; Sheperd, 1996). Dans les sols, de nombreux processus physico-chimiques et microbiologiques induisent des phénomènes de stockage et de retard dans le transfert des nitrates. Par ailleurs, la salinité des eaux affecte indirectement le transfert des nitrates en modifiant la structure du sol (avec notamment les phénomènes de gonflement, ...) ainsi que ses propriétés hydrauliques (Sameni et Morshedi, 2000). Levy et al. (2005) soulignent la complexité de l'effet combiné de la salinité et de l'humidité sur la conductivité hydraulique des sols et montrent que ces paramètres agissent fortement sur les propriétés pétrophysiques de la structure porale, et donc sur le transfert des solutés.

Pour la zone non saturée en eau, située en-dessous de la zone racinaire, la texture et la structure poreuse sont des paramètres qui jouent un rôle important sur les propriétés hydrodynamiques et le temps de transfert des solutés (Feyen et al. 1998). Ainsi, lorsque la structure présente une macroporosité, les écoulements préférentiels aboutissent à un transfert accéléré des nitrates. Ce transfert est facilité dans les milieux de texture grossière (sables, graviers) à cause de leur perméabilité relativement importante et de leur faible capacité de rétention d'eau. Comme pour les sols, le transport d'un soluté peut également être influencé par des phénomènes physico-chimiques et microbiologiques qui dépendent des propriétés intrinsèques du milieu. La teneur en eau de la zone non saturée affecte ses propriétés hydrauliques : les conditions de saturation jouent un rôle important dans le transfert et la réactivité des nitrates.

A cause de la complexité et de l'interdépendance des phénomènes physiques, physico-chimiques, thermocinétiques et microbiologiques contrôlant la minéralisation, la réactivité et le transfert des nitrates dans le sol et la zone non saturée en eau (ZNS) jusqu'aux nappes phréatiques, il est difficile de modéliser et de prédire le devenir des stocks de nitrates accumulés dans le sol et le sous-sol. Ces stocks peuvent être issus des activités agricoles passées ayant pu impliquer une gestion moins raisonnée des intrants azotés en comparaison avec les pratiques actuelles. Dans plusieurs régions d'Europe, des questions environnementales et socio-économiques se posent, d'où la nécessité de comprendre et de maîtriser au mieux les temps de transfert différés sur plusieurs années, voire plusieurs décennies, selon le type de sols, les conditions climatiques, l'occupation des sols, l'activité agricole, etc. Cette question se pose aussi au niveau national et intéresse, au premier rang, tous les exploitants d'eau, les Agences de l'eau, les DREAL, les autorités publiques car le devenir des nitrates et l'atteinte du bon état (écologique, chimique et quantitatif) des masses d'eau (de surface et souterraine) est l'une des exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'eau et la Directive Fille.

L'Agence de l'Eau Artois-Picardie et le BRGM ont initié le projet NITRAEAP afin de progresser dans la compréhension des mécanismes de transfert des nitrates et d'identifier les paramètres clefs contrôlant l'évolution et les temps de transfert des stocks de nitrates dans la ZNS dans un contexte crayeux. Ce projet s'articulera autour de plusieurs tâches complémentaires comme la collecte de données de terrain, l'acquisition de données en laboratoire et la modélisation hydrodynamique des écoulements, le transport, la réactivité biogéochimique et le couplage entre processus.

Dans ce projet, la compréhension des mécanismes caractérisant les flux et le stockage/déstockage de nitrates dans la zone non saturée dans le contexte crayeux de la région Artois-Picardie a été approfondie. Une approche multidisciplinaire reposant sur des travaux de modélisation des transferts de nitrates a été mise en place. La démarche qui suit, est basée sur une compilation des données et des connaissances disponibles sur le transfert des nitrates dans les sols et la ZNS des systèmes crayeux, et inclue le continuum sol-ZNS-ZS et les mécanismes prépondérants. L'originalité de ce projet est de combiner les approches agronomiques, géochimiques et hydrogéologiques afin de permettre de tracer les principaux mécanismes affectant le transfert des nitrates le long du continuum ZNS – ZS dans le contexte de la nappe de craie (Nord-Pas-de-Calais). Par conséquent, les données géochimiques, pédologiques et agronomiques (y compris les outils numériques) seront intégrées dans des outils de simulation des processus de transfert type MARTHE (Thiéry, 2015a-e ; 2016). Dans cette démarche, des liens forts seront établis entre la caractérisation du milieu réel, les expérimentations de laboratoire et les modélisations numériques aussi bien interprétatives que prédictives.

Deux étapes complémentaires et imbriquées chronologiquement sont proposées : i) une première étape de conceptualisation et de modélisation des processus clefs puis ii) une seconde étape d'application sur un site expérimental à l'échelle d'une Aire d'Alimentation de Captage (AAC) bien caractérisée.

L'objectif de la seconde étape (application sur site expérimental) est de quantifier les bilans de masse d'azote et les flux des nitrates de la surface du sol vers la nappe de la craie d'une AAC «représentative» en appliquant les concepts et outils numériques établis lors de la première étape.

2. Synthèse et analyse des données existantes sur le bassin versant de Caix (80)

Cette phase est dédiée à la compilation bibliographique des données existantes sur le site d'étude et sur des sites similaires ayant fait l'objet de recherches. La synthèse des données existantes concernera les pratiques agricoles, les concentrations en différents éléments chimiques dans l'eau, mais aussi les données pédologiques, pétrophysiques, hydriques et minéralogiques du sous-sol. A l'issue de cette synthèse bibliographique, une colonne 1D intégrant les données étudiées et une analyse spatio-temporelle des hétérogénéités recensées sur l'Aire d'Alimentation de Captage (AAC) pourront être conceptualisées.

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Caix est une commune du département de la Somme (80), située sur le plateau du Santerre à environ 25 km à l'est d'Amiens (Figure 1a.). Le Santerre, situé à l'Est du département de la Somme, est un vaste plateau agricole comme le montre la photo aérienne de la zone d'étude de Caix (Figure 1c.). Il est limité au nord et à l'est par la vallée de la Somme, au sud et à l'ouest par celle de l'Avre. Son altitude moyenne est comprise entre 90 et 105 m NFG. La zone d'étude concerne plus particulièrement les deux AAC de Caix 1 et 3 au sein du haut-bassin versant de la Luce. Cette rivière prend sa source à proximité de Caix, à l'altitude 64 m NFG et se jette en rive droite de l'Avre sur la commune de Thézy-Glimont, à l'altitude 32 m NGF, avant de rejoindre la Somme. Sur la commune de Caix, les vallées orientées sud-nord, « vallée des Arents » et « vallée du Bois Forest », et sud-est-nord-ouest, « vallée du Bois » et « vallée de Vrély », sont deux vallées sèches (Figure 1b).

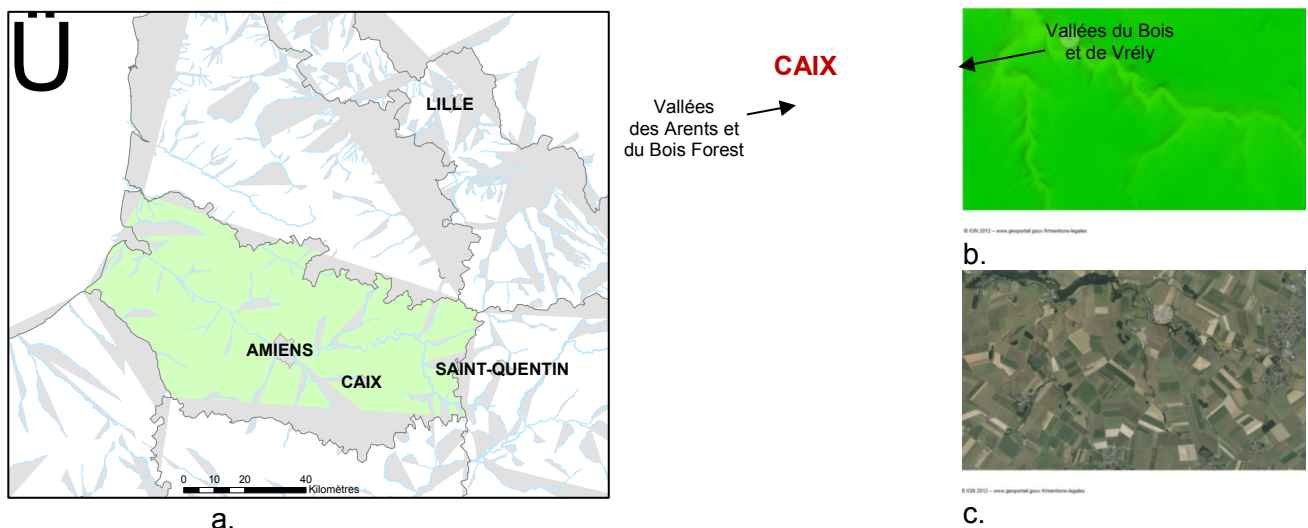


Figure 1 – Situation géographique de la zone d'étude Caix (80)

Les AAC ont été délimitées en 2011 et leurs surfaces sont respectivement de 32,73 km² pour Caix 1 et de 20,36 km² pour Caix 3 (Figure 2). Les territoires de seize communes sont compris en totalité ou partiellement dans ces AAC : Arvillers, Beaufort-en-Santerre, Bouchoir, Harbonnières, Hangest-en-Santerre, Caix, Folies, Fouquescourt, Le Quesnel, Lihons, Méharicourt, Maucourt, Rosières-en-Santerre, Rouvroy-en-Santerre, Vrély et Warvillers (Figure 3). Ces AAC sont occupées essentiellement par des grandes cultures. La grande majorité des exploitations est orientée vers la culture céréalière et les cultures industrielles (betteraves, pommes de terre, pois). La part de la culture principale dans l'assolement est en moyenne de 47%. Peu d'élevages y sont recensés.

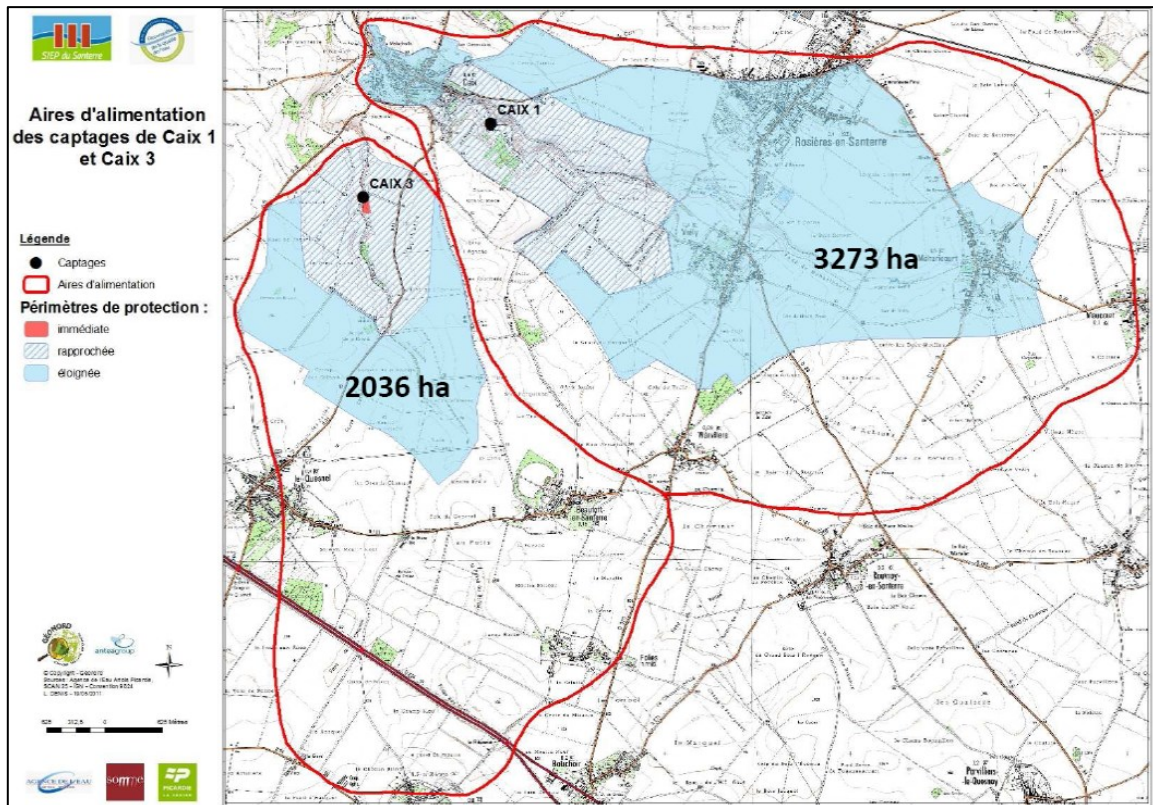


Figure 2 – Délimitation de l'aire d'alimentation et des périmètres de protection des captages Caix 1 et 3 (Source : SIEP du Santerre)

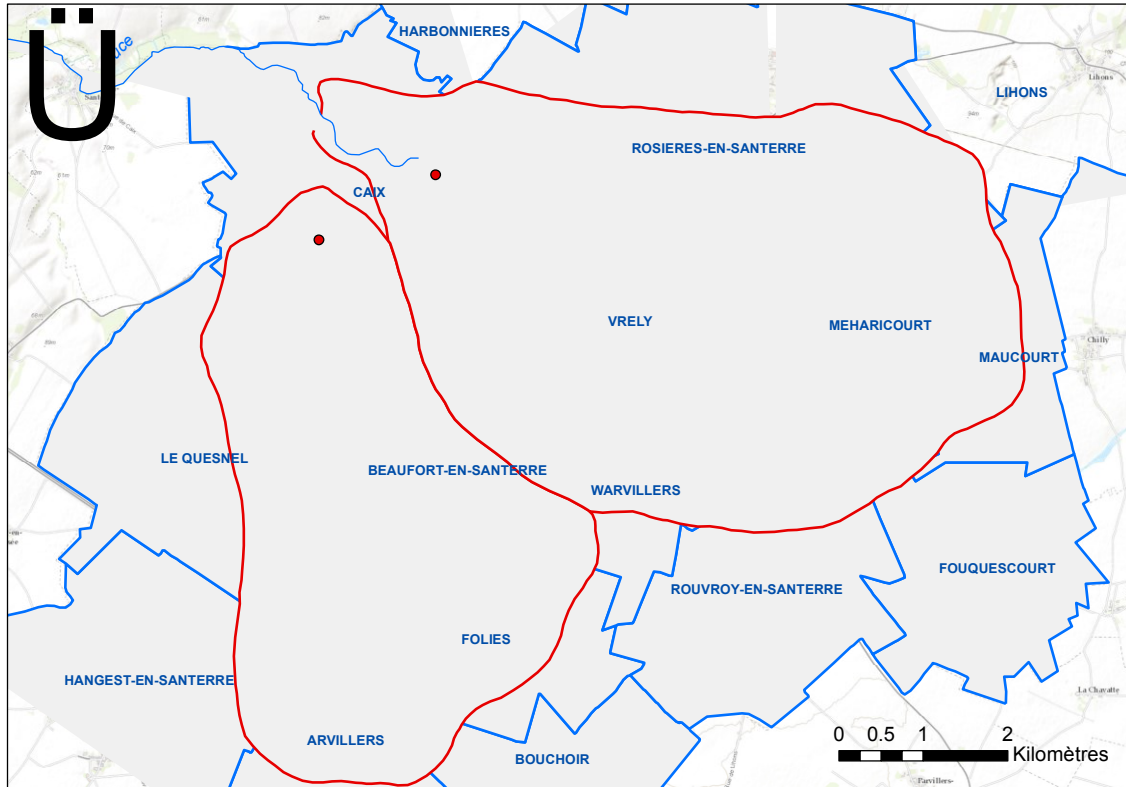


Figure 3 – Emprise communale de l'aire d'alimentation des captages Caix 1 et 3

2.2. CLIMATOLOGIE

À l'échelle régionale, le climat du Santerre est de type tempéré et océanique doux : la température moyenne est d'environ 10° C. Les données enregistrées sur les stations météorologiques de Rouvroy-en-Santerre, d'Amiens-Glisy et d'Abbeville, situées à proximité de Caix (Figure 4a.), montrent que les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 630 mm/an (Figure 4b.) avec deux extrêmes de 400 mm/an en 2003 à Rouvroy-en-Santerre (période de sécheresse), et de 1040 mm/an en 2001 à Rouvroy-en-Santerre (période des inondations de la Somme). L'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 700 mm/an et reste stable dans le temps avec un minimum de 660 mm/an et un maximum de 800 mm/an (Figure 4c.).

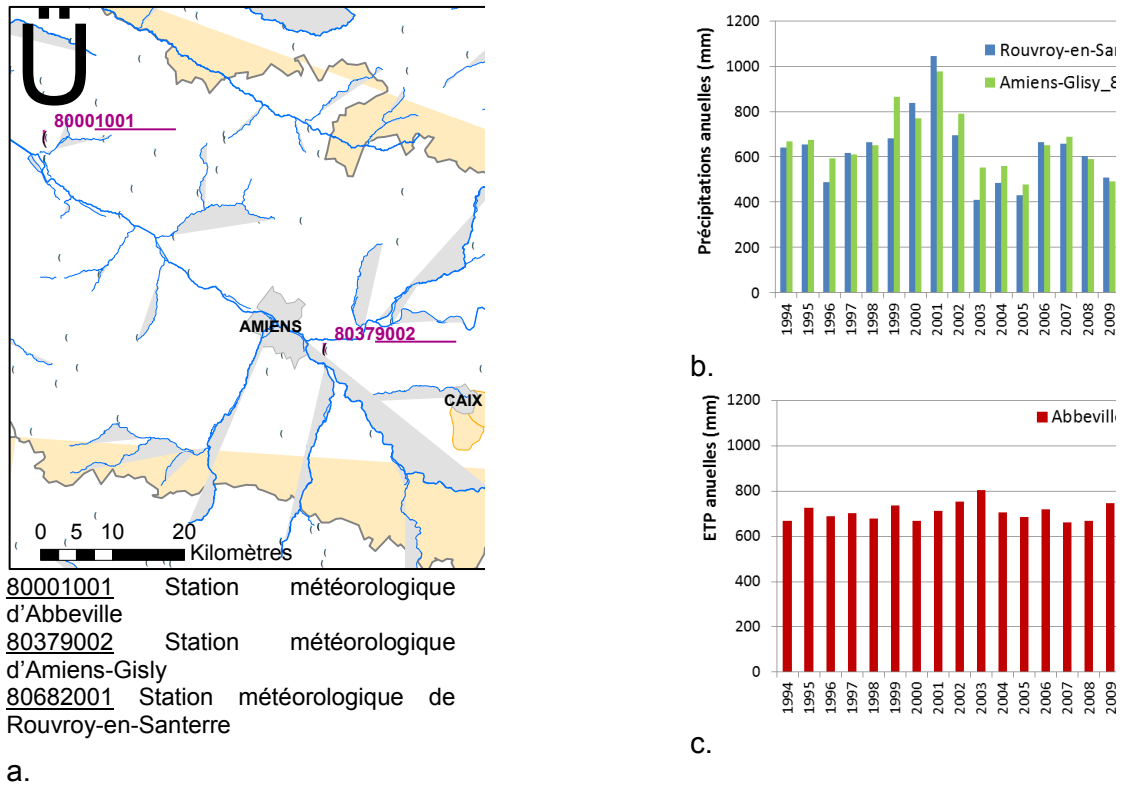


Figure 4 – Evolution des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) annuelles à Caix

Les précipitations se répartissent uniformément sur les mois de l'année, alors que les données mensuelles d'ETP se répartissent de façon plus irrégulière, comme l'indiquent les valeurs mensuelles moyennes calculées sur la période 1994-2015 (Figure 5). Les précipitations moyennes sont de l'ordre de 50 mm/mois, oscillant entre 40 mm/mois pour les mois les plus secs (avril et mai) et 70 mm/mois pour les mois les plus humides (juillet et décembre). L'ETP est comprise entre 20 et 110 mm/mois. La recharge des aquifères s'effectue majoritairement d'octobre à février.

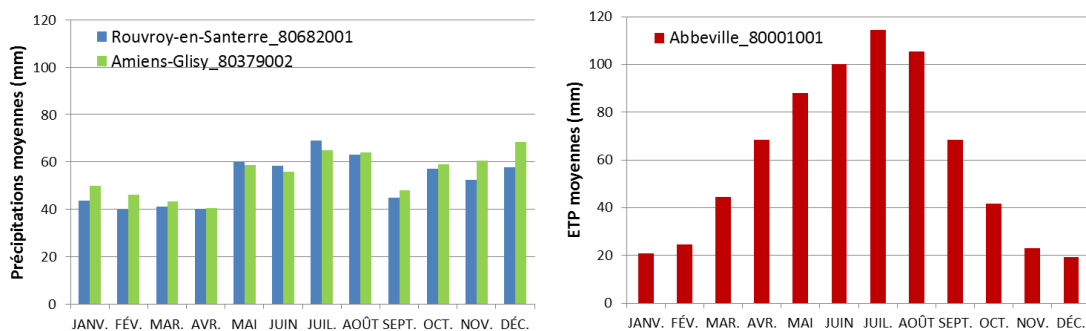


Figure 5 – Répartition des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyennes mensuelles à Caix (moyennes sur la période 1994-2015)

Afin d'appréhender au mieux les infiltrations des eaux météoriques dans le sol sur le secteur de Caix, et du possible lessivage de nitrates vers la nappe, il est important de noter les variations d'une année sur l'autre comme le montre la Figure 6. En effet des phénomènes extrêmes très localisés sont enregistrés : la valeur maximale du mois de juillet à Rouvroy-en-Santerre est de 230 mm alors qu'elle ne dépasse pas les 150 mm à Amiens-Glisy. Ces fortes précipitations sont très localisées, et sont d'ailleurs associées à une crue de l'Avre en juillet 2001.

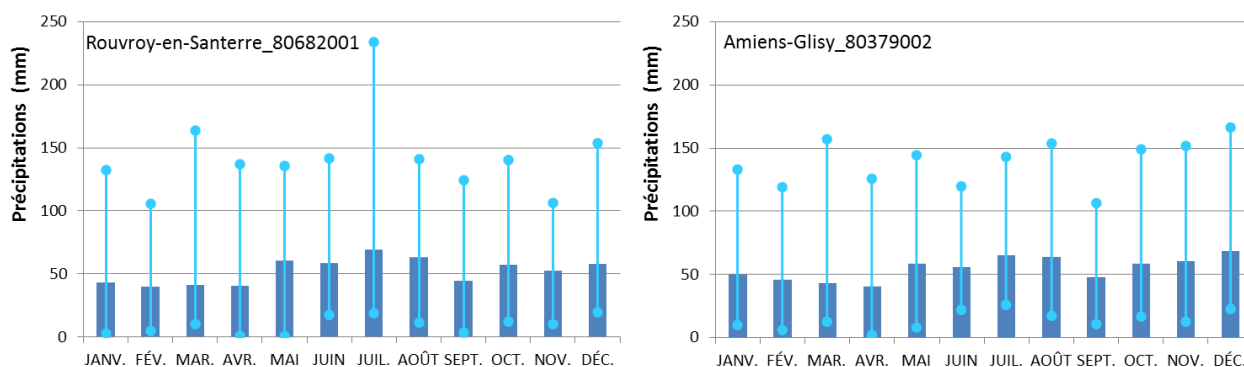


Figure 6 – Amplitude des précipitations mensuelles à Caix (diagramme bleu : valeur mensuelle moyenne sur la période 1994-2015 ; points bleus : valeurs mensuelles minimum et maximum)

2.2.1. Composition chimique des eaux météoriques

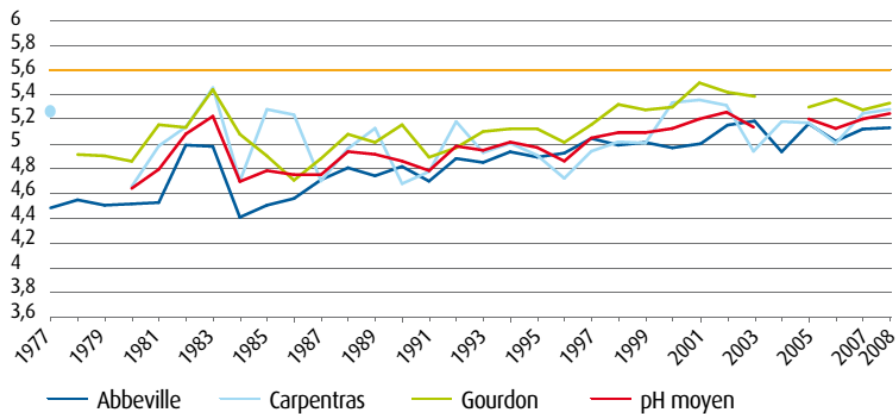
En France, les précipitations ont naturellement un pH acide compris entre 5 et 7. La composition chimique moyenne de l'eau météorique en France est détaillée dans le Tableau 1. Elle est dominée par la composition chimique de l'atmosphère. Les oxydes d'azote ainsi que l'ammoniac sont ainsi susceptibles de modifier la concentration en azote des précipitations. Les oxydes d'azote (NOx) proviennent principalement du transport routier, et dans une moindre mesure de l'agriculture/sylviculture ainsi que de l'industrie chimique (Le Moullec & Mezdour, 2011). Quant à l'ammoniac (NH₃), il est émis majoritairement par le secteur de l'agriculture, principalement l'élevage. Lors de leur interaction avec les précipitations, ces deux phases gazeuses peuvent à travers des processus complexes modifier la concentration en nitrates et en ammonium des eaux de pluies, respectivement. Au regard des pratiques culturales actuelles, le traitement des végétaux à l'aide de produits phytosanitaires et l'ajout d'engrais azotés ont lieu principalement par temps sec. Néanmoins, chaque pluie vient « lessiver » l'atmosphère et les végétaux traités, favorisant ainsi l'infiltration de ces produits dans le sol puis le sous-sol.

Paramètres	Concentration moyenne (mg/L sauf pH)	Min. - Max. (kg/ha/an sauf pH)
Acidité (pH)	5	4,8 - 5,6
Soufre/Sulfates (SO ₄)	0,5	1 - 10
Nitrates (NO ₃)	0,3	0,1 - 4
Ammonium (NH ₄)	0,3 - 0,6	1 - 14
Potassium (K)	0,05 - 0,25	0,3 - 2,5
Calcium (Ca)	0,2 - 0,8	1 - 8
Magnésium (Mg)	0,05 - 0,9	0,3 - 7
Chlorure (Cl)	0,2 - 10	2 - 100
Sodium (Na)	0,2 - 6	1 - 60

Tableau 1 - Caractéristiques de l'eau de pluie en France Moyennes annuelles (MIQUEL G., 2003)

Des données de Météo France et de l'EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) ont permis de calculer une concentration moyenne des nitrates dans l'eau météorique, respectivement comprise entre 2 à 3 mg/L pour la période 1980 - 1997, et entre 1,1 et 1,5 mg/L pour la période 1998 - 2010 (Lacouture, 2013). La même source indique que : « En métropole, les surplus azotés (N-NO_3^- et N-NH_4^+) issus des retombées atmosphériques sèches (vent) et humides (pluie) sont estimés en 2010, à 581 000 tonnes soit 11 kg/ha/an [...]. »

De 1977 à 2009, Météo France a suivi la composition chimique de l'eau météorique sur trois stations : Abbeville, Carpentras, et Gourdon. Sur la station d'Abbeville, les valeurs de pH des eaux de pluies a légèrement augmenté au cours de la période de mesure. Cette hausse a été observée sur les autres stations françaises, mais aussi dans d'autres pays d'Europe occidentale.

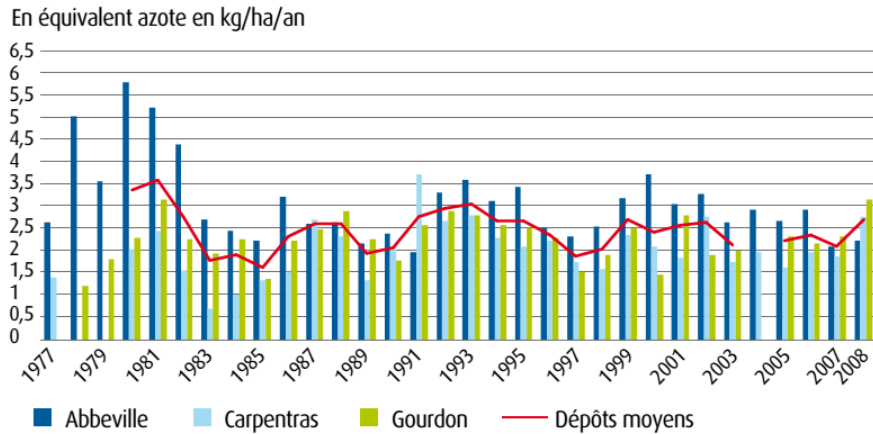


Source : Météo-France - direction des systèmes d'observation (DSO), 2010.
Traitements : Météo-France - DSO, 2011.

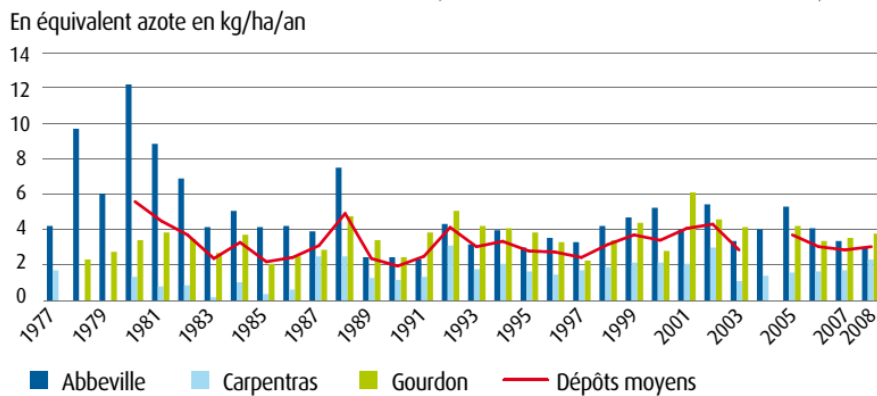
Figure 7- Evolution du pH sur les stations d'Abbeville, Carpentras et Gourdon (Le Moullec & Mezdour, 2011)

Sur le secteur d'Abbeville, l'apport en ammonium et en nitrates via les dépôts atmosphériques a considérablement baissé au début des années 80 (Figure 8). Depuis, il reste relativement stable (2 kg/ha/an pour les nitrates ; 3 kg/ha/an pour l'ammonium).

Transferts de nitrates sur le bassin versant de Caix (80)



Source : Météo-France – DSO, 2010. Traitements : Météo-France – DSO, 2011.



Source : Météo-France – DSO, 2010. Traitements : Météo-France – DSO, 2011.

Figure 8 - Evolutions moyennes des nitrates (haut) et de l'ammonium (bas) dans les dépôts atmosphériques sur les stations d'Abbeville, Carpentras et Gourdon – unité : N, kg/ha/an (Le Moulec & Mezdour, 2011)

Plus localement encore, une analyse d'eau de pluie a été réalisée sur le secteur de Lihons (8 km à l'est de Caix) en juin 2015 (Source du SIEP du Santerre). Bien que non exhaustive, celle-ci propose des valeurs pour plusieurs paramètres dont les paramètres azotés (Tableau 2).

Paramètres	Valeur	Unité	Remarque du laboratoire
Azote Kjeldahl (NTK)	2,8	mg/L	-
Nitrates (N-NO ₃)	0,31	mg/L	Délai de conservation de l'échantillon dépassé
Nitrites (N-NO ₂)	< 0,01	mg/L	Délai de conservation de l'échantillon dépassé
DBO ₅	35	mg/L	Délai de conservation de l'échantillon dépassé
DCO	46	mg/L	-
COT	14	mg/L	-
Al	260	µg/L	-
Fe	560	µg/L	-
Mn	280	µg/L	-

Tableau 2 - Analyse chimique de l'eau de pluie à Lihons (80) en juin 2015 (Source : SIEP du Santerre)

2.3. PEDOLOGIE

L'étude pédologique réalisée dans ce projet est destinée à apporter des informations complémentaires concernant le mode de transfert de l'eau et des nitrates dans les sols. Les AAC de Caix 1 et Caix 3 ont fait l'objet d'une carte des sols dans le cadre d'une étude de vulnérabilité de la nappe de la craie, réalisée par le bureau d'étude GéoNord. Les sols rencontrés sont issus de matériaux parentaux distincts, à savoir, la Craie et son altération, les Limons Loessiques, l'Argile à silex et les Colluvions des vallons. Par ailleurs, cette étude a permis de définir 8 unités typologiques de sol (UTS) et 1 unité cartographique de sol (association des UTS 3 et 4). Les sols agricoles ont été cartographiés suite à l'interprétation de 368 sondages atteignant jusqu'à 1.20 m de profondeur (Figure 9).

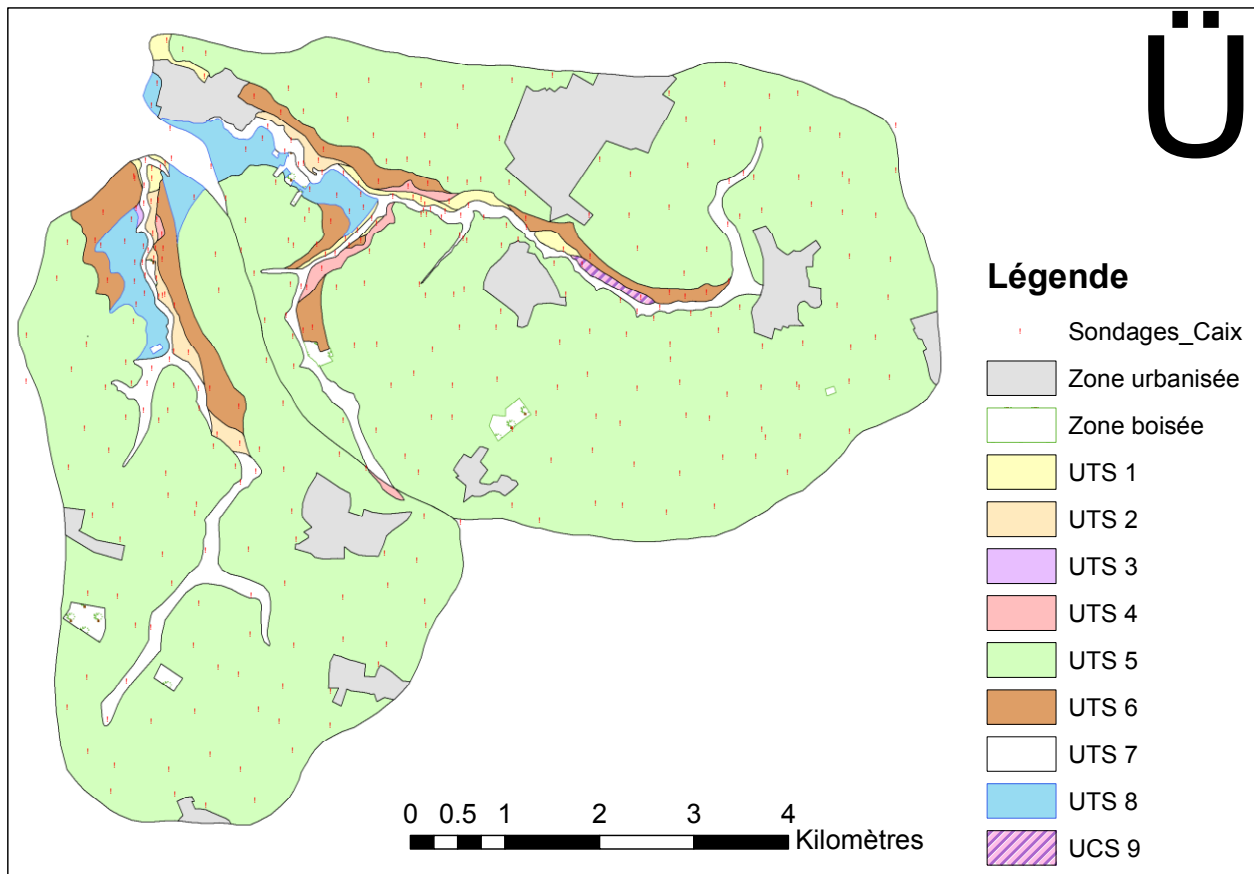


Figure 9 – Carte des sols des AAC de Caix 1 et Caix 3 (source GéoNord)

Afin de mieux mettre en évidence les caractéristiques de ces unités pédologiques et d'améliorer la carte des sols, le bureau d'étude GéoNord a réalisé et décrit 8 fosses pédologiques dans le cadre du projet NITRAEAP : une fosse par UTS, d'une profondeur moyenne de 1.40 m, décrite selon la fiche « STIPA 2000 – UMR Sol et Environnement – INRA Montpellier ». Chaque horizon identifié a été caractérisé selon sa granulométrie, sa densité apparente, sa teneur en ammonium, nitrites, nitrates, azote total et teneur en matière organique. Ce travail a également été mené dans le but d'interpréter le mode de transfert de l'eau pour chaque UTS (Péru & Basilien, 2016 en Annexe 1).

Par ailleurs, la description des UTS reprend les différentes observations que sont :

- La texture (fiches donesol sur la base du triangle du GEPPA, Baize, 1995).
- La Réserve Utile en eau du sol (RU) représentant la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. Ce paramètre est déterminé à partir de la texture et la granulométrie du sol. Sa valeur entre dans le calcul d'un bilan hydrique et, lorsqu'elle est atteinte, elle indique le potentiel d'infiltration et de lessivage des solutés (une fois le sol saturé en eau, l'infiltration vers la nappe se déclenche) :
 - o RU < 80 mm, sol superficiel reposant rapidement sur la craie. Ce type de sol est très sensible à la sécheresse et au lessivage, leur potentialité agronomique est limitée ;
 - o RU > 180 mm, sol profond à fort potentiel agronomique. Un pilotage de l'azote sur ce type de sol doit permettre de maîtriser le lessivage azoté.
- La battance d'un sol qui est une induration superficielle d'un sol générée par une dégradation de la structure granulaire du sol et de sa porosité sous l'action de la pluie. Elle a pour effet d'imperméabiliser la surface du sol et augmente le ruissellement. Elle s'observe sur le terrain par la création d'une croûte de battance. Le potentiel de battance peut s'estimer en fonction de la texture (les sols les plus sensibles à la battance sont les limons purs). D'autres paramètres tels que la teneur en matière organique et le pH interviennent dans la stabilité de la matrice sol.
- L'hydromorphie qui indique la sensibilité des sols à être régulièrement saturé. La saturation régulière en eau d'un sol peut favoriser la dénitrification. Cette situation pédologique n'a pas été observée sur le secteur d'étude.
- La rupture de perméabilité (horizon tassé) peut modifier le mode de circulation dans le sol en générant dans un premier temps un ruissellement hypodermique.

Les sols rencontrés sont décrits par UTS de la façon suivante :

- Sols issus de l'altération de la craie :
 - o **UTS1 : sols superficiels, limoneux à limono-argileux, carbonatés**, d'une épaisseur inférieure à 0.70 m (généralement 0.30 à 0.50 m) reposant sur la craie plus ou moins altérée. La charge en graviers de craie est moyenne à forte (généralement > 30-40 %), et souvent quelques graviers et/ou cailloux de silex sont présents (tailles comprises entre 2-20 mm et 2-6 cm). Ce type de sol présente une très faible réserve utile (inférieure à 80 mm) et une grande sensibilité au déficit hydrique. La circulation de l'eau y est probablement verticale et la vitesse d'infiltration peut y être rapide ;
 - o **UTS2 : sols superficiels argileux ou argilo-limoneux**, reposant sur la craie plus ou moins altérée avant 0.70 m de profondeur (généralement avant 0.50-0.60 m). La matrice argileuse est faiblement carbonatée, et les graviers présents (en quantité faible à moyenne, de 1 % à 40 %) sont carbonatés. L'hydromorphie peut apparaître sous la forme d'horizons rédoxiques entre le labour et l'altération crayeuse (hydromorphie fugace liée à l'infiltration lente dans la matrice argileuse).

Ce type de sol présente une très faible réserve utile (inférieure à 80 mm) et une grande sensibilité au déficit hydrique. La circulation de l'eau y est probablement verticale et la vitesse d'infiltration peut y être rapide ;

- **UTS3 : sols moyennement superficiels non hydromorphes, limoneux à limono-argileux, carbonatés**, d'une épaisseur comprise entre 0.70 et 1.20 m (généralement 0.80-1.00 m) reposant sur une craie plus ou moins altérée. Souvent, quelques graviers et/ou cailloux de silex sont présents. Ce sol présente une réserve utile satisfaisante (comprise entre 140 mm-150 mm). La circulation de l'eau dans ce type de sol est probablement verticale et peut être rapide en-dessous des 70 cm ;
 - **UTS4 : sols moyennement superficiels argileux ou argilo-limoneux**, reposant sur la craie plus ou moins altérée entre 0.7 et 1.20 m de profondeur. La matrice argileuse est non carbonatée. Ce sol présente une réserve utile satisfaisante (supérieure à 120 mm). La circulation de l'eau doit se faire selon des passages préférentiels, circulant des horizons quasi-imperméables (argile) vers les horizons plus crayeux. Cette circulation peut être hypodermique avant d'atteindre une zone perméable. Des infiltrations rapides peuvent se produire l'été dans le cas de phénomène de fentes de retraits des argiles.
- Sols issus des limons loessiques :
- **UTS5 : limons profonds** (d'une épaisseur supérieure à 1.20 m), **bruns à bruns clairs, non hydromorphes à faiblement hydromorphes** (traits rédoxiques marqués apparaissant au-delà de 0.80 m de profondeur). Ces limons non carbonatés présentent des horizons BT limono-argileux (horizon d'accumulation des argiles) plus ou moins marqués, de 0.20 à 0.50 m d'épaisseur. Ce type de sol présente une forte réserve utile (supérieure à 200 mm). La circulation de l'eau y est verticale, cependant la texture limoneuse est propice à un transfert de surface en cas de croûte de battance. La zone compactée observée sous l'horizon labouré pourrait freiner l'infiltration, voire créer un ruissellement hypodermique en cas de flux d'eau important.
- Sols issus de l'argile à silex :
- **UTS6 : sols argileux fortement hydromorphes** (hydromorphie apparaissant avant 0.50 m de profondeur), caractérisés par un horizon labouré généralement limono-argileux reposant sur une argile parfois limoneuse. La présence occasionnelle de sable induit des horizons argilo-sableux ou argilo-limono-sableux en milieu de sondage ou en seconde partie de sondage. Ces sols ont une charge faible à moyenne en gravier/cailloux de silex (de 1 % à 20 %), impliquant souvent un arrêt-tarière au-delà de 0.60 m de profondeur (généralement 0.80 à 1.00 m). Ce type de sol présente une forte réserve utile (supérieure à 200 mm). Bien qu'il puisse présenter des horizons hydromorphes, la circulation de l'eau est probablement ralentie mais reste verticale. La texture de surface n'est pas battante, le ruissellement dépendra donc de la pente et de la compaction du sol de surface.

- Sols issus des colluvions :
 - **UTS7 : colluvions des vallées sèches. Limons bruns clairs, non hydromorphes et fortement carbonatés dès la surface.** Ils présentent une charge faible à moyenne en petits graviers de craie (de 1 % à 40 %) issus du colluvionnement et de l'érosion des versants. Quelques graviers de silex sont parfois présents, provoquant parfois un arrêt-tarière. Ce sol présente une forte réserve utile (supérieure à 200 mm). La circulation de l'eau sur ce type de sol est verticale. La zone compactée observée sous l'horizon labouré n'est pas en mesure de générer un ruissellement hypodermique. La présence de gravier de craie limite le risque de création d'une croûte de battance et donc d'un ruissellement de surface ;
 - **UTS8 : colluvions des versants. Limons bruns à bruns clairs non hydromorphes, plus ou moins carbonatés** (parfois non carbonatés), présentant des charges variables en graviers de craie et/ou de silex (de 1% à 40 %). Présents sur certains versants, peu pentus, ils sont issus du colluvionnement. Ce type de sol présente une forte réserve utile (supérieure à 200 mm). La circulation de l'eau y est probablement verticale ; cependant, l'horizon d'accumulation (dit horizon Bt) peut limiter la vitesse d'infiltration et créer un ruissellement hypodermique. La texture limoneuse est propice à un transfert par ruissellement de surface en cas de croûte de battance.

- Unités complexes :
 - **UCS9 : Association des UTS 3 et 4.**

2.4. AGRICULTURE/AGRONOMIE

L'agriculture du Santerre s'articule principalement autour des céréales à pailles (Figure 10). Le blé tendre d'hiver est la principale céréale produite mais l'orge de printemps est aussi associé dans de nombreuses rotations (Agreste, 2013, Agreste, 2015). Depuis le début des années 1990, sur la commune de Caix, les céréales à paille représentent un peu moins de la moitié de la surface agricole (Agreste, 2015). Dans une enquête spécifique aux AAC de Caix, la même proportion a été calculée (48 %, SIEP, 2012). Les surfaces en orge varient selon les années. Les rendements en blé sont parmi les plus élevés de France et atteignent régulièrement les 10 t/ha. Ces rendements importants sont possibles grâce au contexte pédoclimatique du plateau du Santerre.

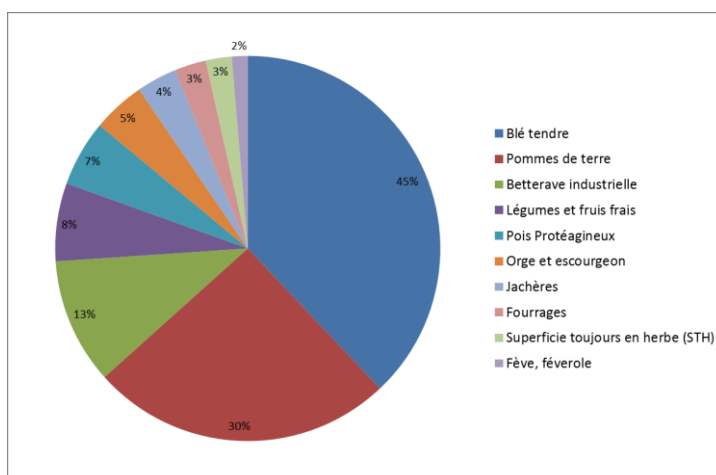


Figure 10 – Occupation du sol en 2010 pour les communes de Caix et de Rosière-en-Santerre (d'après Agreste, 2015)

Le blé a besoin d'un climat relativement humide dans les premières phases de son cycle de développement et d'un climat sec lors des dernières phases (Soltner, 1999). Le climat de la zone d'étude de Caix lui apporte ces conditions idéales. De même, les limons profonds ont une réserve en eau utile permettant au blé de se développer dans de bonnes conditions (Soltner, 1999).

Dans le Santerre, la portion de la surface agricole dédiée à la betterave est importante. Dans la commune de Caix, environ 13 % de la superficie agricole est dédiée à cette culture (Agréste, 2015). La betterave se développe correctement sur les sols profonds, tout comme le blé. La betterave étant particulièrement bien adaptée à la région, des industries agro-alimentaires s'y sont installées permettant aux exploitants de Santerre de bénéficier facilement de débouchés (Figure 11). En effet, plusieurs grands groupes sucriers sont installés dans le département de la Somme (Roye) ou à proximité. Les rendements de la betterave sont généralement de l'ordre de 80 t/ha (Agréste, 2009).

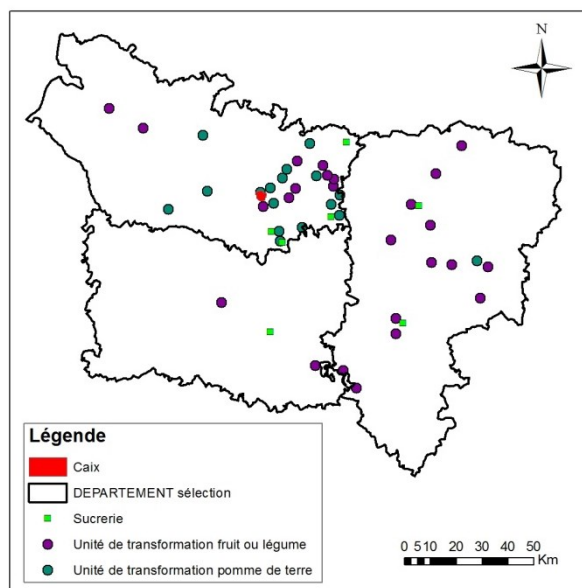


Figure 11 - Implantation des industries agroalimentaires en Picardie

L'agriculture du Santerre se distingue de celle du reste de la Somme par deux spécificités. La première est la part de l'assolement dédié à la culture de la pomme de terre dans de nombreuses exploitations (Agréste, 2013), la seconde est la place de la culture de légumes de conserve.

Concernant la première spécificité, environ 30 % de la surface agricole de la commune de Caix était consacrée en 2010 à la production de pomme de terre (Agréste, 2015). Certaines exploitations sont spécialisées dans cette culture. La pomme de terre se cultive correctement dans les limons profonds et les rendements peuvent être élevés. Le niveau des rendements est dû à la capacité des limons à limiter l'exposition au stress hydriques des plants de pomme de terre en raison de leur réserve utile élevée. Contrairement au blé et à la betterave, il est préférable d'irriguer la pomme de terre car il y a une désynchronisation entre les cycles de végétation nécessitant le plus d'eau et les mois les plus pluvieux (Soltner, 1999). Cette désynchronisation explique l'investissement des exploitants, dans du matériel d'irrigation. Une étude récente, basée sur des enquêtes auprès des exploitants a montré que 75 % d'entre eux pratiquent l'irrigation notamment pour la pomme de terre (SIEP, 2012).

Comme pour la betterave, les conditions agro-climatiques ont conduit plusieurs groupes agro-alimentaires à installer des unités de production dans la région. Cela permet aux exploitants d'assurer un débouché pour leur production. A Rosières-en-Santerre, une unité spécialisée dans la transformation de flocon de purée est installée.

Concernant la deuxième spécificité sur la commune de Caix, environ 10 % de la surface agricole était consacrée à la production de légume de conserve en 2010 (Agreste, 2015). Une étude sur les AAC de Caix a montré que la production de pois de conserve représentait, à elle seule, près de 5 % de la surface agricole (Agreste, 2015). Cette importance des légumes dans le Santerre s'explique par un type de sol adapté et par la présence, à Estrées-Mons, d'une conserverie qui a encouragé les contrats avec les exploitants agricoles. Il s'agit d'une des plus grosses conserveries d'Europe. Contrairement à la plupart des autres cultures, il est possible avec les légumes d'obtenir deux récoltes dans la même année.

Les surfaces en cultures fourragères et en prairie sont rares actuellement (Agreste, 2014, Agreste, 2015). Cela s'explique par le fait qu'il existe très peu d'élevage sur la zone. Cela n'a pas toujours été le cas, en effet, dans certaines communes comme Caix ou Rosière-en-Santerre, en 1970, environ 10 % de la surface agricole était occupée par des cultures fourragères (Agreste, 2015).

Comme le reste de la Picardie, les surfaces en pois protéagnieux ont beaucoup diminué ces dernières années. Cette diminution est principalement due à la présence du champignon *Aphanomyces* qui peut mener à une perte de 80 % de rendement. Le Santerre est une zone très touchée par ce ravageur (UNIP-ITCF, 2001).

Contrairement à d'autres parties du département de la Somme, le colza reste assez peu présent notamment parce que les rotations contenant à la fois de la betterave et du colza sont difficiles à mettre en place. Une enquête spécifique aux AAC de Caix a montré que ces deux cultures représentaient chacune environ 2 % de la surface agricole (SIEP, 2012).

L'application de produits phytosanitaires ou l'épandage de fertilisants, associée aux pratiques culturales peut engendrer des risques de transfert de contaminants vers la nappe. Ces risques sont d'autant plus avérés lorsque les sols sont très superficiels (craie) avec une faible réserve utile. D'après les travaux réalisés dans le cadre des Opérations de Reconquête de la Qualité de l'Eau (ORQUE) sur les captages de Caix 1 et Caix 3 (SIEP, 2012), les surfaces liées aux activités agricoles recensées représentent une part importante des AAC : surface agricole utile de 4 615 ha sur 5 300 ha au total pour 106 exploitants. Les agriculteurs sont très sensibilisés aux problèmes de pollutions liés aux nitrates. Depuis des années, les pratiques agricoles se sont améliorées, les agriculteurs implantent des cultures intermédiaires pour lutter contre le lessivage. Afin de quantifier et d'analyser l'impact de l'agriculture et des autres activités (industries, décharges,...) des analyses d'eau sont effectuées dans des forages (agricoles et AEP) et piézomètres (concernant l'AAC de Caix 1). Les analyses d'eaux souterraines permettent d'avoir une vision globale des teneurs en azote sur l'ensemble du territoire.

2.5. GEOLOGIE

Le contexte géologique est marqué par la présence de plateaux crayeux entaillés par des vallées alluviales. Le sous-sol de la région est principalement constitué par la craie blanche à silex du Santonien et du Campanien (2 étages du Crétacé supérieur), aussi appelé localement Sénonien. Ces couches sont géologiquement très homogènes et la distinction observée sur la carte géologique 1/50 000 n° 63 de Roye n'a été faite qu'à l'aide d'une biozonation basée sur les Foraminifères (protozoaires). Les étages sous-jacents, le Turonien et le Cénomaniens, se distinguent par des craies plus argileuses.

La puissance du Crétacé (incluant ici de haut en bas : le Sénonien, le Turonien, le Cénomaniens et l'Albien) est de l'ordre de 310 m. Il n'est donc pas nécessaire de s'intéresser aux terrains sous-jacents. De plus, seuls le Campanien et le Santonien - étages composant la partie médiane et supérieure du Sénonien - sont (sub-)affleurants dans le secteur étudié.

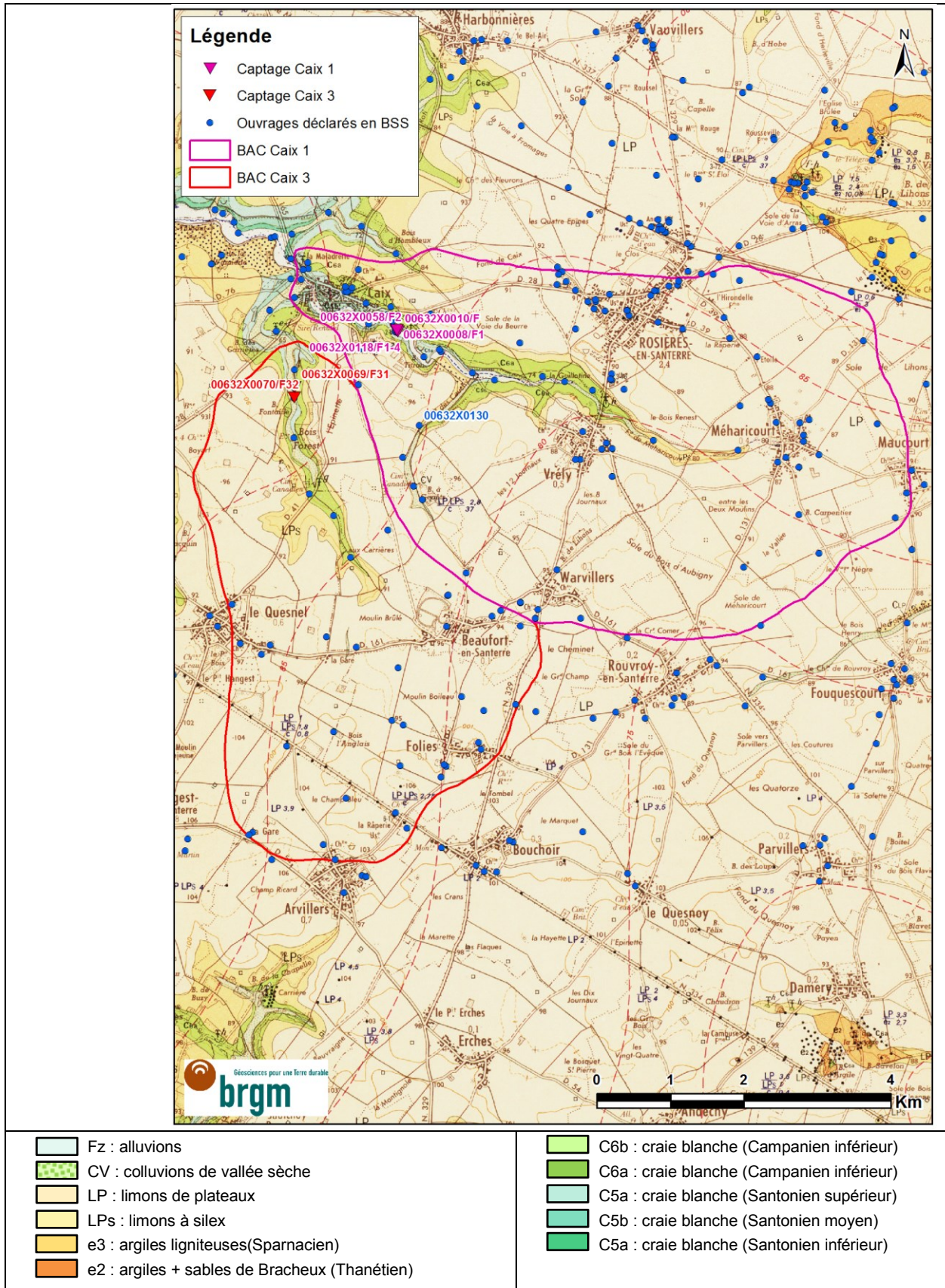
Sur les plateaux, la craie est recouverte de limons beiges loessoïdes dont l'épaisseur peut aller jusqu'à 5 m voire 10 m (Tableau 3 et Figure 12 ci-après). En bordure de ces plateaux, apparaît souvent une couche de « limons à silex » (argiles rouges plus ou moins sableuses riches en silex cariés à patine verte) ne dépassant pas quelques mètres. Sur certaines pentes de vallées, la craie peut être sub-affleurante (0,3 à 0,5 m de profondeur). Le fond des vallées sèches est généralement tapissé de colluvions de couleur brun clair, soit un mélange de limons (à silex ou de plateaux suivant les zones) avec de la terre arable et des gravelles crayeuses. Dans les vallées humides, comme celle de la Luce, en aval de Caix, les alluvions récentes sont composées d'une alternance de graviers, cailloutis et des niveaux limoneux, sableux ou tourbeux.

Profondeur (m)	Description
0 - 2,0	Ballast
2,0 - 5,5	Limons
5,5 - 15	Craie blanche
15 - 35	Craie blanche à silex
35 - 40	Craie grise

Tableau 3 - Coupe du forage 00632X0130/F2
(Source : BRGM - Infoterre)

Dans le secteur de Lihons et Chaulnes (au Nord-Est des ACCs de Caix), des placages résiduels d'âge du Tertiaire subsistent et forment des « buttes-témoins ». Ils sont constitués d'argile brune à silex verdis à la base, de sables gris ou verts plus ou moins argileux au sommet (Thanétien), voire d'argiles grises ligniteuses (Sparnacien). Cet ensemble tertiaire peut localement dépasser 15 m d'épaisseur et n'est pas présent sur les AAC de Caix.

D'un point de vue tectonique, le plateau du Santerre est peu déformé. Aucune faille n'est présente dans le secteur d'étude et, d'après la notice géologique, les couches du Campanien ont un pendage orienté très légèrement vers le sud-est du fait d'un léger bombement au droit d'Aubercourt (env. 5 km à l'ouest de Caix) et de Lihons.



2.6. HYDROGÉOLOGIE

2.6.1. Piézométrie

La nappe d'eau souterraine principale aux échelles régionale et locale est contenue dans la craie blanche du Campanien (avant-dernier étage du Crétacé). Sa recharge s'effectue par l'infiltration des eaux de pluie.

Plusieurs cartes piézométriques sont disponibles pour le secteur d'étude considéré. Les cartes utilisées dans le présent rapport correspondent à des campagnes régionales réalisées respectivement durant les basses eaux de 1997 et les hautes eaux de 2001-2002 (Chrétien, 2007 ; Bault et al., 2012). Une campagne en basses-eaux a été également réalisée en 2005 (Chrétien et al., 2006).

La nappe crayeuse s'écoule globalement vers le nord-ouest, partant d'un dôme piézométrique (85 m NGF environ) centré sur la commune de Le Quesnoy en direction de Caix. Les courbes piézométriques tracées sur la carte de la Figure 13 indiquent l'existence, localement, de trois axes de drainage principaux :

- la vallée de la Luce, la vallée du Bois, la vallée de Vrély en amont de Caix 1,
- la vallée d'Oisement / Harbonnières, transversale au nord de la vallée de la Luce,
- la vallée des Arents et la vallée du Bois Forest en amont de Caix 3, transversale au sud de la vallée de la Luce.

Les cartes piézométriques montrent des variations du niveau piézométrique plus importantes dans les vallées proches de Caix (~ 15 m) que sur le plateau du Quesnoy et de Rouvroy-en-Santerre (~ 5 m). La nappe se situe généralement à une profondeur allant de 15 à 40 m sur le plateau, mais qui reste plus faible dans les vallées sèches et humides.

La craie, pouvant être très fracturée dans sa partie superficielle, s'avère particulièrement transmissive et productive au centre des vallons (jusqu'à 300 m³/h d'après un pompage d'essai sur un forage de Caix 3). Aujourd'hui, environ 66 % des ouvrages souterrains des bassins versants de Caix 1 et 3 sont des forages d'eau à usage agricole.

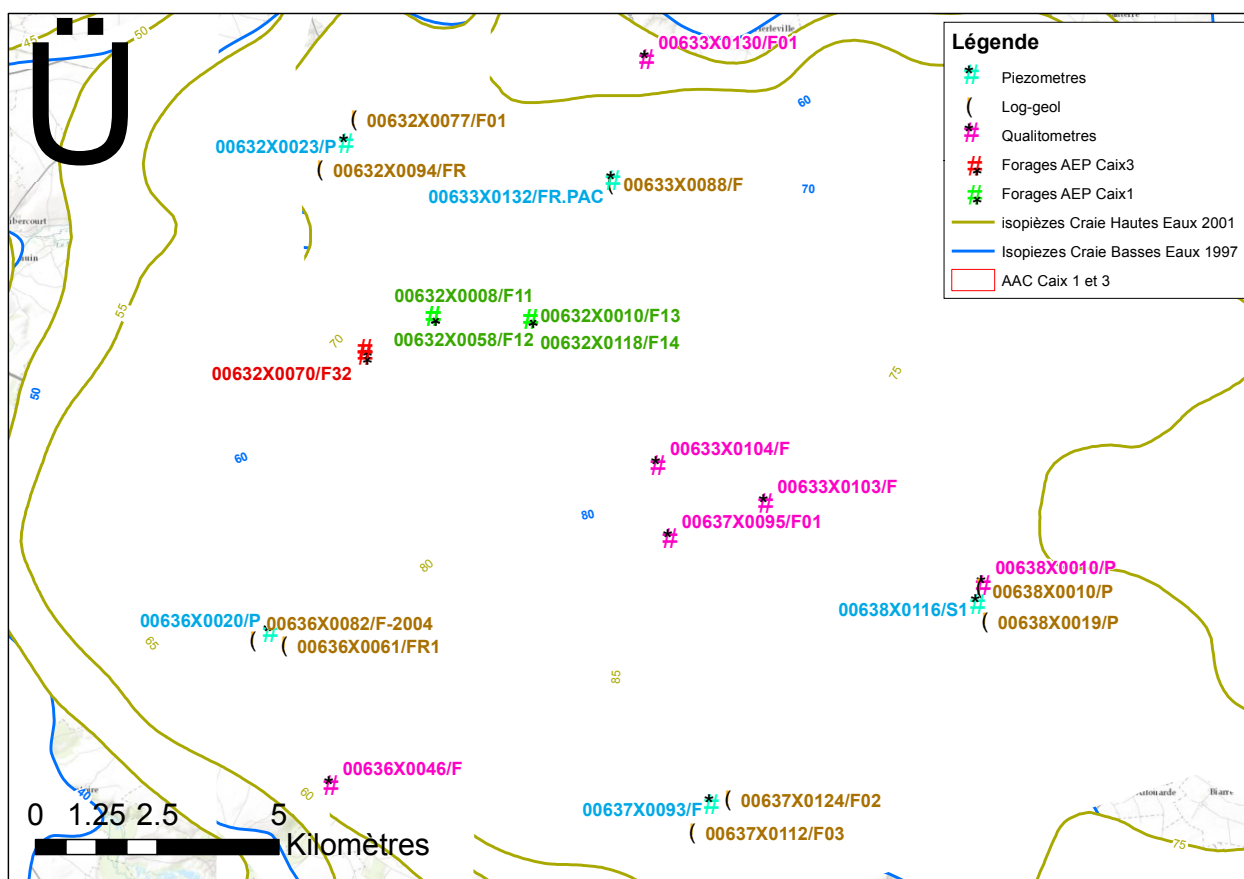


Figure 13 - Localisation des ouvrages souterrains et cartes piézométriques disponibles dans le secteur d'étude (Piézomètres pour le suivi de l'altitude de la nappe de la craie, Qualitomètres pour le suivi de la qualité géochimique de la nappe de la craie, Log-geol pour la caractérisation lithologique du sous-sol)

Le BRGM ne suit pas le niveau de la nappe à l'intérieur des bassins versants de Caix 1 et 3. Les piézomètres suivis les plus proches sont situés sur les communes suivantes (Figure 13) : Hangest-en-Santerre (00636X0020) environ 8 km au sud-ouest, Guillaucourt (00632X0023) environ 3 km vers le nord, Vauvillers (00633X0132) environ 5 km au nord-est, Liancourt-Fosse (00638X0116) à l'est et Damery (00637X0093) au sud. Ces trois piézomètres interceptent l'aquifère crayeux, et les chroniques de deux d'entre eux commencent dès 1979, mettant en évidence un comportement homogène de la craie à l'échelle plurikilométrique, fait de variations inter- et intra-annuelles (Figure 14). Le pic de la période de hautes eaux apparaît préférentiellement entre mars et juin ; celui de basses eaux entre septembre et novembre. À titre d'exemple, les maxima observés pour les stations piézométriques de Vauvillers (00633X0132/FR.PAC) et Hangest-en-Santerre (00636X0020/P) correspondent à l'épisode des inondations de la Somme de 2001. La distinction entre les trois stations se fait surtout au niveau de l'amplitude des variations piézométriques : relativement plus fortes à Hangest-en-Santerre (écart min/max supérieur à 17 m) qu'à Guillaucourt (00632X0023/P) et Vauvillers (écart min/max d'environ 10 m).

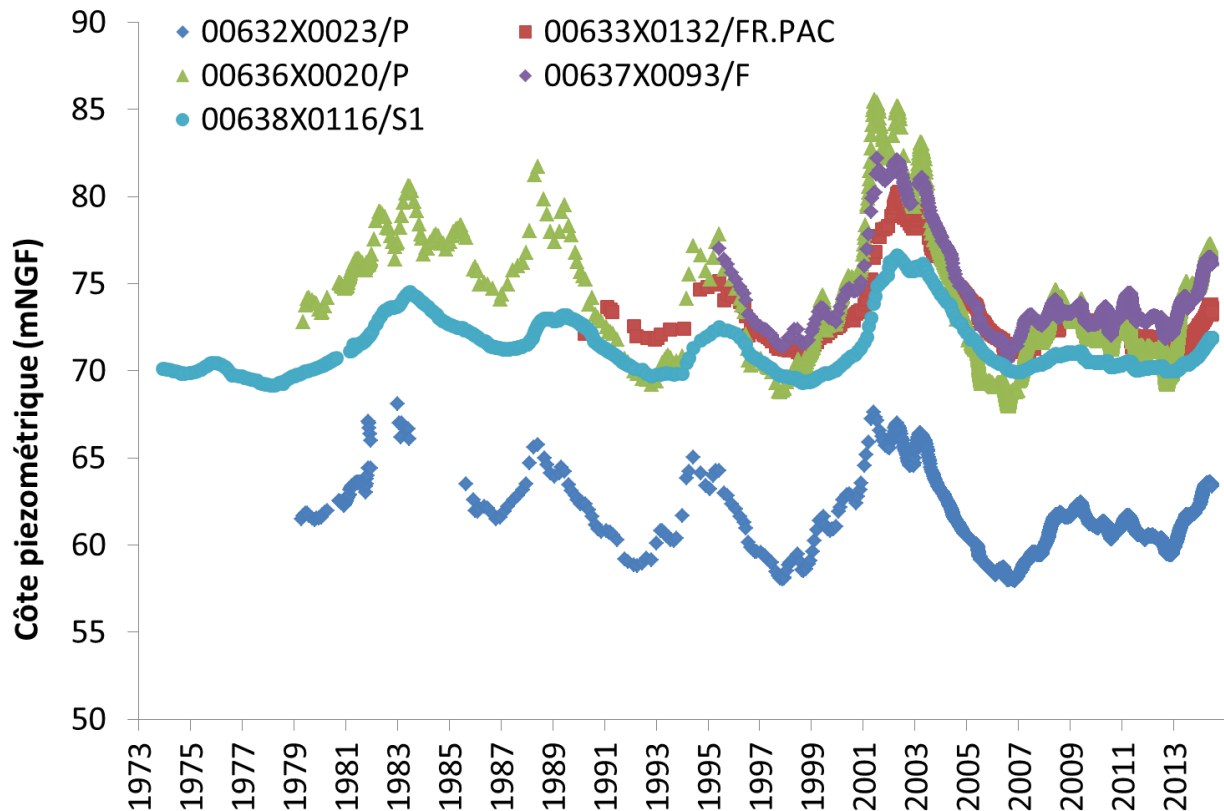


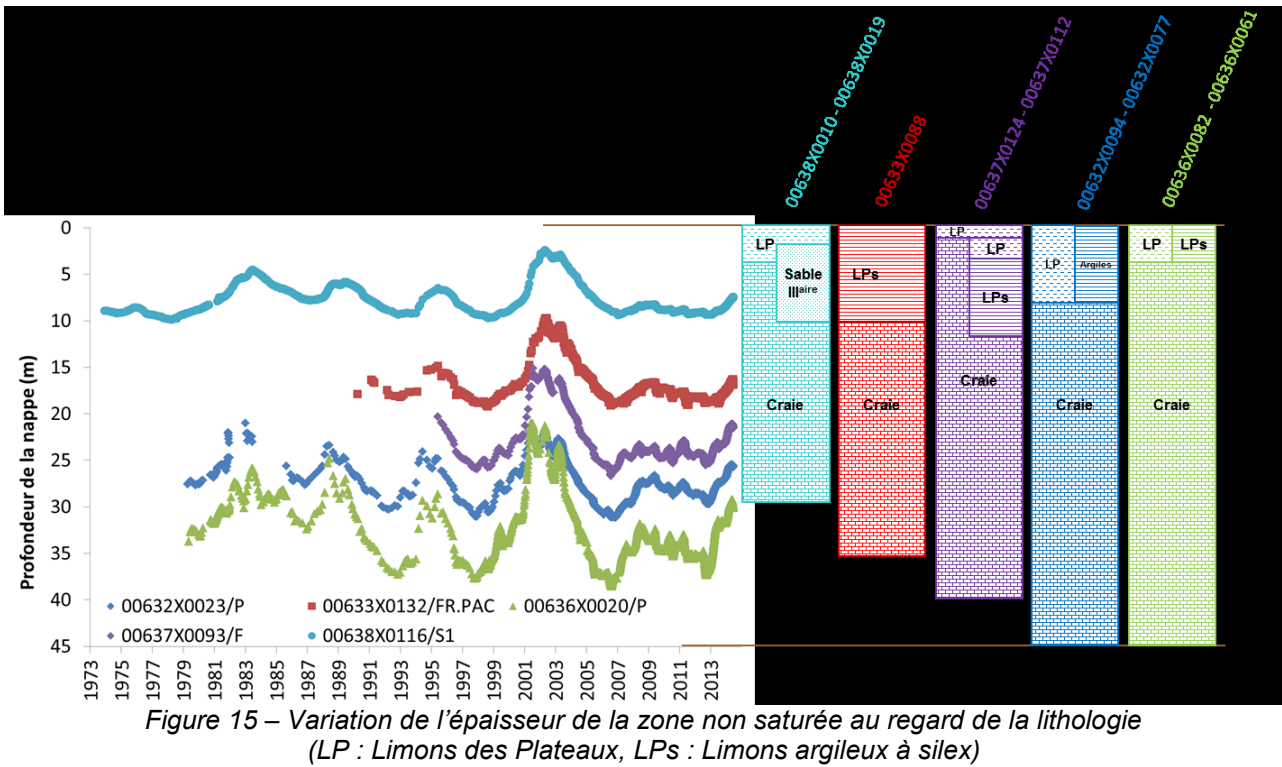
Figure 14 - Chroniques piézométriques des ouvrages suivis par le BRGM (Source : ADES).
 Hangest-en-Santerre (00636X0020/P), Guillaucourt (00632X0023/P), Vauvillers (00633X0132/FR.PAC),
 Liancourt-Fosse (00638X0116/S1) et Damery (00637X0093/F)

D'après la notice géologique, une autre nappe libre mais perchée existe très localement : d'une surface d'environ 0,5 km². Elle serait contenue dans les limons sus-jacents aux argiles sparnaciennes au niveau de la butte de Lihons au nord-ouest du secteur d'étude. Cette nappe joue un rôle très mineur, voire inexistant, au regard de l'extension et des caractéristiques hydrauliques de la nappe de la craie. Selon cette même notice, les sables thanétiens présents sur le bord sud-ouest de la butte de Lihons sont directement drainés par la craie.

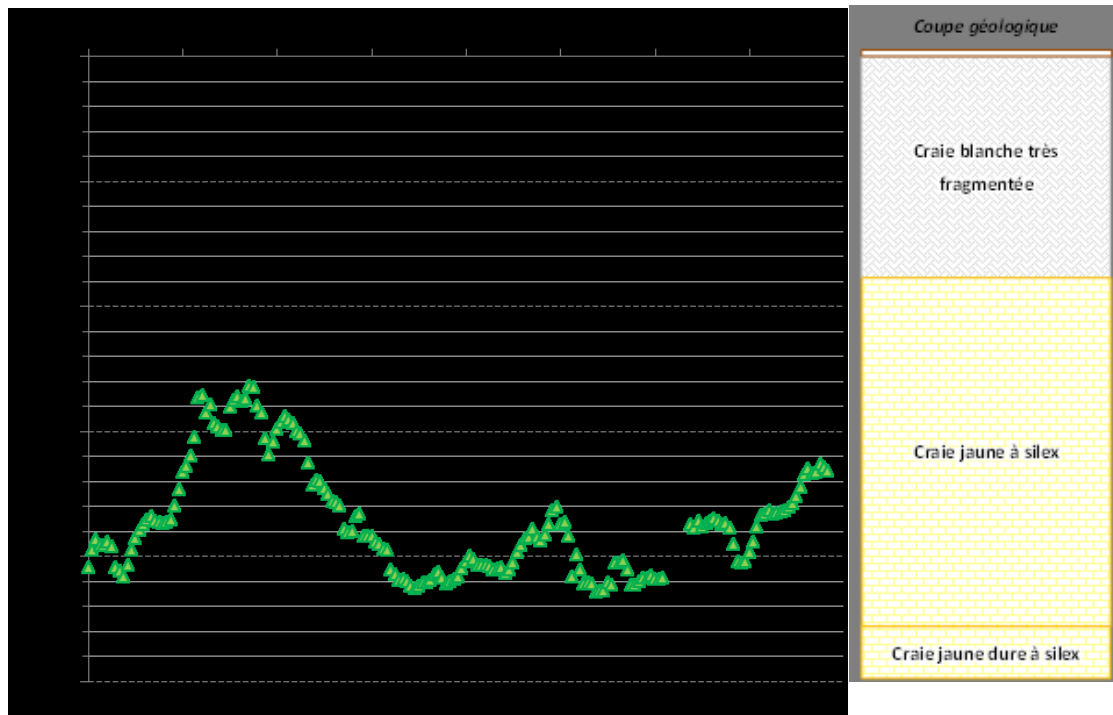
2.6.2. Zone Non Saturée (ZNS)

La zone non saturée (ZNS) d'un aquifère est la partie du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface de la nappe libre. Dans la zone non saturée, les interstices des roches (la porosité) sont occupés par de l'air et de l'eau contrairement à la zone saturée (ZS) où ils sont entièrement occupés par l'eau. Les eaux infiltrées depuis la surface du sol traversent cette ZNS de manière descendante et peuvent atteindre la nappe libre alimentant alors celle-ci.

Sur le secteur de Caix, la surface de la nappe libre de la craie se situe généralement à une profondeur allant de 15 à 40 m sur le plateau, et reste plus faible dans les vallées sèches et humides. L'épaisseur de la ZNS varie donc spatialement mais également temporellement selon les variations piézométriques de la surface de la nappe. La Figure 15 met en évidence la variabilité de l'épaisseur de la ZNS et surtout sa composition lithologique qui est essentiellement formée de faciès crayeux où le battement de la nappe s'opère, et en son sommet de faciès limoneux d'épaisseur non négligeable (du mètre à la 10^{aine} de mètres).



Au droit des captages AEP de l'AAC de Caix 3, les niveaux piézométriques observés par le SIEP entre 1999 et 2014 montrent que ceux-ci varient entre 54 et 62 m NGF, soit entre 13 et 22 m de profondeur sous la surface du sol (Figure 16). Le niveau de la nappe fluctue uniquement au sein de la craie jaune à silex. La zone non saturée a donc une épaisseur variable, mais inclut systématiquement l'horizon limoneux, la craie blanche fragmentée et une partie de la craie jaune à silex.



Dans cette étude, la compréhension des écoulements et du transport des nitrates à travers la ZNS vers la nappe libre de la craie nécessite de prendre en compte les caractéristique des horizons limoneux ainsi qu'une partie de l'horizon crayeux.

2.6.3. Qualité de l'eau souterraine

Captages du SIEP du Santerre à Caix

Concernant les quatre captages de Caix 1 (00632X0008/F1, 00632X0058/F2, 00632X0010/F, 00632X0118/F1-4), les données concernant la qualité de l'eau entre 1960 et 2014 proviennent des bases de données BSS et ADES (des anciens contrôles réalisés par la DDASS). Des contrôles ont aussi été réalisés en auto-surveillance de façon plus régulière par le SIEP à partir de 1999. Ces derniers ont mis en évidence la présence de produits phytosanitaires, (atrazine, bentazone, diuron, lenacile et oxadixil, anthraquinone) et de composés organiques halogénés volatils (COHV) tels que les tétra- et tri-chloroéthylène. Les concentrations en nitrate, chlorure et sulfate ont évolué de façon corrélée au cours des dernières décennies (Figure 17). Les données peu nombreuses entre 1960 et 1980 montrent des concentrations comprises entre 12 et 30 mg/L pour les nitrates (moyenne de 25 mg/L), 11 et 28 mg/L pour les chlorures (moyenne de 20 mg/L), 8 et 21 mg/L pour les sulfates (moyenne de 15 mg/L). Plusieurs pics de concentration en nitrate, dépassant la limite de potabilité fixée à 50 mg/L, apparaissent nettement pour les périodes 1982-1983, 1991-1992 et 2001-2003 avec une concentration maximale croissante : 30,0 - 47,1 mg/L, 35,0 - 54,0 mg/L, 40,0 - 58,7 mg/L. Après une faible décroissance jusqu'à l'hiver 2004-2005, les concentrations en nitrates se sont stabilisées entre 45 et 50 mg/L. Les concentrations en chlorures et en sulfates montrent des comportements similaires aux nitrates.

Concernant les captages de Caix 3 (00632X0069/F31 et 00632X0070/F32), les données de la qualité de l'eau entre 1991 et 1999 proviennent des bases de données BSS et ADES. Des contrôles plus réguliers ont aussi été réalisés par le SIEP à partir de 1999. L'eau souterraine apparaît de meilleure qualité qu'à Caix 1 car aucun produit phytosanitaire ni COHV n'a été détecté (à l'exception d'une contamination ponctuelle de bentazone en mai 2013). A ce jour il n'existe pas d'explication détaillée et précise sur cette différence de qualité. Par ailleurs une étude spécifique à l'AAC de Caix 1 a été menée concernant l'origine des nitrates (Kloppmann et al., 2017). Les nitrates, sulfates et chlorures (Figure 18) suivent aussi une évolution conjointe mais les concentrations de ces solutions sont plus faibles que celles observées à Caix 1 (de l'ordre de 20 mg/L de nitrates avant 2001 contre 35 mg/L pour Caix 1). Le pic de 2001 - 2003 s'observe également avec une concentration équivalente de 54,9 mg/L en nitrates, 34 mg/L en chlorures et 18,5 mg/L en sulfates. La teneur en nitrates se stabilise à partir de 2005 entre 25 et 30 mg/L. Deux pics antécédents s'observent de façon moins marquée en 1991 et en 1995.

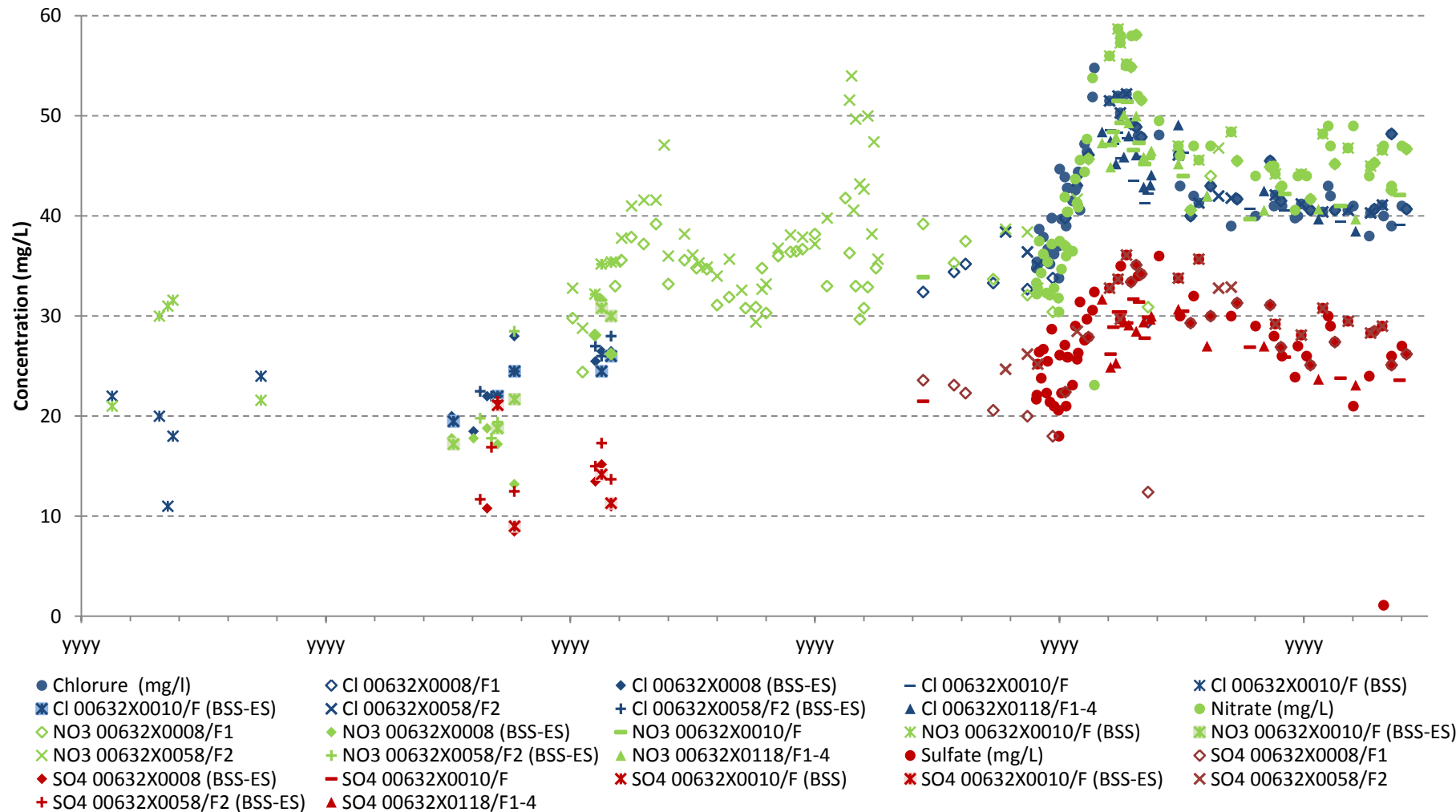


Figure 17 - Concentrations en chlorure (bleu), nitrates (vert) et sulfate (rouge) dans les captages de Caix 1 (00632X0008/F1, 00632X0058/F2, 00632X0010/F, 00632X0118/F1-4) depuis 1960. Les séries « chlorure », « nitrates » et « sulfate » proviennent du SIEP et correspondent à des données pour lesquelles il a été impossible de distinguer la provenance parmi les 4 captages (Sources : SIEP – BSS - ADES).

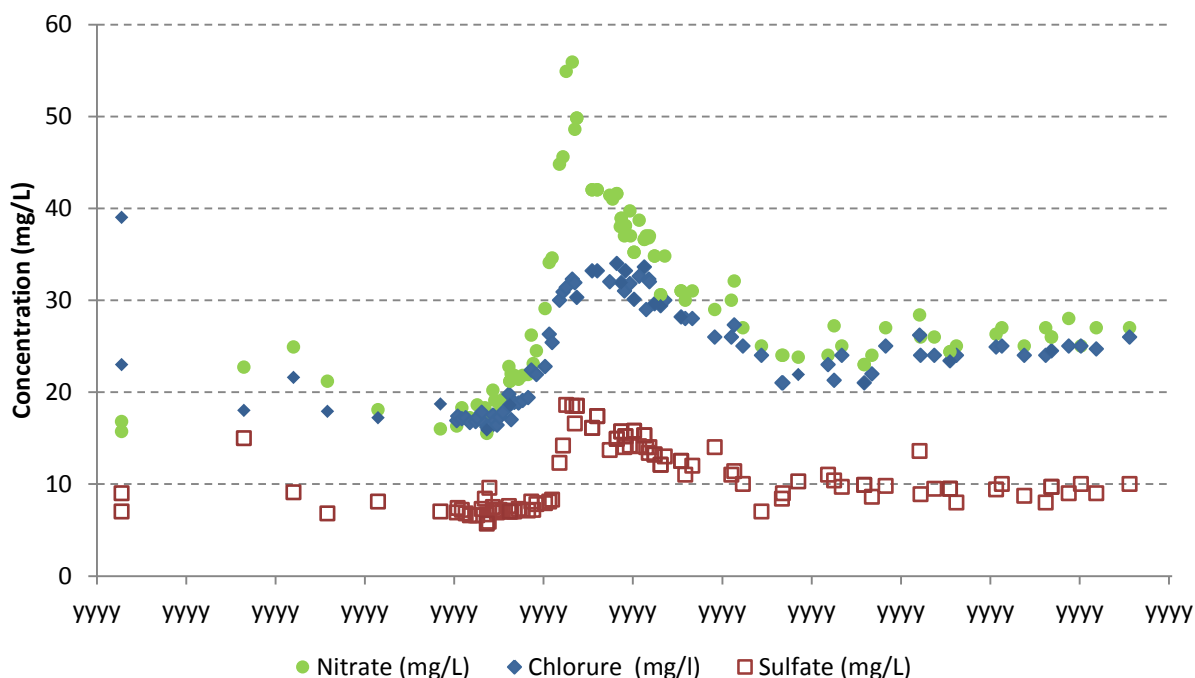


Figure 18 - Concentrations en chlorure, nitrates et sulfate dans les captages de Caix 3
(Sources : SIEP – BSS - ADES)

Réseau ADES

Aux alentours des AAC de Caix 1 et Caix 3, six qualitomètres sont identifiés (Figure 13) : 00633X0130/F01 sur la commune de Framerville-Rainecourt au nord, 00633X0103/F à Fouquescourt, 00633X0104/F à Méharicourt, 00637X0095/F01 à Rouvroy-en-Santerre tous trois situés au sud-ouest sur le dôme piézométrique, 00638X0010/P à Liancourt-Fosse plus à l'ouest et 00636X0046/F à Arvillers au sud.

Les caractéristiques chimiques des eaux de la nappe de la craie en ces points sont suivies depuis 1993 à des fréquences différentes selon les qualitomètres. Seul le qualitomètre 00638X0010/P possède une chronique de concentrations longue acquise depuis 1980. La Figure 19 retrace les évolutions en nitrates, chlorures et sulfates en chacun de ces points.

Les concentrations mesurées pour les nitrates, chlorures et sulfates sont du même ordre de grandeur que celles mesurées aux captages de Caix 1 et de Caix 3 : 15-65 mg/l pour les nitrates, 15-50 mg/l pour les chlorures et 5-45 mg/l pour les sulfates.

Les évolutions des concentrations sont les mêmes que celles observées aux captages de Caix 1 et Caix 3 pour les qualitomètres 00638X0010/P et 00633X0130 où les pics sont bien marqués et nettement corrélés aux évolutions piézométriques de la nappe (piézomètres 00638X0116/S1, Figure 14) : 1983, 1990, 1995 et 2001. Ceci montre, d'une part, qu'un évènement particulier a lieu sur les AAC de Caix en 1991 puisque le pic est élevé et décalé par rapport au qualitomètre 00638X0010/P, et d'autre part, que la légère augmentation de concentration en 1995 à Caix 1 et à Caix 3 est liée à une dynamique d'écoulement (remontée de nappe ou recharge).

Par contre, les qualitomètres 00633X0103/F et 00636X0046/F montrent des évolutions différentes notamment lors des inondations de 2001 où aucun pic de concentration n'est observé, indiquant alors que la dynamique du système en ces points diffère.

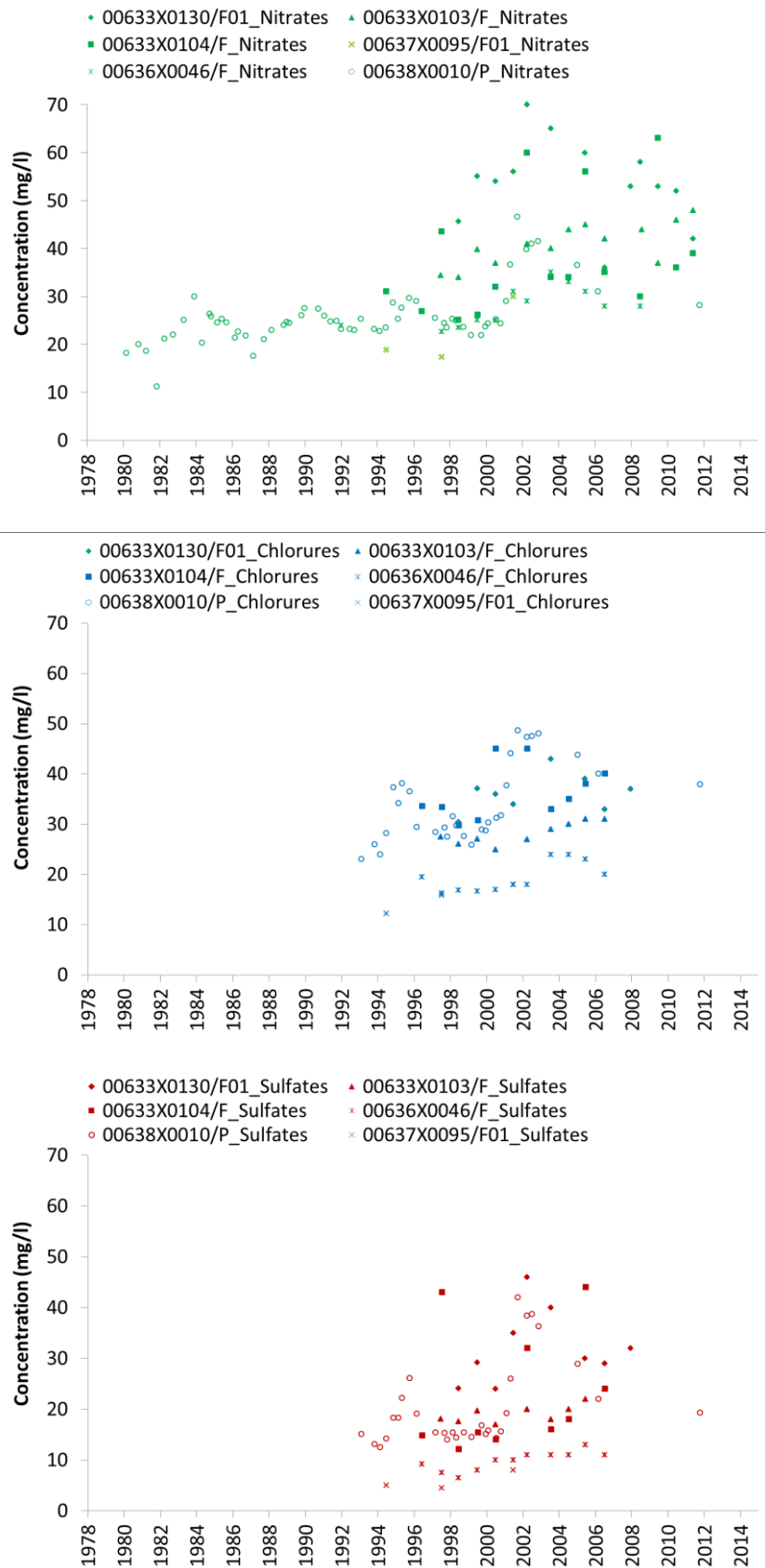


Figure 19 - Concentrations en chlorure, nitrates et sulfate des qualimètres situés sur le secteur d'étude (00633X0130, 00633X0104, 00633X0103, 00637X0095, 00636X0046, 00638X0010)

2.6.4. Caractéristiques hydrauliques de l'aquifère

Lorsqu'elle est saine, la craie dispose d'une perméabilité interstitielle plutôt faible, de l'ordre de 10^{-8} m/s. Elle ne devient aquifère et productive que grâce à la fissuration/fracturation et à une connectivité suffisante des ouvertures, permettant ainsi un écoulement gravitaire. D'après Roux et al. (2006), la fracturation observée dans la Picardie crayeuse est « surtout développée sous et à proximité des vallées actives ou des vallons secs en zone de plateau »; ce dernier cas pouvant tout à fait désigner les AAC de Caix 1 et 3. Les caractéristiques hydrauliques de la craie du Sénonien - Turonien (Caulier, 1974) sont de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m²/s pour les transmissivités, $1,9 \cdot 10^{-2}$ pour les coefficients d'emmagasinement et 44,8 m³/h/m pour les débits spécifiques (Tableau 4).

On considère souvent que les écoulements s'effectuent de façon homogène dans cet aquifère, mais il est néanmoins nécessaire de préciser que la perméabilité peut considérablement varier horizontalement (suivant les directions de fracturation - par exemple), mais aussi verticalement (fracturation, présence de joints stratigraphiques, etc.). En effet, il a été observé que la perméabilité diminue généralement avec la profondeur, et que des horizons crayeux épais seulement de quelques mètres peuvent parfois contribuer à la majorité du débit total de l'ouvrage.

	Minimum	Moyenne	Maximum
Transmissivité (m ² /s)	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$
Coefficient d'emmagasinement (-)	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Débit spécifique (m ³ /h/m)	0,15	44,8	1000

Tableau 4 - Productivité de la craie (en nappe libre) dans la région Nord-Pas-de-Calais (Source : Roux et al., 2013)

Concernant les deux captages de Caix 3 (00632X0069/F31 et 00632X0070/F32), des pompages de longue durée (Cobo, 1991) ont permis de mettre en évidence des caractéristiques hydrauliques similaires à celles mentionnées précédemment (Tableau 5). Il est à noter que, lors de l'estimation de ces valeurs, il a été proposé d'ajouter une limite étanche à 30 m, correspondant à la présence proche du plateau crayeux (considéré comme « moins fissuré et moins productif »).

	00632X0069/F31	00632X0070/F32
Transmissivité (m ² /s)	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$
Coefficient d'emmagasinement (-)	$2 \cdot 10^{-2}$	
Débit spécifique (m ³ /h/m)	119 *	57 *

Tableau 5 – Productivité des deux captages de Caix 3 (Cobo, 1991) ;
* valeur particulièrement influencée par le mode de pompage

Des forages agricoles ont également fait l'objet de pompages de courte durée ou de pompages d'essai par paliers, mais les données sont nettement plus lacunaires et se résument souvent au calcul d'un débit critique et/ou d'un débit optimal d'exploitation sans pour autant que les paramètres hydrauliques (transmissivité, emmagasinement) ne soient chiffrés. Cependant une transmissivité est estimée pour le forage 00632X0097/F2 à $1,9 \cdot 10^{-2}$ m²/s (Comon, 1995). Les résultats listés sur le Tableau 6 montrent une certaine hétérogénéité de la productivité entre forages pourtant distants de quelques centaines de mètres.

	00632X0105/F01	00632X0104/F02	00632X0119/F-2003	00636X0093/F02	00636X0089/FR3	00632X0098/F1	00632X0097/F2
Débit lors de l'essai (m ³ /h)	100	45	74	30	6	78	106
Durée de l'essai (h)	8	8	5	1	2	1	1
Rabatement (m)	1,7	36,4	3,7	22,4	29,9	21,32	11,65
Débit spécifique (m ³ /h/m)	60,2	1,2	20	1,3	0,2	3,7	9,1
Environnement	Vallon central	Plateau	Plateau	Plateau	Plateau	Plateau	Plateau

Tableau 6 - Productivité de différents forages agricoles présents sur l'AAC de Caix 3
(Sources : Infoterre ; Comon, 1992 & 1995)

Par ailleurs, faute d'une productivité suffisante, certains ouvrages ont été abandonnés suite à un 1^{er} essai hydraulique. Le forage 00632X0103/F01, situé quasiment sur la ligne de partage des eaux entre les forages de Caix 1 et 3, a été abandonné après 30 min de pompage à 5 m³/h : la nappe a été rabattue jusqu'à 62 m (profondeur totale de l'ouvrage : 70 m). Le forage 00632X0101/F2, pourtant situé au début du vallon (endroit considéré a priori comme favorable), a probablement été remblayé : les pertes de charge quadratique étant égales, voire supérieures, aux pertes de charge linéaire dès 30 m³/h (pour un objectif attendu de l'ordre de 120 m³/h). Il en serait de même pour le forage 00632X0100/F1, remblayé bien que foré dans la partie amont de l'AAC de Caix 3 (entre Le Quesnel et Beaufort-en-Santerre).

2.6.5. Captages d'eau souterraine

Sur l'AAC de Caix 3 et sa périphérie proche, 32 ouvrages atteignant les eaux de la nappe de la craie ont des volumes de prélèvements annuels recensés (Figure 20). Ceux-ci concernent 4 captages du SIEP destinés à l'alimentation en eau potable et des captages destinés majoritairement à l'irrigation. Dans l'AAC de Caix 3, 18 ouvrages n'ont pas d'information relative aux volumes prélevés (soit non renseignés, soit sans prélèvement) et 4 sont inopérants (inaccessibles).

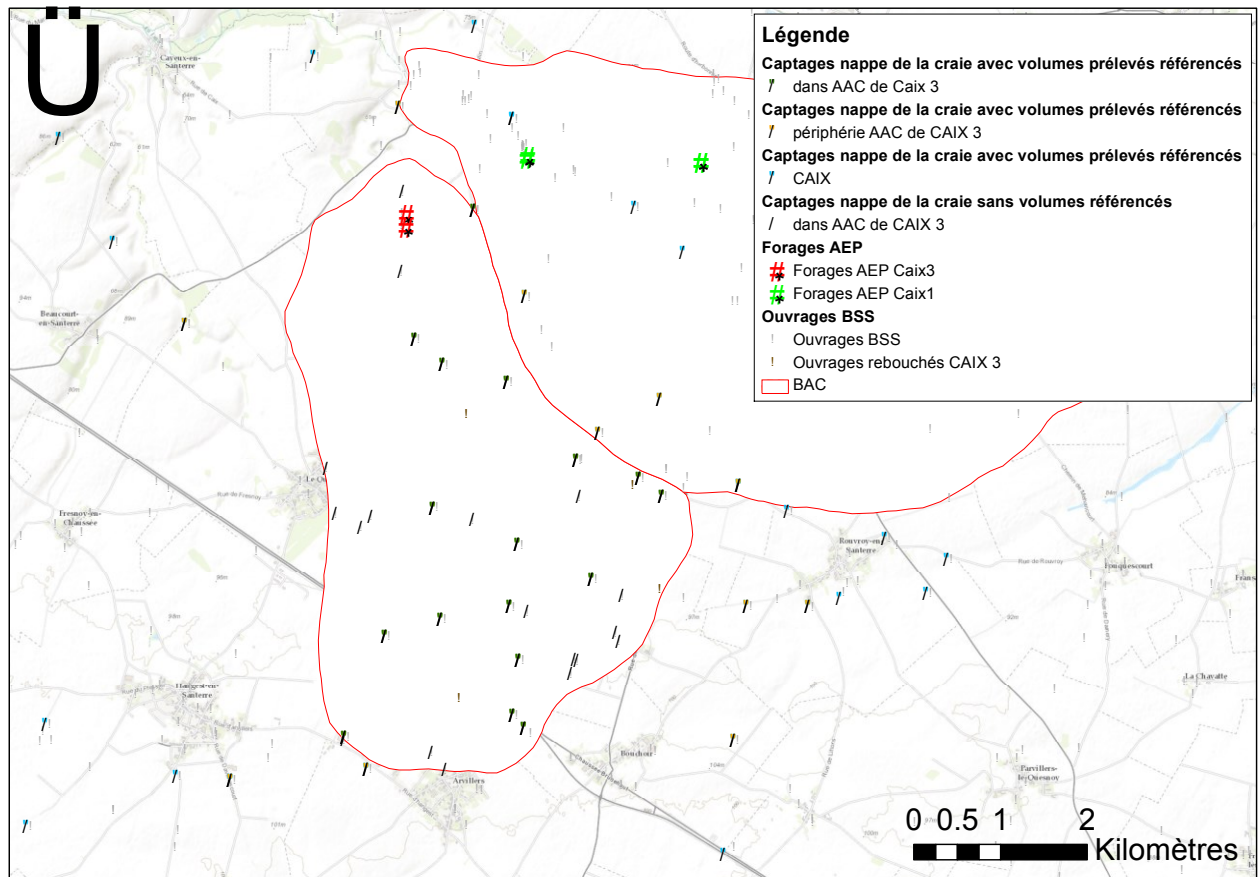


Figure 20 – Localisation des ouvrages souterrains captant la nappe de la craie pour l'AAC de Caix 3 et sa périphérie proche

Descriptif des captages du SIEP du Santerre et volumes prélevés

Le SIEP dispose respectivement de 2 et 4 captages d'eau potable sur les sites dits de « Caix 3 » et « Caix 1 » (les 2 ouvrages de « Caix 2 » ont été abandonnés en 1994 suite à une pollution en chrome et solvants chlorés). Caix 1 est le champ captant le plus ancien, construit en 1921 puis étendu en 1964. Caix 3, construit en 1991, n'est actif qu'à partir de 1995. Les forages de Caix 1 et Caix 3 atteignent l'aquifère crayeux et leurs caractéristiques sont décrites dans le Tableau 7.

Indice BSS	Dénomination SIEP	Profondeur (m)	Longueur des crépines (m)	AAC
00632X0008/F1	F1.1	50	39	Caix 1
00632X0058/F2	F1.2	55	44	Caix 1
00632X0010/F	F1.3	50	39,7	Caix 1
00632X0118/F1-4	F1.4	40	29,7	Caix 1
00632X0069/F31	F3.1	34,5	24,5	Caix 3
00632X0070/F32	F3.2	34,5	24,5	Caix 3

Tableau 7 - Caractéristiques des captages de Caix 1 et 3 (Source : BSS)

Au sein de chaque champ captant, les forages peuvent fonctionner en alternance. De plus, les forages de Caix 1 et 3 n'alimentent pas tous les mêmes parties du réseau de distribution d'eau potable, et des mélanges peuvent être réalisés au niveau des réservoirs.

Les évolutions des niveaux piézométriques des captages de Caix 1 et Caix 3 (Figure 21) sont corrélées de façon positive avec les observations faites à partir des piézomètres suivis par le BRGM (Figure 14) : l'intervalle de 2001-2003 et l'hiver 2014-2015 apparaissent clairement comme des périodes de recharge importante de l'aquifère. L'écart entre les maxima observés est de 6.90 m pour Caix 1 et de 8.23 m pour Caix 3.

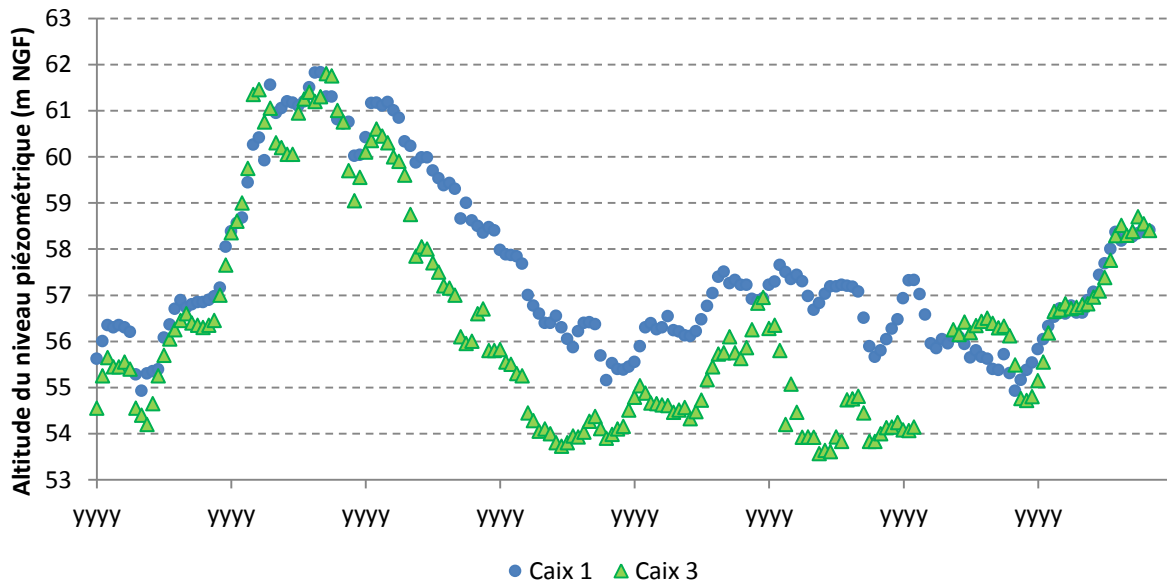


Figure 21 - Chroniques piézométriques des captages de Caix 1 et 3 (Source : SIEP)

Les deux captages d'eau potable de l'AAC Caix 3 (00632X0069/F31, 00632X0070/F32) sont entrés en activité à partir de 1995. Les données disponibles auprès de l'AEAP et du SIEP montrent que le volume total annuel pompé sur Caix 3 présente des variations inter-annuelles relativement marquées (Figure 22), oscillant entre 472 280 et 1 655 200 m³ de 1995 à 2015. À l'échelle de l'unité de production, la répartition des prélèvements est encore plus variable d'une année sur l'autre (Figure 23).

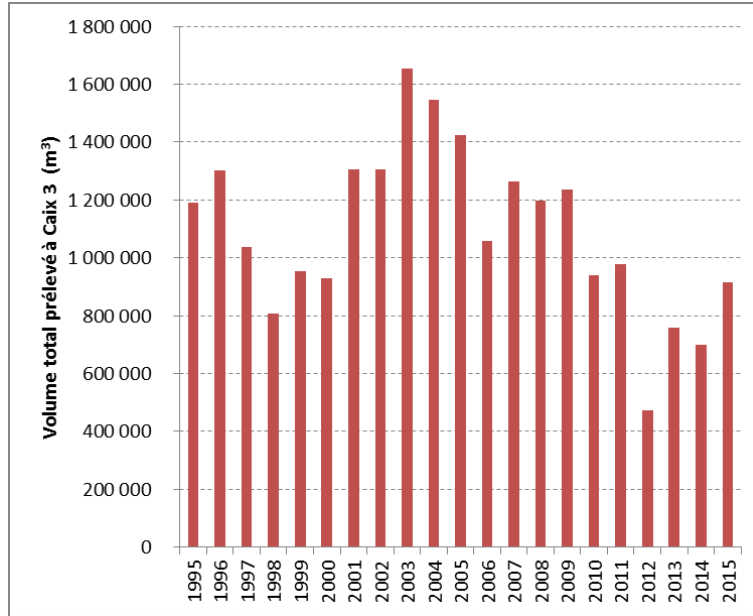


Figure 22 - Evolution du volume annuel total prélevé par les forages AEP à Caix 3 (Sources : AEAP, SIEP)

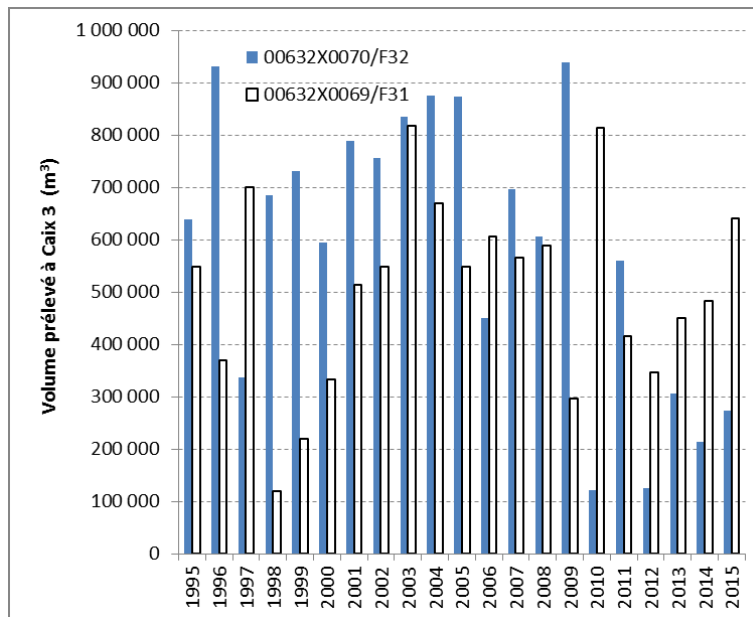


Figure 23 - Evolution du volume annuel prélevé par les forages 00632X0069/F31 et 00632X0070/F32 de Caix 3 (Sources : AEAP, SIEP)

Sur la période la plus récente, la consommation totale est presque stable (1500-2500 m³/jour) jusqu'au mois de mars 2015 (Figure 24). À partir de ce mois, les volumes prélevés ont oscillé entre 2500 et 3500 m³/jour. Les écarts inter-journaliers ont également augmenté depuis mars 2015. En revanche, à l'échelle de chaque ouvrage, les volumes journaliers sont nettement plus variables (Figure 25). Les volumes maxima ont systématiquement été atteints par le captage 00632X0070/F32 (maximum : 3179 m³ le 30/06/2015). Il est également à noter que les ouvrages ont été arrêtés de façon concomitante pendant une journée, et ce seulement à trois reprises sur une période de 3 ans.

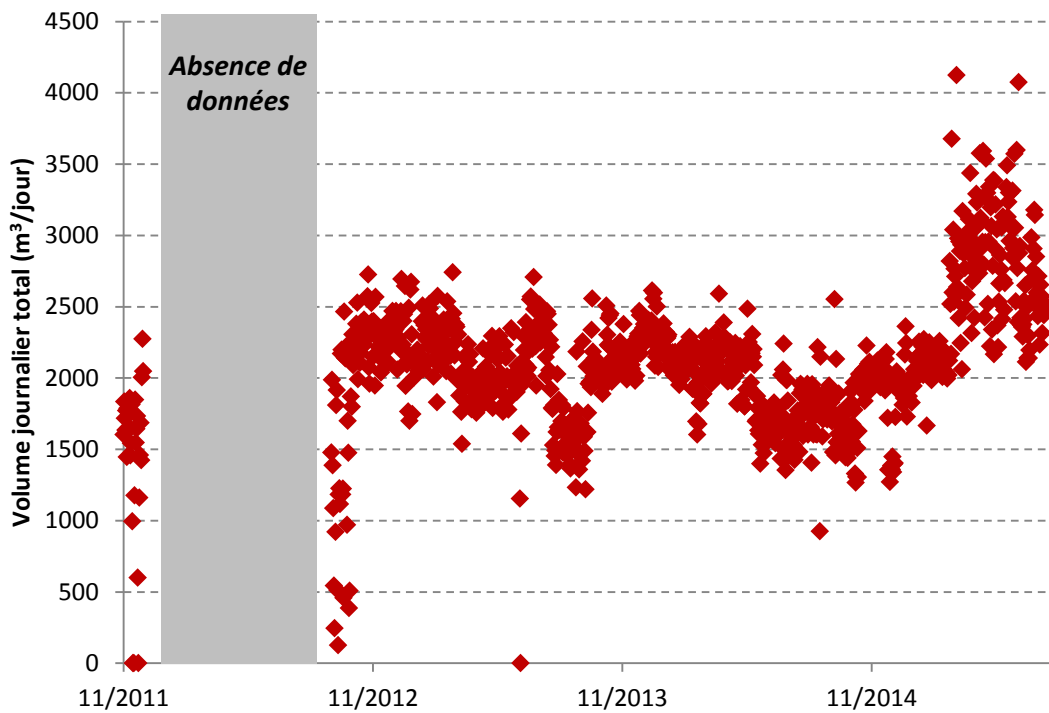


Figure 24 – Evolution du volume total prélevé à l'échelle journalière entre 2011 et 2015 par les forages AEP de Caix 3 (Source : SIEP)

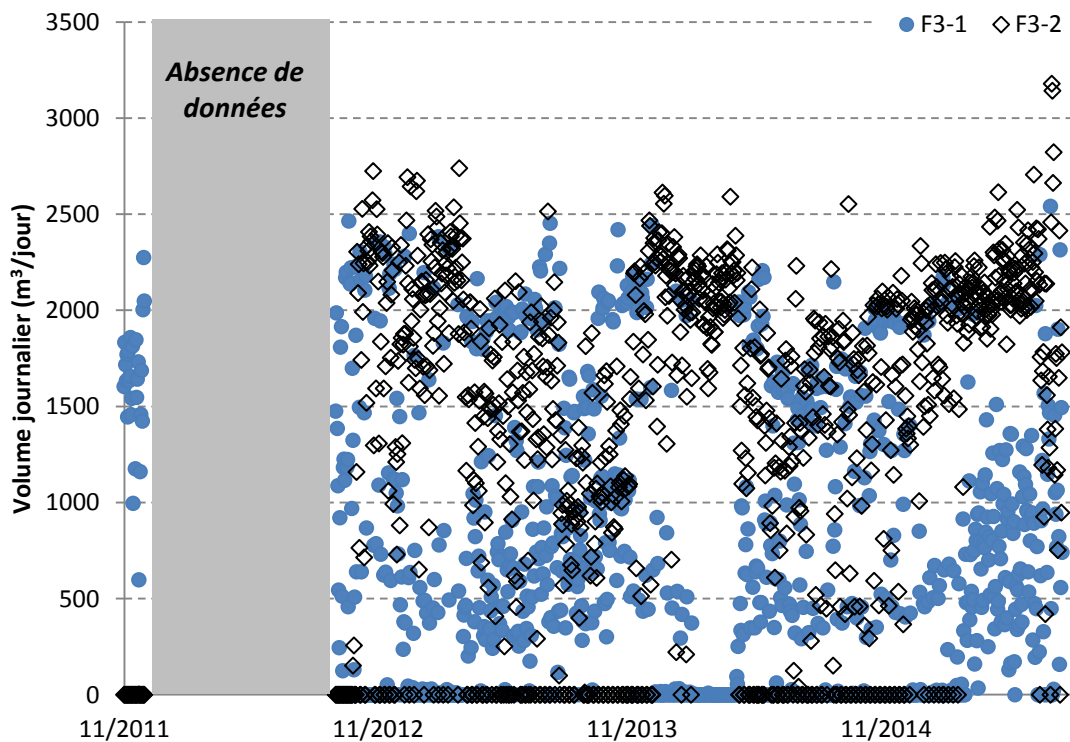


Figure 25 – Evolution des volumes journaliers prélevés par les forages 00632X0069/F31 et 00632X0070/F32 de Caix 3 (Source : SIEP)

À l'échelle journalière, les volumes sont pompés suivant des plages horaires variables, oscillant souvent entre 1 et 4 heures. À titre d'exemple, les 24 heures de la journée du 01/07/2015 comprenaient un peu plus de 16 heures de pompage réparties en plusieurs plages horaires (Figure 26).

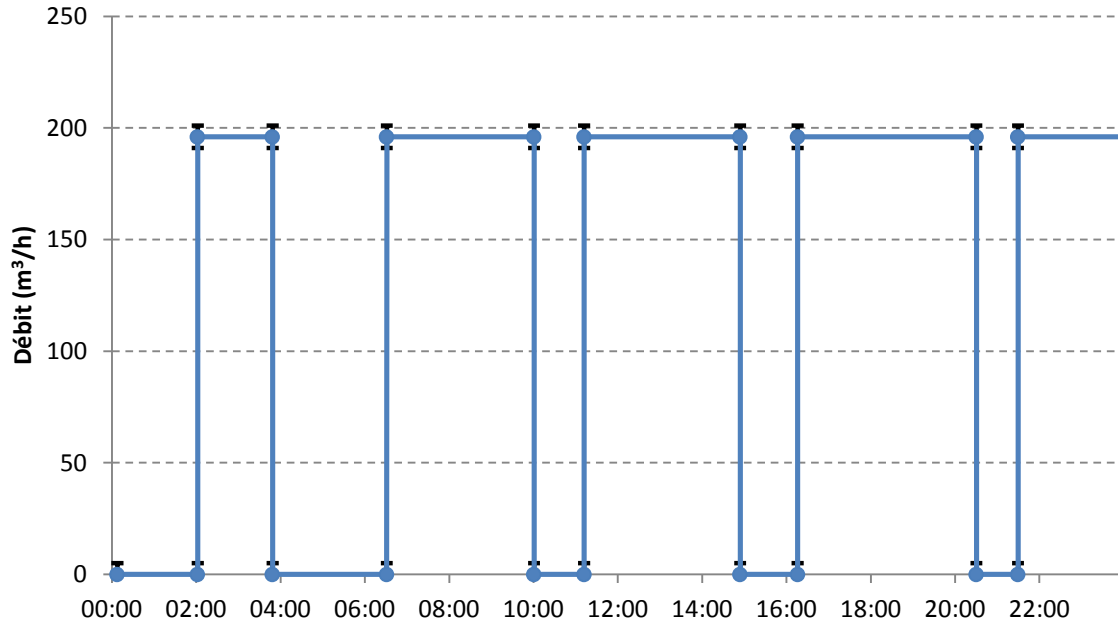


Figure 26 – Débit pompé dans le forage 00632X0070/F32 | Erreur: +/- 5 m³/h d'après le SIEP
(Source : SIEP)

Descriptif des captages agricoles

D'après les données disponibles auprès de l'AEAP qui recense les volumes annuels prélevés, 17 ouvrages captent l'aquifère crayeux pour l'irrigation au sein de l'AAC de Caix 3 et 11 en périphérie proche de l'AAC de Caix 3.

Dans l'AAC de Caix 3, les prélèvements agricoles représentaient 100 % des prélèvements en eau souterraine jusqu'en 1995 (Figure 27), année de mise en fonctionnement des captages d'eau potable. Ces prélèvements étaient de 71 000 m³ en 1993 et 178 000 m³ en 1994. Entre 1995 et 2012, la part agricole ne représente plus qu'en moyenne 23% des prélèvements totaux en eau souterraine, avec une moyenne annuelle de 338 700 m³. Les volumes annuels les plus bas sont, en 2007, de 75 000 m³ et les plus élevés, en 2003, 2009 et 2010, sont de l'ordre de 530 000 m³.

En incluant les 11 prélèvements agricoles en périphérie proche de l'AAC de Caix 3 (Figure 28), les volumes sont quasiment doublés.

Les volumes pompés par chaque structure agricole fluctuent d'une année sur l'autre, et sont compris entre 0 et 110 000 m³/an, avec une moyenne annuelle de 26 000 m³/an/structure (Figure 29).

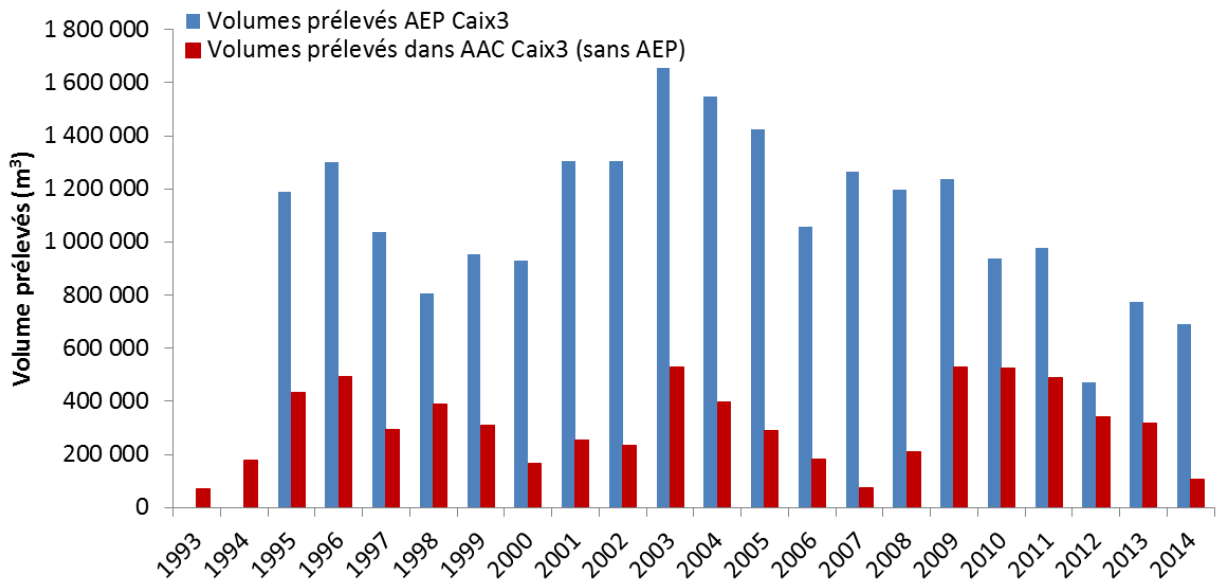


Figure 27 - Prélèvements en eau souterraine recensés dans l'AAC de Caix 3 (Source : AEAP)

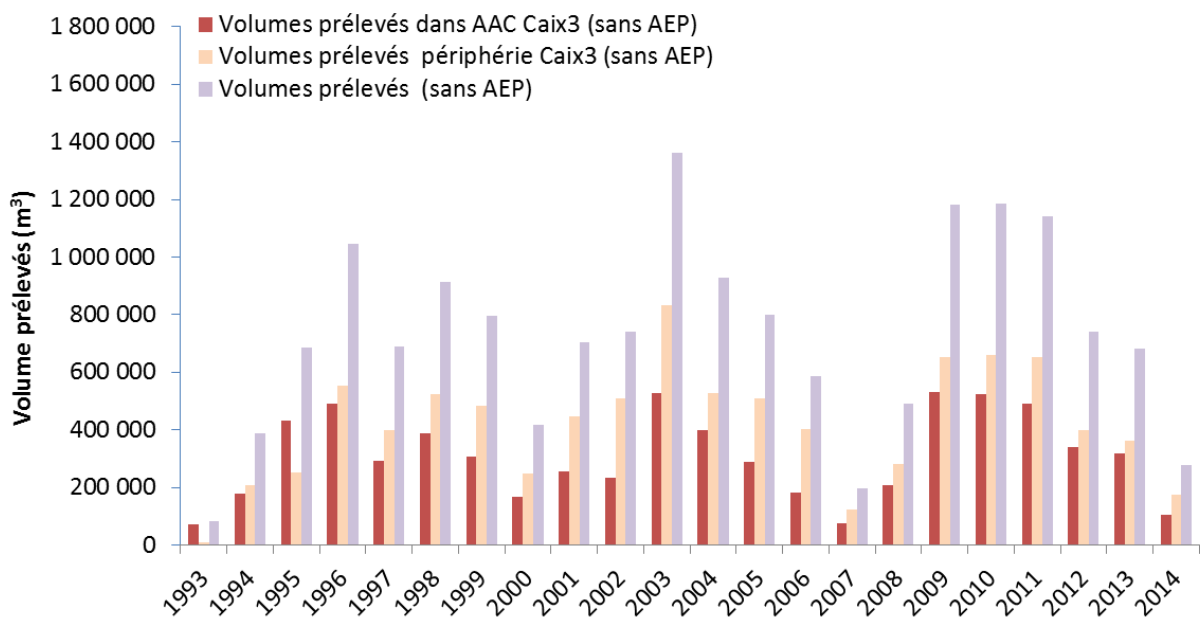


Figure 28 - Prélèvements en eau souterraine recensés pour l'irrigation dans l'AAC de Caix 3 et sa périphérie (Source : AEAP)

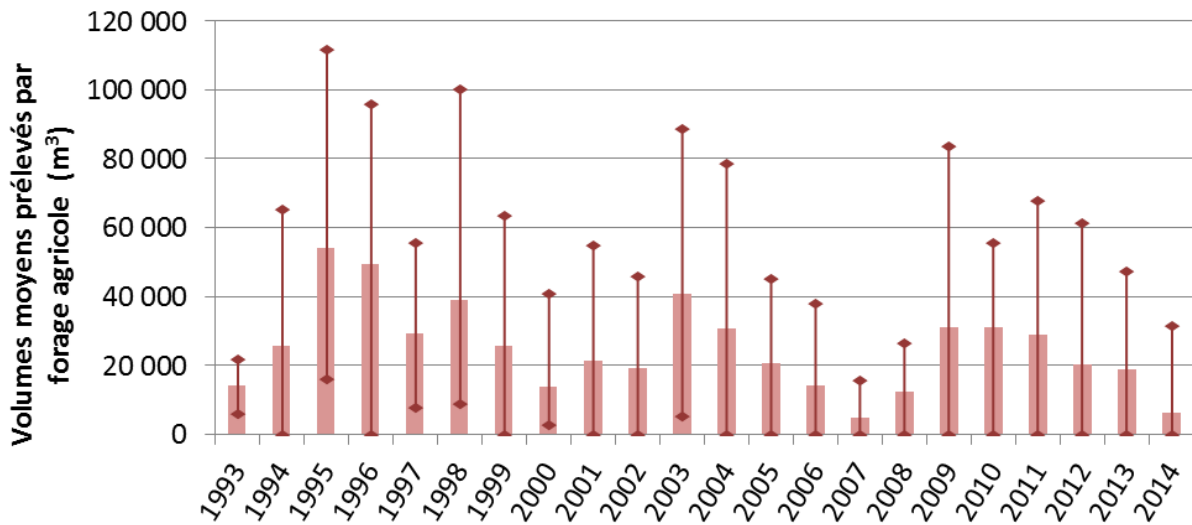


Figure 29 - Prélèvements annuels moyens en eau souterraine par forage destiné à l'irrigation dans l'AAC de Caix 3 (Source : AEAP).

Sur la période, le nombre de forages moyens est de 12 et variant de 5 à 17

2.7. CONCLUSIONS

Cette compilation des données existantes sur la zone d'étude (Caix 1 et 3) montre que de nombreuses et diverses informations (pédologiques, géologiques, hydrodynamiques et chimiques) ont pu être obtenues au cours de 30 dernières années. Cependant des lacunes subsistent notamment en termes de caractérisation des profils de concentration en nitrates dans la zone non-saturée (c'est-à-dire entre la surface du sol et la surface de la nappe). En effet, cet inventaire permet de connaître globalement les intrants en nitrates et les variations de concentration dans la nappe. En revanche, ces informations ne permettent pas d'avoir une connaissance précise des stocks et des temps de transit dans la zone non-saturée. En l'absence de ces données, une campagne d'acquisition a été menée afin de combler ces manques.

3. Caractérisations complémentaires sur le bassin versant de Caix (80)

3.1. OBJECTIFS DES CARACTERISATIONS COMPLEMENTAIRES

Cette phase de l'étude est dédiée à l'acquisition de nouvelles données complémentaires caractérisant l'AAC de Caix 3 par des analyses en laboratoire et des mesures in situ. Cette acquisition de données a pour but de compléter les lacunes constatées lors de la synthèse des données existantes et surtout de permettre de caractériser le sous-sol de l'AAC Caix 3 nécessaire à l'application des outils de modélisation MARTHE-MONICA développés (Picot-Colbeaux et al., 2017). Quatre catégories de caractérisation complémentaires ont été effectuées sur l'AAC de Caix 3 :

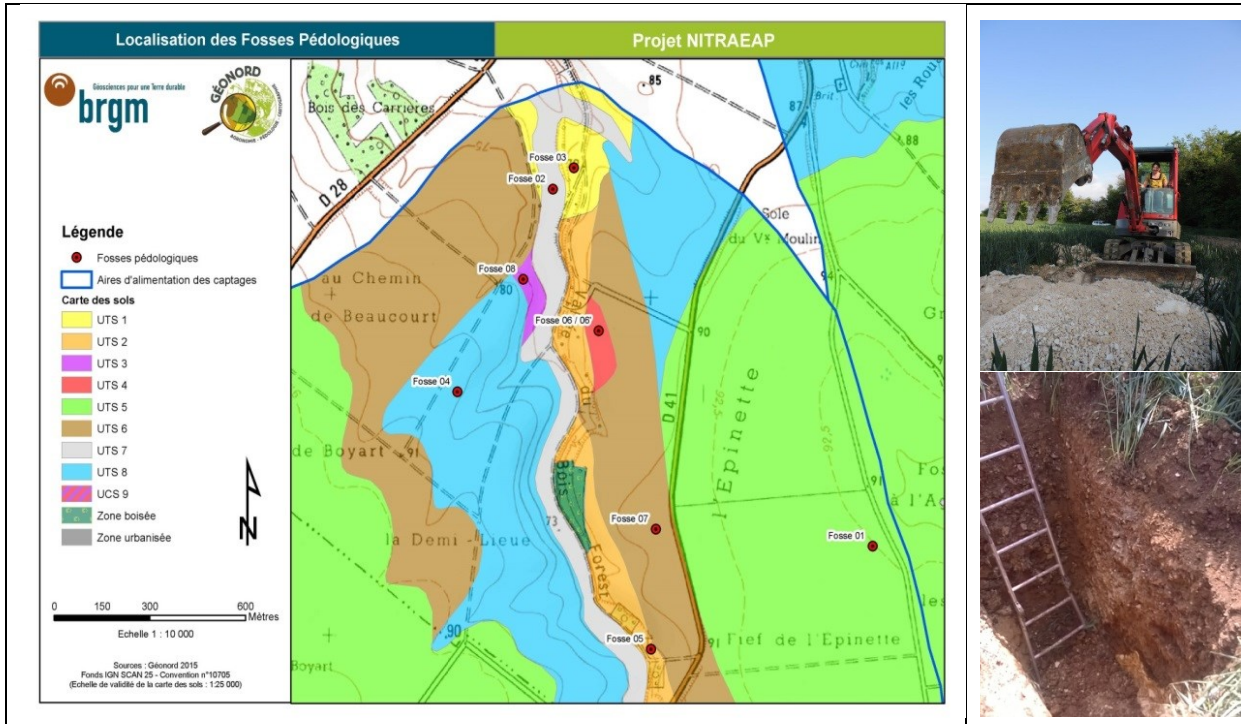
- une caractérisation pédologique des sols pour obtenir des paramètres utilisables dans le modèle appliqué à l'AAC de Caix 3, mais aussi pour finaliser, la carte des sols initiée par GéoNord (granulométrie, taux de matière organique, densité apparente, structure de sols),
- une caractérisation de la ZNS crayeuse par la réalisation d'un sondage géologique associé aux mesures de teneur en eau, d'espèces azotées, de matière organique, renseignant sur le transfert potentiel de nitrates depuis la surface du sol jusqu'à la nappe,
- une caractérisation des eaux souterraines effectuée pour constituer un état chimique des eaux sur l'ensemble de l'AAC de Caix 3 à un instant donné afin de contraindre un futur modèle d'écoulement et de transport des nitrates,
- une caractérisation au laboratoire des écoulements et du transport de nitrates et de bromures dans des colonnes de craie et de limons non remaniées. Des analyses minéralogiques de la craie et des limons ont été réalisées pour estimer le potentiel réactif des nitrates dans ces matériaux.

Un suivi temporel des niveaux piézométriques de la nappe de la craie n'a pu être mis en place dans le cadre de ce projet par manque de piézomètres ou forages accessibles. Cette caractérisation complémentaire de la dynamique de la nappe de la craie devra être faite dans un futur projet.

3.2. CARACTERISATION PEDOLOGIQUE DES SOLS

Une caractérisation pédologique des sols est menée pour obtenir des paramètres complémentaires à la carte des sols existante. Une caractérisation de la granulométrie, de la densité apparente, du taux de matière organique ainsi que des indications sur la structure de sols rencontrés est nécessaire pour fournir les données requises par les modèles agronomiques. 8 fosses de 1 m x 2 m sur 2 m à 3 m de profondeur ont été réalisées à la mini-pelleuse pour chaque unité de sols rencontrée sur l'AAC de Caix 3. Les travaux ont été menés par la société GéoNord et le BRGM en mai 2015 (Figure 30). Pour chaque horizon identifié dans les fosses, un échantillon de sol a été prélevé, conditionné et analysé au laboratoire. Les analyses pour chaque fosse concernent (Annexe 2) :

- La teneur des différentes formes de l'azote : ammonium, nitrites, nitrates.
- La teneur en matière organique et en azote total.
- La granulométrie et densité apparente.



Sols issus de l'altération de la craie

UTS 1 : Sols superficiels, limoneux à limono-argileux, carbonatés reposant sur la craie plus ou moins altérée [...]

UTS 2 : Sols superficiels argileux ou argilo-limoneux, reposant sur la craie plus ou moins altérée [...]

UTS 3 : Sols moyennement superficiels non hydromorphes, limoneux à limono-argileux, carbonatés, reposant sur la craie plus ou moins altérée [...]

UTS 4 : Sols moyennement superficiels argileux ou argilo-limoneux, reposant sur la craie plus ou moins altérée [...]

Sols issus des limons loessiques :

UTS 5 : Limons profonds, bruns à bruns clairs, non hydromorphes à faiblement hydromorphes [...]

Sols issus de l'argile à silex

UTS 6 : Sols argileux fortement hydromorphes [...]

Sols issus des Colluvions

UTS 7 : Colluvions des vallées sèches. Limons bruns clairs, non hydromorphes et fortement carbonatés dès la surface

UTS 8 : Colluvions des versants. Limons bruns à bruns clairs non hydromorphes, plus ou moins carbonatés (parfois non carbonatés)

Unités complexes :

UCS 9 : Association des UTS 3 et 4.

Figure 30 – Localisation des fosses dédiées à la caractérisation pédologique des sols sur fond de carte des unités de sols (UTS et UCS)

L'étude des sols a permis d'obtenir un premier éclairage sur les écoulements probables et le transfert de nitrates (Figure 31). Les écoulements sont essentiellement verticaux et le ruissellement potentiel est dépendant de la pente mais surtout de la présence de croûte de battance. Les risques de transfert de nitrates en profondeur sont plus élevés au niveau de la vallée sèche et sont dépendants de la fertilisation. Ils peuvent être réduits par une fertilisation pilotée et particulièrement raisonnée. Les teneurs en nitrates les plus fortes mesurées l'ont été dans les deux horizons superficiels de type crayeux qui présentent le risque le plus fort de transfert des nitrates vers la nappe (UTS 1, fosse 3 présentant une moyenne de 21.5 mg N-NO₃ kg de sol sec ; UTS 2, fosse 5 présentant une moyenne de 33.5 mg N-NO₃ kg de sol sec ; contrairement aux autres UTS/fosses pour lesquelles les valeurs mesurées en nitrates sont inférieures à 5 mg N-NO₃ kg de sol sec).

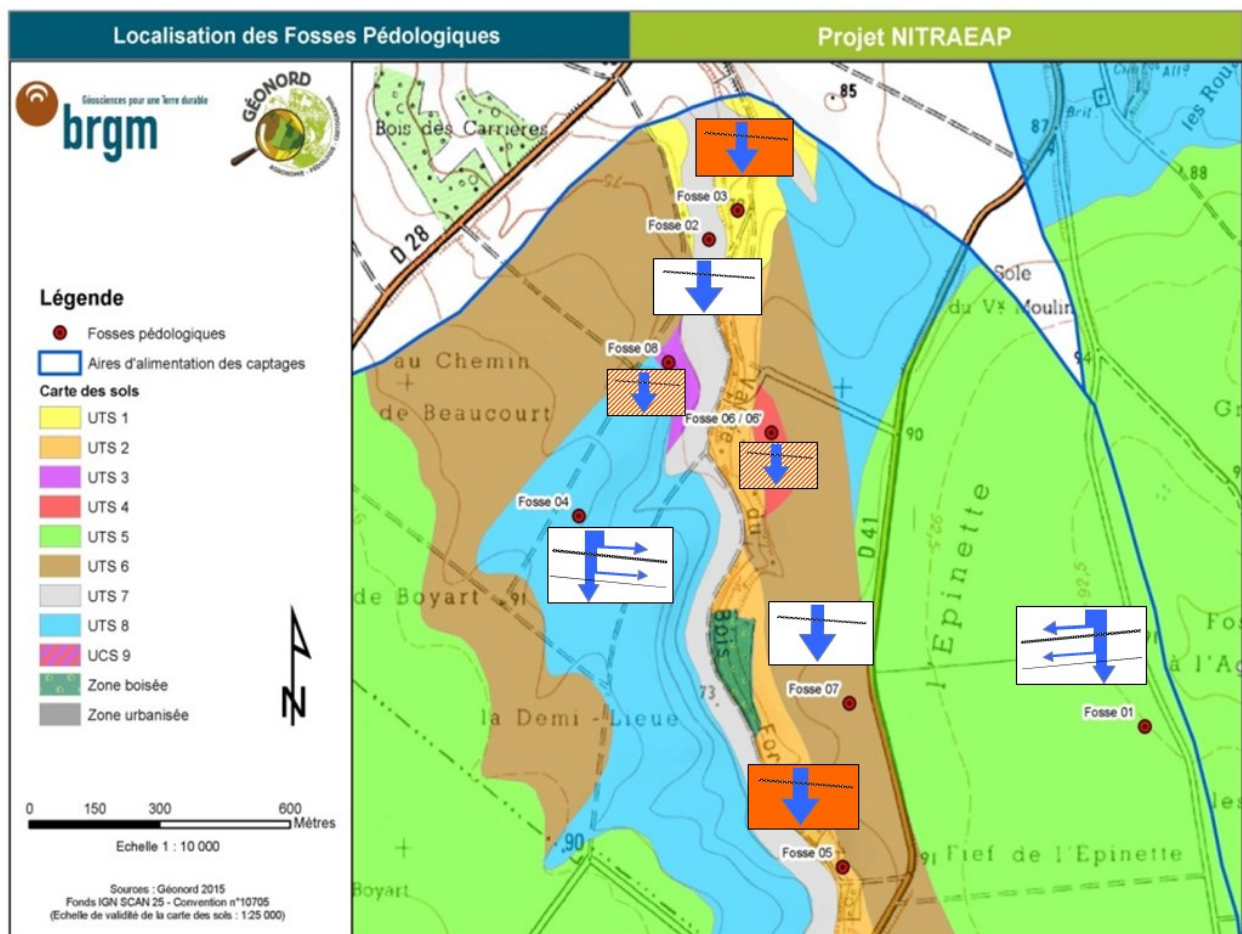


Figure 31 – Synthèse des écoulements probables en subsurface et transferts potentiels de nitrates par unités de sol (les flèches bleues indiquent les sens d'écoulement dominants ; les couleurs indiquent le risque vis-à-vis du transfert de nitrates : blanc = peu de risque, hachures rouges = risque modéré ; rouge = risque fort)

3.3. CARACTERISATION D'UN PROFIL DE NITRATES DANS LA ZNS

3.3.1. Localisation, échantillonnages et analyses

Un sondage géologique a été réalisé à proximité des captages de Caix 3 sur la parcelle boisée ZS43 (Figure 32) du SIEP du Santerre qui était anciennement cultivée (reforestation depuis 2000). La plantation des arbres a été effectuée en 2000. Les échantillons solides de la ZNS recueillis lors du forage ont été prélevés tous les 50 cm de 0 m à 22 m, profondeur à laquelle la nappe a été atteinte.

Les échantillons ont été collectés pour analyser la teneur en nitrate, nitrite, ammonium, carbone organique et la teneur en eau des solides. L'évolution de ces teneurs en fonction de la profondeur permet d'évaluer l'impact de la reforestation sur l'évolution des nitrates présents dans la ZNS après une longue période de pratique culturale.

Les échantillons ont été stockés dans des sacs plastiques hermétiques. Durant le chantier de forage, un stockage temporaire des échantillons a été prévu, d'abord en glacière en plein champ puis en camionnette frigorifique. Les analyses ont été réalisées au LDAR (Laboratoire Départemental d'Analyse et de Recherche) de Laon (tableau de données en Annexe 3). Les échantillons ont été apportés au laboratoire, après prélèvement par un technicien du BRGM.

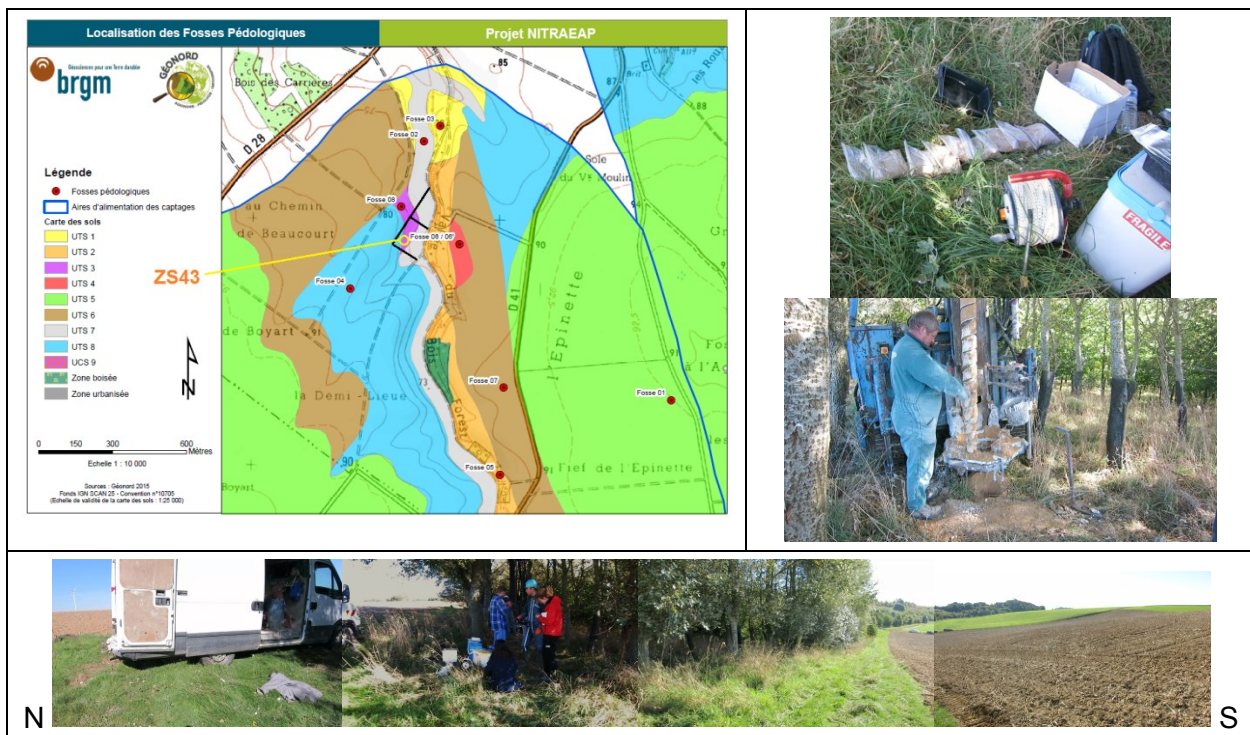


Figure 32 – Localisation du sondage géologique dédié à la caractérisation du profil de nitrates dans la ZNS sur fond de carte des unités de sols (UTS et UCS)

Profils obtenus sur le forage : teneurs en azote, teneur en eau et teneur en matière organique
 Figure 33 La Figure 33 présente les faciès rencontrés en profondeur dans la ZNS et les teneurs en nitrates mesurées. Le sondage est représentatif de cette partie de l'AAC avec 5 m de limons reposant sur le faciès crayeux où la nappe a été rencontrée vers 22 m de profondeur. La teneur en nitrates fluctue de la surface du sol jusqu'à la nappe témoignant d'un transfert de nitrates dans le sol et le sous-sol.

Les nitrates représentent la forme la plus importante d'azote mesurée, l'ammonium est peu représenté (de l'ordre de 0.2 mg de N-NH₄/kg de sol sec) et les nitrites sont absents (toutes les valeurs mesurées sont inférieures à la limite de quantification). Les teneurs en nitrates sont maximales vers 6 m (8.17 mg de N-NO₃/kg de sol sec) en tête du faciès crayeux. Ce premier pic s'étend de 5.50 m à 8.5 m. Un deuxième pic, avec un maximum de 7.13 mg de N-NO₃/kg de sol sec, a été détecté à 11 m. Enfin, un dernier pic a été mesuré à 15 m, la concentration relevée est de 6.3 mg de N-NO₃/kg de sol sec. A partir de 18 m de profondeur, la teneur en nitrates se stabilise à environ 2 mg N-NO₃/kg de sol sec.

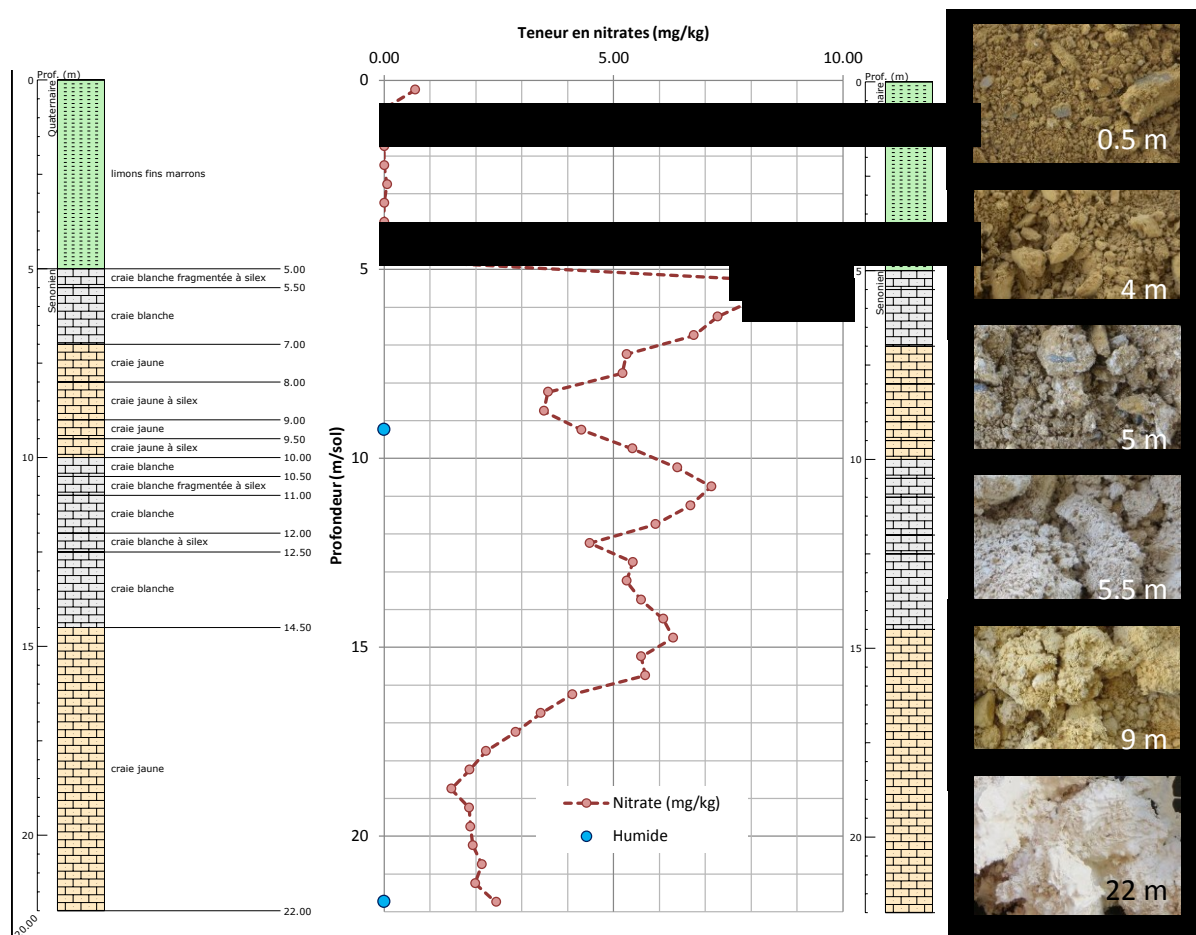


Figure 33 – Faciès et teneurs en nitrates (N-NO₃ mg/kg de sol sec) dans la ZNS en fonction de la profondeur

La Figure 34 représente les teneurs en eau pondérale ou humidité des sols (g d'eau/kg sol sec) ainsi que les teneurs en matière organique mesurées dans la ZNS. Les teneurs en eau mesurées varient de 53 g/kg à 202 g/kg et dépendent des faciès rencontrés : ~ 55 g/kg dans les limons (de 0-6 m) et 180 g/kg dans la craie (de 6 à 22 m). Les teneurs en eau sont relativement uniformes pour chacun des faciès et varient uniquement en surface où les variations sont liées aux conditions atmosphériques et à l'action de la végétation (parcelle boisée non irriguée). A 22 m de profondeur dans la craie, la nappe d'eau souterraine est atteinte et la teneur en eau est toujours de l'ordre de 180 g/kg montrant ainsi que l'ensemble de la ZNS crayeuse est proche de l'état de saturation. Les teneurs en matière organique sont également dépendantes du faciès et sont plus importantes de l'ordre de 1.7 g/kg pour les limons et plus faibles de l'ordre de 0.3 g/kg pour la craie. Une variation en surface est également présente mais cette fois-ci de par la présence de l'horizon de carbone organique de sous-bois (humus).

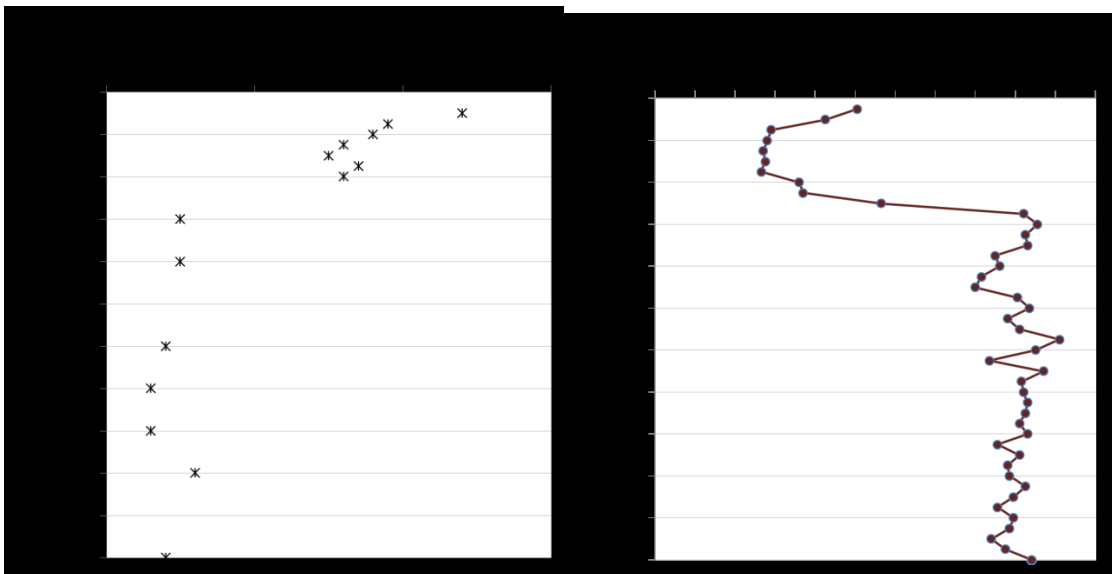


Figure 34 – Teneurs en eau pondérale (g/kg) et en carbone organique (g/kg) dans la ZNS en fonction de la profondeur

3.3.2. Interprétation du transfert vertical des nitrates dans la ZNS

Les données d'assolement de la parcelle forée sont disponibles avant sa reforestation en 2000 et les rotations suivantes ont été effectuées :

- 1990/1991 : blé
- 1991/1992 : pomme de terre
- 1992/1993 : blé/Jachère sur 1ha10
- 1993/1994 : betterave
- 1994/1995 : blé
- 1995/1996 : betterave
- 1996/1997 : blé
- 1997/1998 : pois/pomme de terre
- 1998/1999 : blé
- 1999/2000 : achat du SIEP puis reforestation.

En se basant sur les caractéristiques culturales de la parcelle, il est possible de calculer un temps de transfert moyen des nitrates. Il est raisonnable d'imaginer que la reforestation peut être identifiée sur le profil car elle entraîne une limitation drastique de la quantité azote introduite dans le sol. En se basant sur cette hypothèse, les conséquences de la reforestation sont visibles jusqu'à 5.5 m de profondeur. Selon les données du SIEP, la reforestation a été réalisée lors de la campagne 1999/2000 (il y a 15 ans), ce qui implique une vitesse de transfert vertical dans le limon d'environ 0.36 m/an. Cette vitesse de transfert moyenne est cohérente avec les données de la littérature pour les limons qui est généralement de 0.40 m/an (Normand, et al., 1999 ; Surdyk, et al., 2014).

La concentration en eau et la concentration en nitrates sont très dépendantes de la lithologie. La variation nette des teneurs en nitrates s'observe vers 5.5 m de profondeur coïncidant avec le changement de faciès limon-craie. Cependant, il est peu probable que la présence de limon soit le facteur expliquant les faibles concentrations en nitrates dans les 5 premiers mètres de la ZNS. En effet, les autres sondages réalisés en Picardie, sur des parcelles agricoles menées en rotation classique, n'ont révélé aucun lien entre la présence de limon et la baisse des concentrations en nitrates (Surdyk et al., 2014; Surdyk et al., 2016). Il est plus probable que la baisse des concentrations sur les 5 premiers mètres soit due à l'arrêt des pratiques culturales en surface et à une absorption a posteriori des nitrates par les racines des arbres lors de leur croissance après leur mise en place.

L'évolution des concentrations en nitrates plus en profondeur est sans doute représentative des alternances des assolements et des pratiques culturales associées. L'homogénéisation de la concentration en queue de sondage est probablement le signe d'un lessivage des nitrates par battement de la nappe. En raison de l'évolution corrélée des concentrations en nitrates et du faciès géologique, il n'est pas possible d'estimer la vitesse de transfert des nitrates dans la ZNS car le front de concentration en nitrates pourrait résulter de plusieurs mécanismes ayant lieu dans les limons ou dans la craie (dénitrification dans les limons, prélèvements de nitrates par la végétation, écoulements préférentiels latéraux dans la craie, phénomènes de dispersion différenciés en fonction de la profondeur, ...).

Un second sondage à proximité en mesurant les teneurs en nitrates permettrait d'évaluer l'évolution temporelle du stock de nitrates présent dans la ZNS et de confirmer les vitesses de progression du front en relation ou non avec le changement de faciès limon-craie. Par ailleurs les simulations à l'aide du modèle MARTHE-MONICA permettront également d'estimer les stocks de nitrates dans la ZNS et leur évolution temporelle en tenant compte des variations climatiques et culturales.

3.4. CARACTERISATION DES EAUX DE LA NAPPE DE LA CRAIE

La campagne de prélèvement des eaux souterraines dans 12 forages agricoles et les 2 forages AEP de Caix 3 est effectuée les 14 et 15 septembre 2015 en période de basses eaux. Les puits 00632X0064/P1 et 00632X0104/F02 n'ont pas fait l'objet de prélèvements (Figure 35). Les pompes des agriculteurs présentes dans les forages ont été utilisées afin de prélever des échantillons d'eau souterraine. Une première phase de renouvellement des eaux dans les forages a été réalisée jusqu'à stabilisation des paramètres physico-chimiques des eaux mesurés sur site : Température, pH, Conductivité, Eh (potentiel redox), Oxygène dissous. Une seconde phase de prélèvement et de conditionnement d'échantillons des eaux a été effectuée pour que les eaux soient analysées au laboratoire du BRGM à Orléans. Les conditions de mesure des paramètres physico-chimiques sur site, de par leur contact avec l'atmosphère, ne permettent pas d'obtenir des valeurs d'oxygène et d'Eh représentatives des eaux de la nappe. Les résultats des analyses géochimiques de la campagne de septembre 2015 sont consignés dans le Tableau 8.

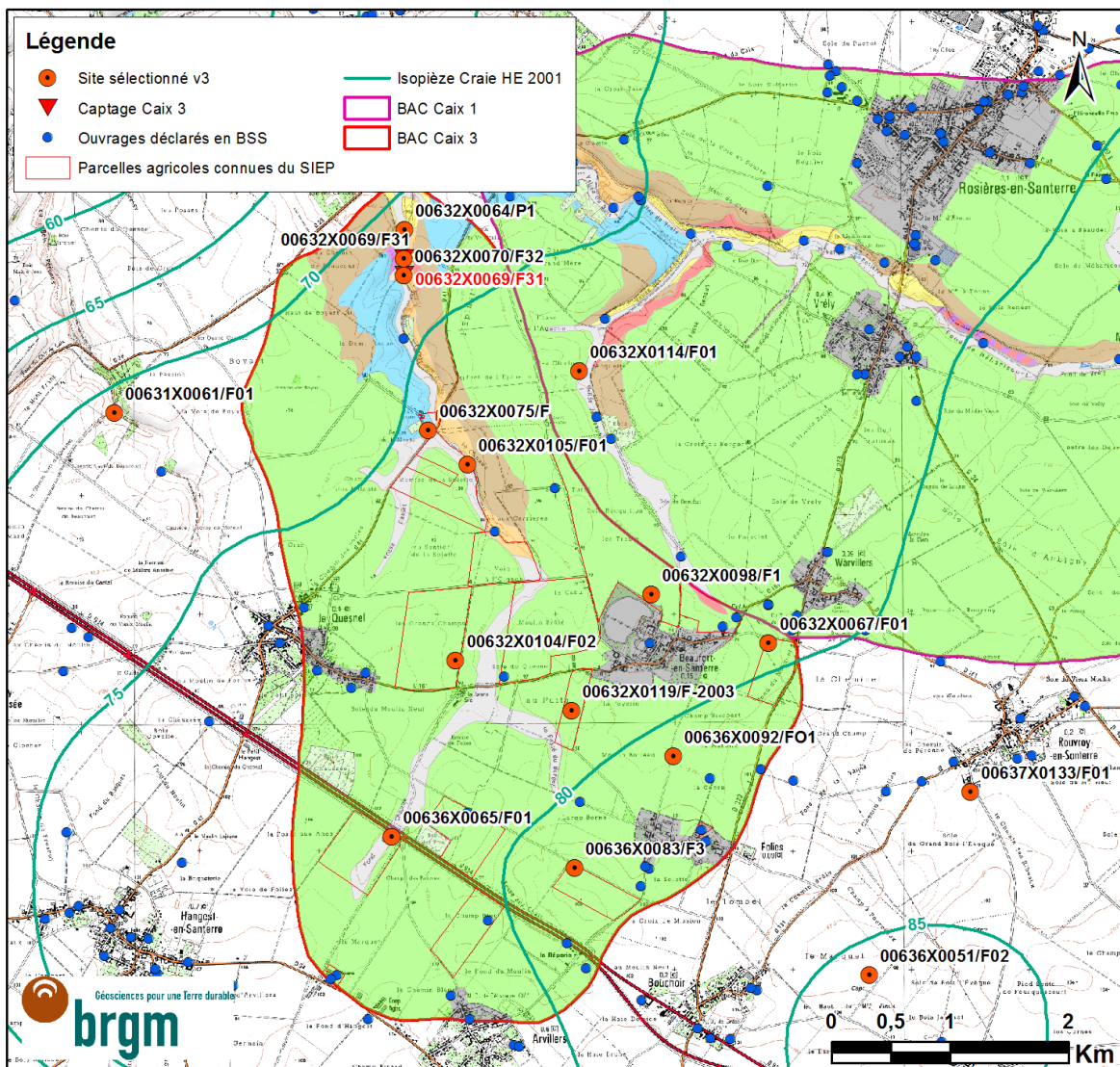


Figure 35 : Cartographie des points d'échantillonnage en eaux souterraines sélectionnés pour la campagne de septembre 2015

	00632X0075	00632X0105	00632X0114	00632X0098 *	00632X0067 **	00636X0065	00636X0051	00636X0092	00636X0083	00632X00119	00631X0061	00637X0133	00632X0070	00632X0069
COD (mg/l) LQ 0.5	1.1	0.6	0.6	1.2	0.9	0.7	0.6	2.0	1.0	0.7	1.7	0.6	0.7	0.6
COT (mg/l) LQ 0.5	1.1	0.7	0.7	1.2	1.2	0.8	0.7	2.1	1.0	0.7	1.6	0.6	0.6	0.6
CO3 (mg/l) LQ 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
HCO3 (mg/l) LQ 10	360	375	388	413	373	400	359	432	394	355	391	359	371	372
Ca (mg/l) LQ 0.5	122.3	123.1	126.7	124.4	113.0	142.3	125.8	118.8	123.8	139.5	120.2	117.7	117.2	116.0
K (mg/l) LQ 0.5	2.0	4.0	2.4	13.4	1.0	1.2	0.8	25.5	11.3	4.2	7.3	1.3	2.3	2.2
Mg (mg/l) LQ 0.5	18.7	17.5	19.2	20.1	22.5	16.5	16.1	27.3	20.1	13.1	17.7	16.2	17.5	18.5
Cl (mg/l) LQ 0.5	36.9	36.4	36.0	31.9	35.9	56.5	39.6	42.6	39.5	45.2	29.8	32.7	30.6	34.4
Na (mg/l) LQ 0.5	9.9	11.3	11.5	15.5	8.5	13.4	9.3	16.8	13.6	12.4	13.6	9.1	10.4	10.3
SO4 (mg/l) LQ 0.5	24.3	23.7	23.5	34.5	25.1	21.7	29.3	32.0	25.5	36.1	24.4	23.4	20.9	10.7
Fet (mg/l) LQ 0.02	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.59	0.04	0.21	0.07	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
NO3 (mg/l) LQ 0.5	42.6	42.8	44.0	48.4	31.6	28.2	36.0	49.5	46.9	58.3	46.1	39.8	37.4	36.8
NO2 (mg/l) LQ 0.01	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.03	0.01	< LQ	< LQ	< LQ	0.01	< LQ	< LQ
NH4 (mg/l) LQ 0.5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0.08	< LQ	< LQ	0.07	< LQ	< LQ	< LQ
N Kjel. (mg/l) LQ 2.5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
T (°C)***	11.9	12	11.8	15.1	11.7	11.6	11.7	11.5	11.3	11	11.9	11.2	11.7	12.5
pH***	7.53	7.17	7.48	6.96	6.97	6.84	7.11	7.22	7.44	7.21	7.20	7.00	7.18	7.25
Cond. (µS/cm)***	755	774	797	853	754	854	765	916	829	830	787	738	741	738
Eh (mV)***	136.4	206.5	208.5	192.4	198	218.2	181.6	208.3	203.8	215.3	197.5	214.9	219.7	193.2
O2 (%)***	98.0	93.7	96.4	88.0	106.0	79.5	87.4	90.8	96.9	96.3	88.4	89.7	92.7	94.0
O2 (mg/l)***	10.36	9.9	10.12	8.65	11.48	8.43	9.25	9.67	10.39	10.35	9.35	6.66	9.38	9.84
Electroneutralité Pourcentage d'erreur, 100*(Cat- An)/(Cat+ An)	-0.07	-1.13	-0.67	-1.67	-1.63	0.10	-1.01	-0.98	-0.87	-0.59	-1.64	-2.00	-1.20	-0.45
Crépine - Craie - Epaisseur (m)	Craie 20	Craie 35	Craie 13	Craie 25	Craie 48	Craie 27	Craie 60	Craie 28	Craie 25	Craie 30	Craie 25	Craie 35	Craie 24.5	Craie 24.5
UTS	8	7	7	7	5	7	-	5	5	5	-	-	2	7

* Conduite en PVC favorisant l'augmentation de T° et de pH, ** Eau troublee : présence de fines particules de terre (ou autre),
*** Analyses acquise sur site en contact avec l'atmosphère (eaux ré-oxygénées)

Tableau 8 – Résultats de mesure in situ et d'analyse en laboratoire des eaux souterraines sur Caix3
(LQ : limite de quantification ; UTS : unité de sol sus-jacent)

Pour l'ensemble des échantillons prélevés durant la campagne de septembre 2015, les analyses des anions/cations montrent une électroneutralité ($100 \cdot (\text{Cat} - |\text{An}|) / (\text{Cat} + |\text{An}|)$) relativement bien respectée (< 2% d'erreur sur la Figure 35 et la Figure 36). Ces analyses sont correctes et peuvent donc faire l'objet d'une interprétation.

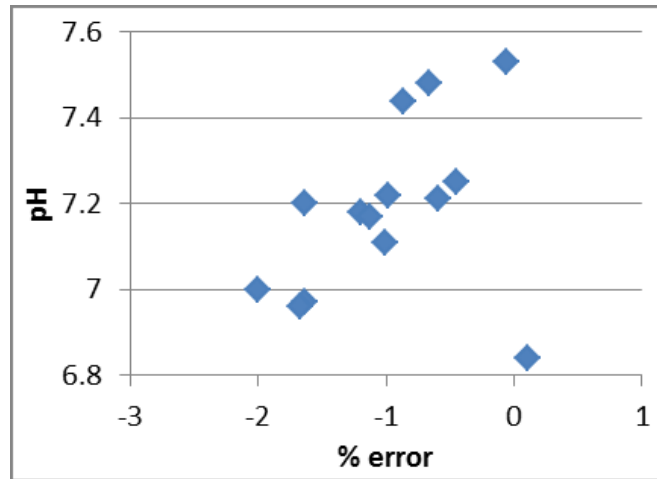


Figure 36 : Erreur sur l'électroneutralité ($100 \cdot (\text{Cat} - |\text{An}|) / (\text{Cat} + |\text{An}|)$) par rapport au pH tel que mesuré sur site sur les eaux souterraines prélevées en septembre 2015 à Caix 3

Globalement, les eaux souterraines prélevées présentent des concentrations en ions majeurs relativement similaires comme le montre le diagramme de Schoeller (Figure 37). Le faciès hydrogéochimique de ces eaux est de type hydrogénocarbonaté calcique. Par ailleurs, les calculs de saturation (Figure 38) montrent que ces eaux sont à l'équilibre (indices de saturation proche de zéro) avec la Calcite (CaCO_3) et proche de la saturation (indices de saturation légèrement négatifs) vis-à-vis de la Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Les valeurs de pH mesurées sont proches de la neutralité (7.2-7.6). De telles caractéristiques sont typiques des eaux de la nappe de la Craie.

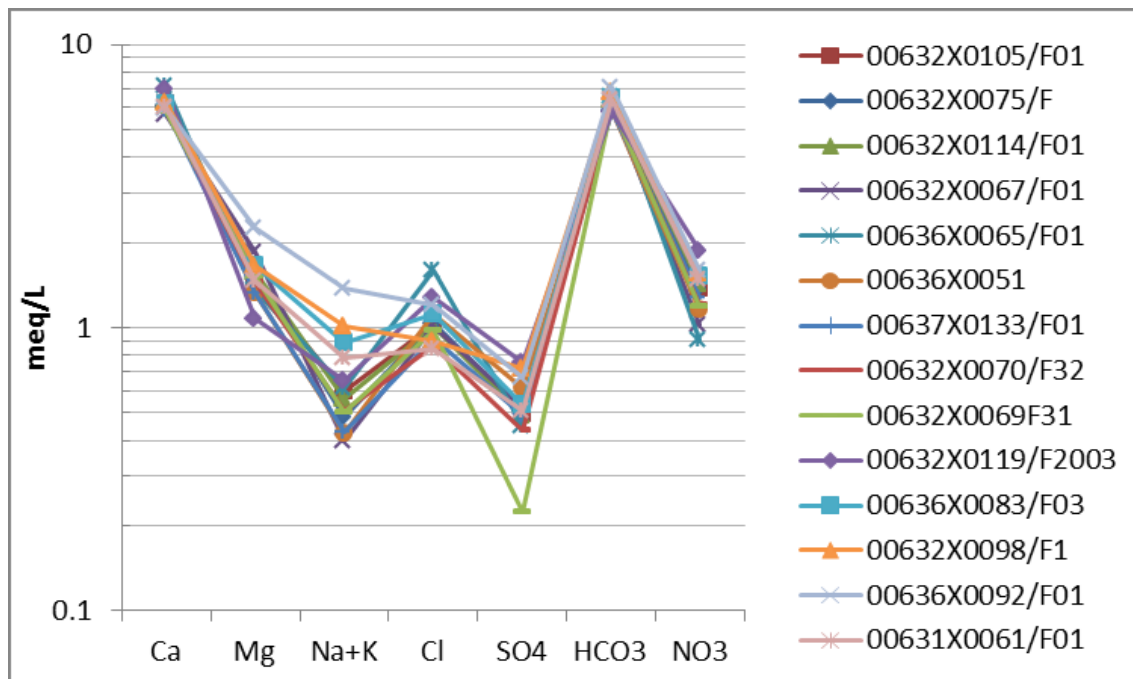


Figure 37 : Diagramme de Schoeller des eaux souterraines prélevées en septembre 2015 sur Caix 3

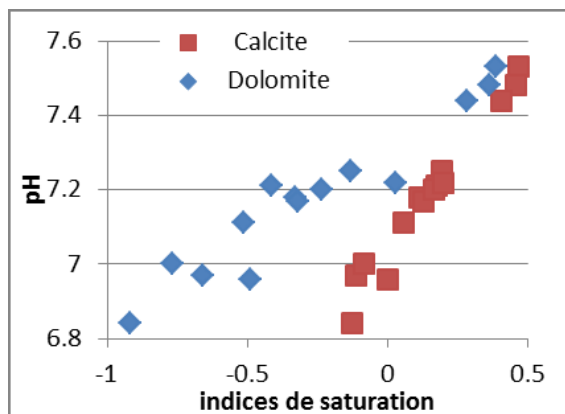


Figure 38 : Etat de saturation vis-à-vis de la Calcite (CaCO_3) et de la Dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) des eaux souterraines prélevées en septembre 2015 sur Caix 3.

Indice de saturation < 0 : eaux sous-saturées ; indice de saturation = 0 : à l'équilibre ; indice de saturation > 0 : sur-saturation

Néanmoins, au-delà de l'homogénéité de faciès, quelques échantillons d'eau souterraine prélevés en septembre 2015 montrent des spécificités géochimiques. En particulier :

- le forage 00632X0069/F31, un des forages AEP de Caix 3, présente une concentration en sulfate faible (environ 10 mg/L, en accord avec les données historiques présentées sur la Figure 18) par comparaison aux autres forages échantillonnés (à environ 21 - 36 mg/L) ;
- les forages 00636X0083, 00632X0098, 00636X0092 et 00631X0061 présentent des concentrations en potassium particulièrement élevées (7 - 25 mg/L) par comparaison aux autres forages échantillonnés (à environ 1 - 4 mg/L) (Figure 39) ;
- le point 00636X0092 présente des concentrations plus importantes en Na (17 mg/L), K (26 mg/L), Mg (27 mg/L) et COT (2.1 mg/L). Par ailleurs, la présence de nitrite, d'ammonium et de fer (0.07 mg/L) est détectée. Les mesures physico-chimiques *in situ* n'indiquent pourtant pas un potentiel redox faible ni de concentration en oxygène particulièrement basse.

Les concentrations en nitrates mesurées dans les eaux souterraines s'échelonnent entre 28 et 58 mg/L (Figure 39). Ces concentrations sont représentatives des concentrations observées dans les forages AEP au cours de ces dernières années (pic à 56 mg/L suite aux hautes eaux de 2001, puis des valeurs autour de 25 - 28 mg/L entre 2005 et 2014). Spatialement, les concentrations en nitrates les plus importantes s'observent sur le plateau au sud-est de l'AAC (Figure 39). Cette zone semble corrélée aux zones présentant un excès de potassium, de sodium et de sulfates (respectivement K, Na et SO_4 sur la Figure 39).

La Figure 40 présente, sous forme de diagramme binaire, les relations entre concentrations en nitrates et concentrations en K, Na et SO_4 . Les données sont issues des forages AEP de Caix 1 et Caix 3. Les figures ne montrent pas de corrélation nette entre les nitrates et le potassium ou entre les nitrates et le sodium. En revanche, une corrélation est obtenue entre les concentrations en sulfates et en nitrates. L'utilisation des données historiques au captage (déjà présentées à la Figure 18 avec les données historiques), montre également une corrélation nitrates-sulfates (Figure 41), quoique présentant une pente différente de celle obtenue avec les données de la campagne de septembre 2015.

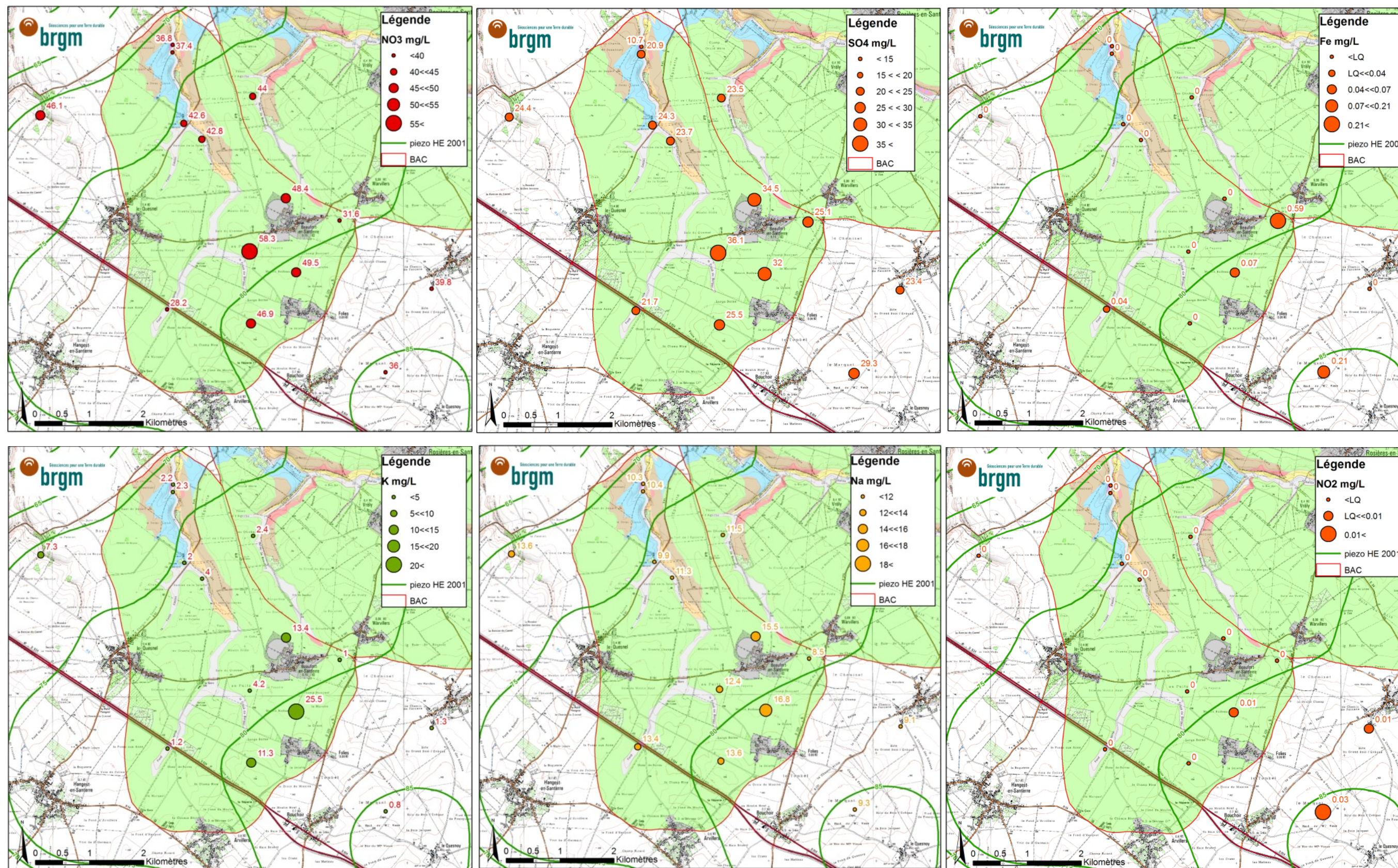


Figure 39 : Cartographie des concentrations en nitrates (NO3), sulfate (SO4), potassium (K), sodium (Na), fer (Fe) et nitrite (NO2) dans les eaux souterraines de l'AAC de Caix 3 mesurées en septembre 2015

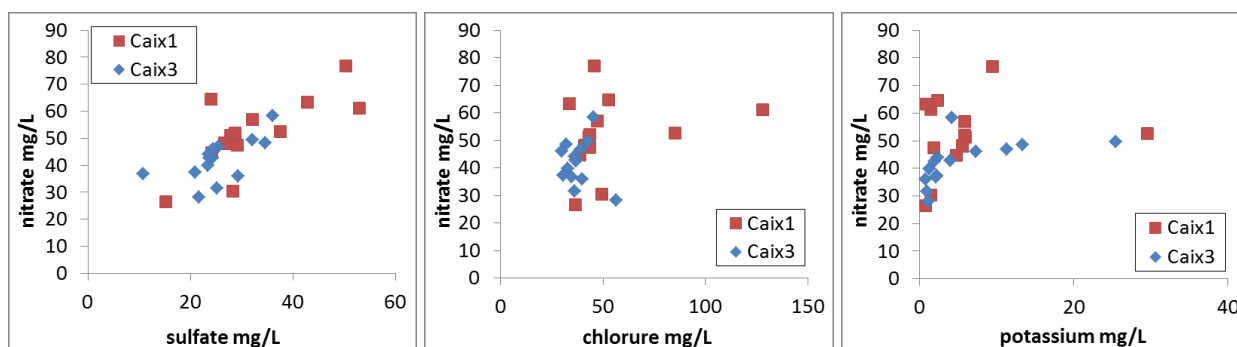


Figure 40 : Diagrammes binaires des concentrations en nitrates vs sulfates, chlorure et potassium dans les eaux souterraines en septembre 2015 pour Caix1 et 3

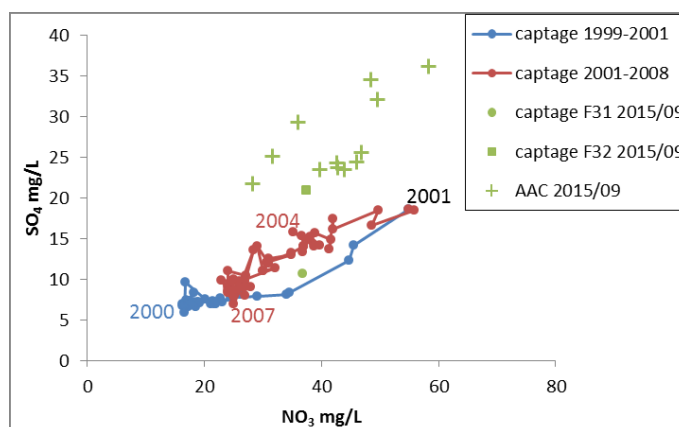


Figure 41 : Diagramme sulfates vs nitrates comparant les données historiques aux captages de Caix 3 (données de la Figure 18) et les données obtenues en septembre 2015 en différents points de l'AAC

Quelques points de prélèvement situés au sud-est de l'AAC de Caix 3 (en particulier le point 00636X0092) présentent des indices qui permettent de suspecter localement la présence d'une dénitrification (concentration en nitrates relativement faible, présence de nitrites et de fer). Davantage d'étude, par exemple utilisant les outils isotopiques, permettraient de confirmer ou d'infirmer la présence d'un tel processus (Kloppmann et al., 2017).

Une corrélation entre la concentration en éléments alcalins (K et Na) et les nitrates existe en accord avec une origine agricole des nitrates pour le site de Caix 3 (composition des fertilisants). Alors que les analyses isotopiques réalisées sur l'AAC de Caix 1 (Kloppmann et al. 2017) ne montrent pas de dénitrification naturelle, la présence de nitrites en certains points de Caix 3 semble indiquer localement un potentiel dénitrifiant.

De manière générale, les eaux montrent une forte homogénéité de la chimie des majeurs. L'évolution des concentrations en nitrates est corrélée à l'évolution de la concentration d'autres éléments majeurs (sulfates) et à la variation de piézométrie. Ceci suggère que la chimie des eaux de la nappe est plus influencée par la chimie des eaux ayant percolé dans la ZNS que par sa propre évolution par réactivité potentielle dans la nappe.

Une telle situation est représentative de la partie libre de la nappe de la craie du bassin Artois Picardie. En effet en nappe libre il n'y a pas d'atténuation naturelle des nitrates comme observé dans la nappe captive de la craie sous recouvrement des argiles tertiaires où le phénomène de dénitrification a été étudié (Landreau et Seguin, 1987 ; Mariotti et al., 1988 ; SOGREAH, 1998 ; Martin-Bordes et al., 2006).

3.5. ESSAI DE PERCOLATION SUR COLONNE DE CRAIE ET LIMON

Trois expériences de percolation et traçage aux bromures et nitrates en conditions contrôlées ont été réalisées sur des colonnes non remaniées de craie (blocs de craie prélevés en front de la carrière d'Hangest-en-Santerre en juillet 2015, Figure 42 A.) et de limons (sols représentatifs des limons loessiques de l'UTS 5 couvrant la majorité de l'AAC de Caix 3 prélevés en mai 2015 dans la fosse 1, Figure 42 B.). Une colonne de craie matricielle a été forée au laboratoire de géomécanique d'Antéa dans le bloc de craie matricielle (non altéré et non fissuré). Les dimensions de la carotte de craie utilisée pour l'essai de percolation sont de 11.15 cm de longueur sur 3.95 cm de diamètre. La carotte a ensuite été adaptée à un système de percolation (Figure 43). Il n'a pas été possible de réaliser de carotte à partir du bloc de craie altérée et fissurée qui avait été prélevé en front de carrière sous la zone racinaire du sol. En effet, cette dernière s'est effritée et n'a pas pu être conditionnée pour l'expérience de percolation. Le dispositif de percolation nécessite de maintenir la carotte sous pression (ici, une enceinte de confinement par Azote) pour éviter les écoulements latéraux le long de la paroi. Concernant les limons, le mode de prélèvement par enfoncement d'un cylindre PVC de 12.3 cm de longueur sur 4.7 cm de diamètre a été effectué vers 1.5 m de profondeur dans la fosse. Le cylindre contenant le sol non remanié est directement adapté sur le dispositif de percolation au laboratoire (Figure 44).

Le dispositif général de l'essai de percolation est ascendant. Il est composé d'une cellule de percolation (sous pression d'azote pour la craie et d'un cylindre PVC pour le limon), d'une pompe d'injection (HPLC pour la craie et péristaltique pour le limon), d'une sonde de conductivité, d'une sonde pH, d'un capteur de pression en tête de colonne, d'une solution à l'équilibre chimique avec la roche, dopée ou non en nitrates et bromures, d'un collecteur d'échantillons. Les expériences ont été réalisées en condition saturée à débit constant (0.35 ml/min) avec l'eau de la nappe prélevée au forage de Caix 3. L'eau a été mise en circulation fermée pour atteindre un équilibre géochimique avec la matrice solide. Une partie de cette eau équilibrée (~40 mg/l de NO_3^- et <LQ en Br) a été artificiellement « dopée » en nitrates (ajout de KNO_3 pour avoir une concentration de ~230 mg/l de NO_3^-) et bromure (KBr pour avoir une concentration de ~40 mg/l de Br). L'injection de la solution dopée dans la colonne a été effectuée pendant plusieurs heures puis la solution non dopée a été de nouveau injectée jusqu'à la fin de l'expérience. Le suivi des eaux de sortie de colonne en fonction du temps (analyses Br et NO_3^- ainsi que mesures du pH, de la conductivité électrique, du débit, et du différentiel de pression) a permis de définir la conductivité hydraulique de la roche, le temps de résidence et le comportement des bromures et des nitrates dans chaque colonne.

Les matrices solides de craie et de limons ont été analysées au laboratoire pour identifier leurs compositions chimique et minéralogique. La fraction cristallisée des échantillons est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir de leur diffractogramme de poudre. Après mise en solution des matrices solides, une analyse des solutions a été réalisée par spectrométrie de fluorescence X et par ICP/AES (Tableau 9). Les analyses identifient de la calcite sur l'échantillon de craie et du quartz, des feldspaths en traces (plagioclase et microcline) et des argiles (illite et/ou micas et chlorite) sur l'échantillon de limons. Une analyse plus poussée par diffractométrie des rayons X (DRX) sur la fraction argileuse des limons pourrait affiner l'étude minéralogique des limons. Les résultats d'analyses identifient des oxydes de fer en faible proportion (0.08% dans la craie et 3 % dans les limons) ne présageant pas un potentiel très réactif de ces deux matrices solides vis-à-vis des nitrates.

Par ailleurs, la porosité de la craie a été caractérisée par porosimètre à mercure (application de différents niveaux de pression à un échantillon immergé dans du mercure). Cette technique a permis de sonder 80 % de la porosité totale sur la gamme de pression mesurée. La distribution incrémentale est monomodale avec un pic resserré autour 970 nm. Cette taille correspond au diamètre d'entrée des goulots de pores qui semble homogène sur la gamme de pression mesurée. La porosité totale calculée est d'environ 44% en prenant en compte une densité apparente de 1.53 g.cm^{-3} et une densité spécifique de 2.71 g.cm^{-3} .

	LQ	Unités	Craie	Limons
Ag (Argent)	0.2	mg/kg	< LQ	0.2
As (Arsenic)	20	mg/kg	< LQ	38
B (Bore)	10	mg/kg	< LQ	40
Ba (Baryum)	10	mg/kg	< LQ	336
Be (Béryllium)	2	mg/kg	< LQ	2
Bi (Bismuth)	10	mg/kg	12	< LQ
Cd (Cadmium)	2	mg/kg	< LQ	< LQ
Ce (Cérium)	10	mg/kg	< LQ	51
Co (Cobalt)	5	mg/kg	< LQ	13
Cr (Chrome)	10	mg/kg	< LQ	104
Cu (Cuivre)	5	mg/kg	< LQ	13
La (Lanthane)	20	mg/kg	< LQ	36
Li (Lithium)	10	mg/kg	< LQ	27
Mo (Molybdène)	5	mg/kg	< LQ	< LQ
Nb (Niobium)	20	mg/kg	< LQ	< LQ
Ni (Nickel)	10	mg/kg	< LQ	31
Pb (Plomb)	10	mg/kg	< LQ	< LQ
Sb (Antimoine)	10	mg/kg	< LQ	10
Sn (Etain)	10	mg/kg	< LQ	13
Sr (Strontium)	5	mg/kg	973	93
V (Vanadium)	10	mg/kg	< LQ	65
W (Tungstène)	10	mg/kg	< LQ	< LQ
Y (Yttrium)	20	mg/kg	< LQ	33
Zn (Zinc)	5	mg/kg	8	56
Zr (Zirconium)	20	mg/kg	< LQ	533
Al ₂ O ₃ (Alumine)	0.2	%	0.2	9.5
TiO ₂ (Oxyde de Titane)	0.05	%	< LQ	0.79
SiO ₂ (Silice)	0.2	%	0.4	77.8
P ₂ O ₅ (Phosphates en P ₂ O ₅)	0.05	%	0.05	0.12
Na ₂ O (Oxyde de Sodium)	0.2	%	< LQ	1.1
MgO (Oxyde de Magnésium)	0.2	%	0.5	0.8
MnO (Oxyde de Manganèse)	0.02	%	0.02	0.06
Fe ₂ O _{3t} (Fer total exprimé en Fe ₂ O ₃)	0.05	%	0.08	3.77
K ₂ O (Oxyde de Potassium)	0.05	%	< LQ	2.01
CaO (Oxyde de Calcium)	0.1	%	55.3	0.8
PF (Perte au feu à 1000°C)	0.1	%	43.5	3.74
PP (Perte de masse à 450°C)	0.05	%	0.4	1.87

Tableau 9 - Analyses d'attaque totale de roche (mise en solution)
des échantillons de craie et de limons par fluorescence X et ICP/AES
(LQ : limite de quantification)



Figure 42 : Prélèvements des solides sur l'AAC de Caix 3 destinés aux expériences de percolation en colonne (A. Craie altérée sous horizons de sol et craie fracturée, carrière d'Hangest-en-Santerre, juillet 2015 ; B. Limons loessiques représentatifs de l'UTS 5 / fosse 1, mai 2015

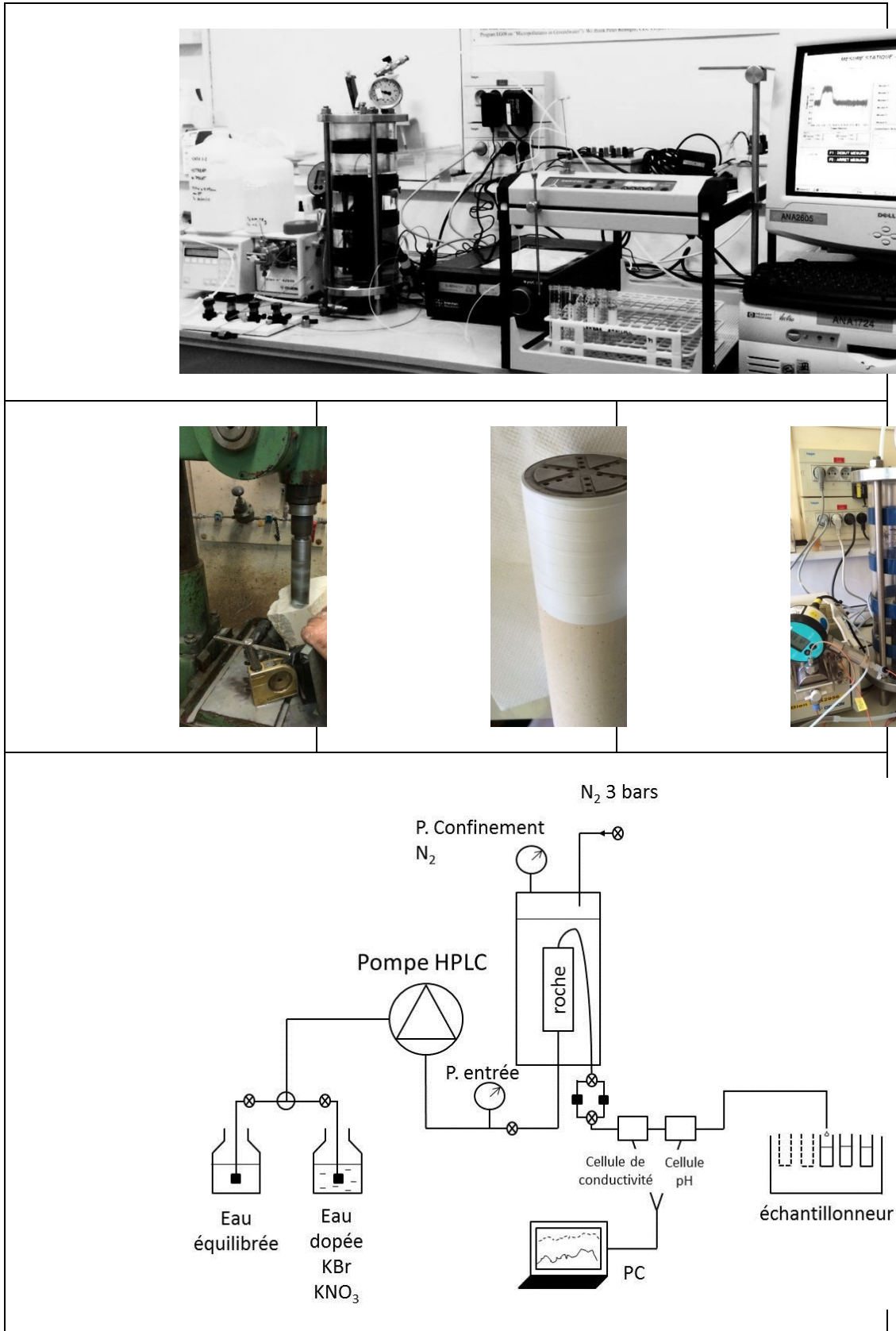


Figure 43 : Dispositif expérimental de laboratoire dédié aux expériences de percolation sur colonne de craie

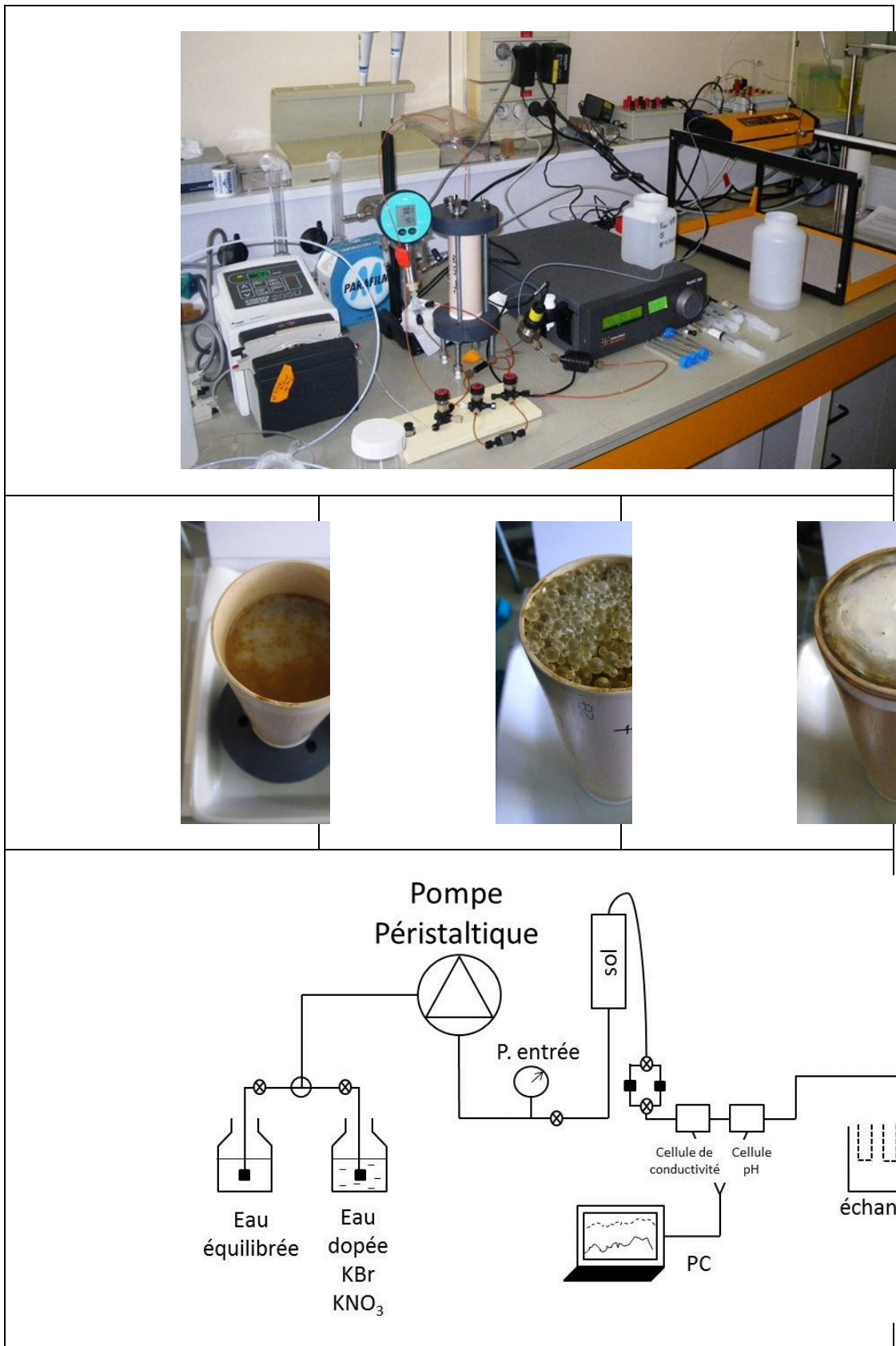


Figure 44 : Dispositif expérimental de laboratoire dédié aux expériences de percolation sur colonne de limon

Un essai de percolation a été effectué sur la carotte de craie matricielle et deux essais ont été effectués sur la carotte de limons. Les eaux utilisées dans l'essai de percolation ont été analysées au laboratoire (analyse Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃, NO₂, NH₄, Carbone organique total et dissous, azote Kjeldahl, Fe total pour l'eau prélevée à Caix 3 ayant servi de mise à l'équilibre chimique avec la roche en circuit fermé ; analyse NO₃⁻, Br pour les eaux mises à l'équilibre chimique avec la roche, dopées en KNO₃ et KBr et ayant percolé à travers la roche).

Le bilan de masse en nitrates et en bromure basé sur les mesures en entrée et en sortie de colonne est de l'ordre de 95 % à 110 %, ce qui indique une bonne restitution en sortie de colonne des masses injectées. Le comportement est très différent entre la craie matricielle et les limons (Figure 45). En effet, la craie matricielle présente un transport de type piston du Br et du NO₃⁻ (le signal d'entrée en créneau est sensiblement égal à celui de sortie mais il est décalé dans le temps) alors que le limon montre un transport extrêmement dispersif (le signal d'entrée en créneau est aplati en sortie) dans des conditions d'expérimentation similaires. Par contre, les conditions expérimentales ne montrent pas un comportement différent entre le Br et le NO₃⁻ dont le comportement peut être assimilé à celui d'un traceur.

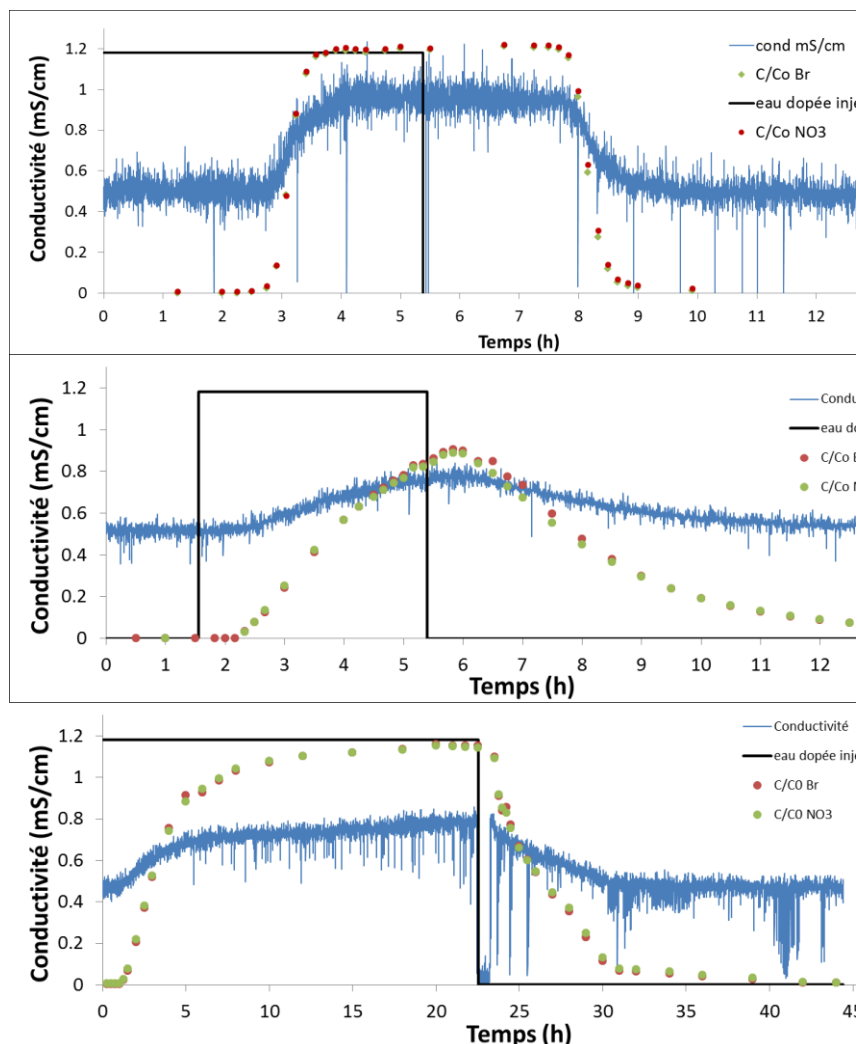


Figure 45 : Conductivité et concentration C/C0 en Br et NO₃ en fonction du temps
 (A. essai de percolation sur la carotte de craie matricielle,
 B. 1er essai de percolation de courte durée sur la carotte de limons,
 C. 2nd essai de percolation de longue durée sur la carotte de limons)

L'équation de convection-diffusion en injection continue de Sauty (1977) reprise dans l'outil d'interprétation des essais de traçage « TRAC » (Gutierrez et al., 2012, 2013 ; Klinka et al., 2012) est utilisée pour estimer la porosité efficace et la dispersivité de la craie et des limons utilisés dans ces essais de traçage.

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x-ut}{\sqrt{4D_L t}} \right) - \exp \left(\frac{ux}{D_L} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x+ut}{\sqrt{4D_L t}} \right) \right] \exp(-\lambda t) \quad \text{Équation 1}$$

Avec C la concentration (M.L⁻³), C₀ la concentration injectée (M.L⁻³), u la vitesse d'écoulement (u=Ki/θc), K la conductivité hydraulique (L.T⁻¹), i le gradient hydraulique (-), θc la porosité efficace (-), D_L la dispersion (D_L= α_L.u), α_L la dispersivité (m), t le temps (T) et x la distance (L).

Les paramètres définis pour chaque essai de percolation sont synthétisés sur la Figure 46 (les porosités sont de l'ordre de 46 % pour la craie et de 23-30 % pour le limon, et les dispersivités de l'ordre 0.03 cm pour la craie et de 3.7 cm pour le limon). Les porosités estimées sont de l'ordre de grandeur rencontré pour ces types de matériaux. Inversement, la valeur de dispersivité nécessaire pour reproduire les courbes de restitution des essais de percolation des limons est étonnamment élevée pour ces conditions expérimentales. Habituellement la dispersivité est de l'ordre de grandeur de l'échelle étudiée : centimétrique pour une colonne et métrique à décamétrique sur le terrain selon l'hétérogénéité de la formation (de Marsily, 1981). La Figure 47 montre la différence de transfert des nitrates entre la craie matricielle et les limons.

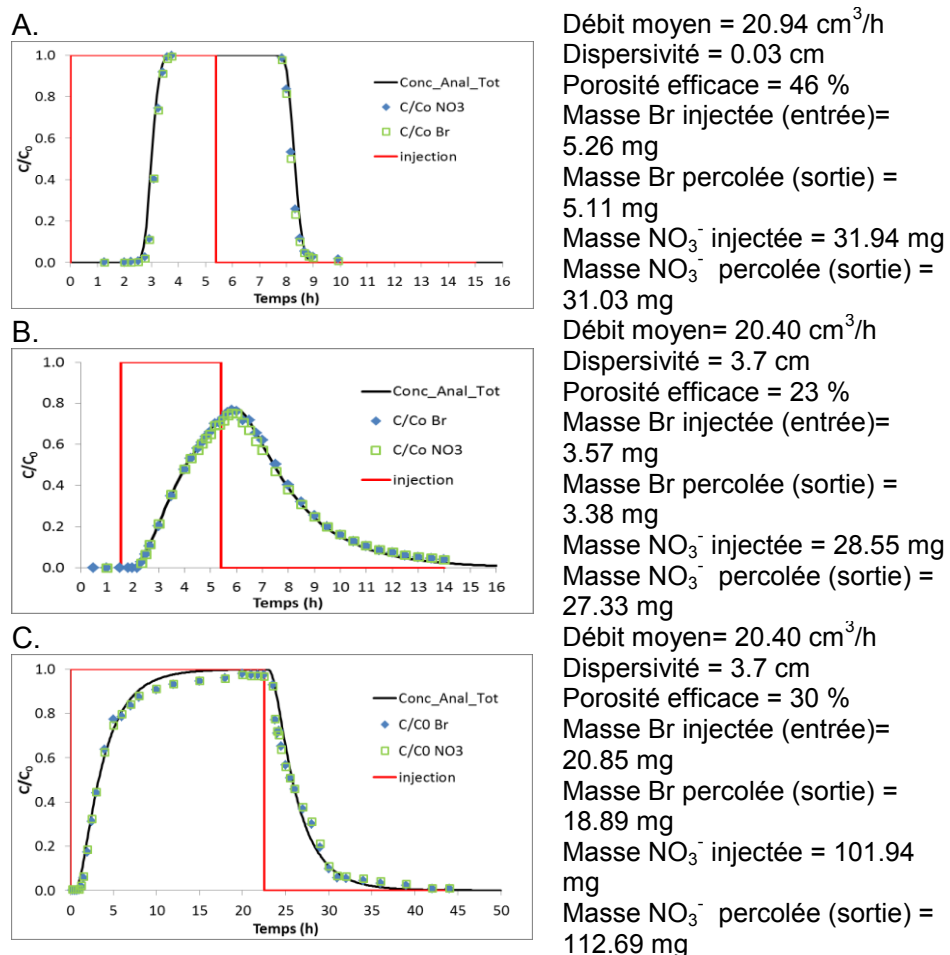


Figure 46 : Estimation des paramètres de porosité efficace et de dispersivité par reproduction des courbes de restitution C/C₀ en Br et NO₃ en fonction du temps à l'aide d'une solution analytique de l'équation de convection-diffusion

(A. carotte de craie matricielle, B. 1er essai carotte de limons, C. 2nd longue durée carotte de limons)

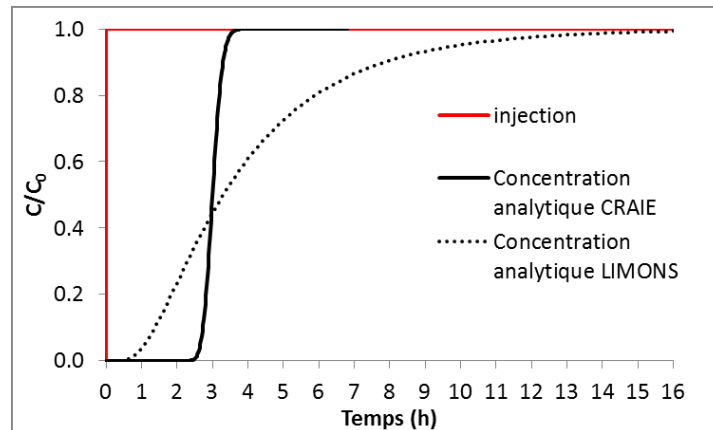


Figure 47 : Courbes de restitution en NO₃ en fonction du temps pour la craie matricelle et pour les limons obtenues à l'aide d'une solution analytique de l'équation de convection-dispersion

3.6. CONCLUSIONS

L'acquisition de nouvelles données sur le site de Caix 3 a notamment permis de mieux caractériser les différents profils de sol ainsi que leurs propriétés majeures (perméabilité, teneur en eau...). Ces données sont primordiales pour pouvoir interpréter notamment les profils hydriques et de teneur en nitrates observées entre la surface du sol et celle de la nappe. La détermination de la répartition des nitrates en fonction de la profondeur a notamment permis de mettre en évidence le rôle de la végétation proche de la surface (notamment le rôle du couvert forestier) et de la nappe (baisse des concentration en lien avec les battements de la nappe). Enfin, les tests de percolation ont permis d'établir les propriétés hydrodynamiques des deux profils majeurs : la craie et les limons. Ces données acquises dans le cadre de ce projet serviront de socle aux modélisations numériques présentées au chapitre suivant.

4. Modélisation des transferts de nitrates appliquée à l'AAC de Caix 3 (80) à l'aide de l'outil de modélisation MARTHE-MONICA

Le code de calcul mis au point dans la phase 1 du projet NITRAEAP (Picot-Colbeaux et al., 2017), c'est-à-dire, MARTHE (Thiéry, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e ; 2016) avec ses nouvelles fonctionnalités dédiées aux cultures (Thiéry, 2016) et aux transferts de nitrates (MONICA), est appliqué sur l'AAC de Caix 3 pour mieux interpréter les phénomènes pouvant influencer les flux et le stockage/déstockage de nitrates (Picot-Colbeaux et al., 2017b). Ce modèle a été utilisé pour simuler les écoulements et le transport de nitrates en solution dans le sous-sol, de la surface du sol à la nappe (zone non saturée) et dans la nappe (zone saturée) en respectant le bilan azoté dans le sol en fonction des cultures présentes en surface.

Un scénario d'une parcelle cultivée puis soumise à une reforestation a été réalisé pour mettre en évidence les interactions entre les facteurs hydrogéologiques, agro-pédologiques et (bio)géochimiques influençant l'évolution des concentrations en nitrates dans la zone non saturée et dans la nappe de la craie. Ce scénario a été choisi pour représenter l'environnement du profil de nitrates de la ZNS réalisé sur la parcelle boisée du SIEP à proximité des forages AEP de Caix 3 (cf. paragraphe 3.3).

Les simulations réalisées calculent les bilans hydriques et les bilans azotés du sol nécessaires à la détermination des flux de nitrates arrivant à la nappe. Par ailleurs, les résultats de ces simulations sont confrontés aux valeurs observées-mesurées dans la ZNS. Cette première application du modèle MARTHE-MONICA n'est pas conçue ni paramétrée pour restituer exactement les mesures puisque la dynamique de la nappe de la craie et les pratiques agricoles en surface ne sont que partiellement connues. La simulation appliquée à l'AAC de Caix 3 est construite pour mieux comprendre les flux et les stockage/déstockage des nitrates dans la ZNS crayeuse et pour prédire les tendances évolutives des concentrations en nitrates dans la nappe de la craie.

4.1. DIMENSIONNEMENT DU MODELE

4.1.1. Dimensionnement spatio-temporel du modèle

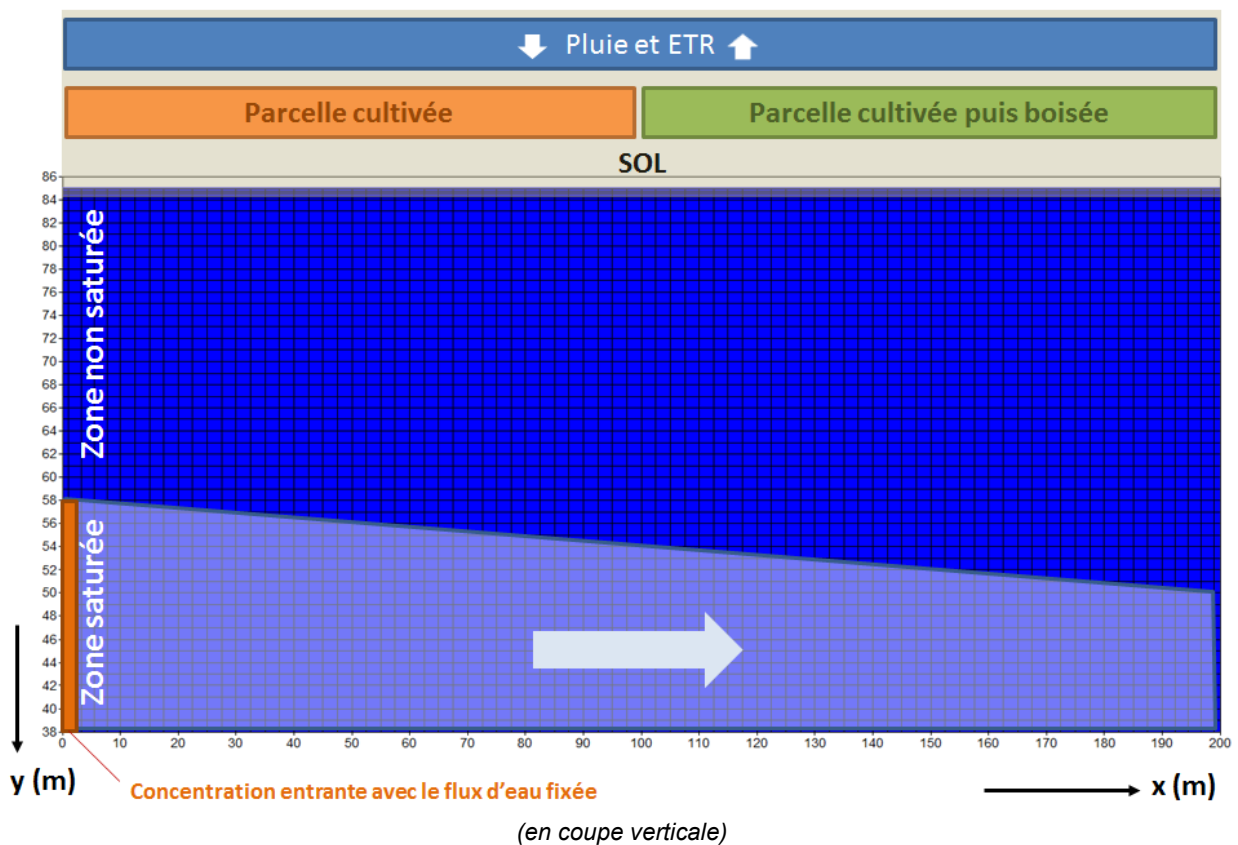
Le modèle est construit en coupe verticale de 200 m de long (0 à 200 m selon l'axe x) sur 47 m de profondeur (85 m à 38 m selon l'axe y) allant de la surface du sol à la nappe de la craie dont 27 m à 35 m de zone non saturée et 12 m à 20 m de zone saturée (Figure 48). Ces dimensions sont représentatives des parcelles environnant le sondage géologique réalisé à proximité des forages AEP de Caix 3. La coupe est orientée ouest-est. Le domaine est maillé par 4182 cellules rectangulaires de 1 m sur la verticale x 2 m sur la direction horizontale. Les mailles proches de la surface représentant le sol sont affinées en surface : divisées en 5 : 0.1 m; 0.2 m; 0.2 m; 0.25 m; 0.25 m selon l'axe y.

Les calculs sont réalisés en régime transitoire au pas de temps journalier du 1/1/1990 au 31/12/2016. Les écoulements, le bilan et le transport des nitrates sont simulés en prenant en compte une évolution spatio-temporelle des précipitations et de l'évapotranspiration dépendante des différents assolements de deux parcelles contiguës :

- une parcelle cultivée avec une mise en cultures allant de de 1990 à 2016 (sur la 1^{ère} moitié du domaine, Figure 49 A.),
- une parcelle avec une mise en culture allant de 1990 à 1999 puis reforestation à partir de 2000 (sur la 2^{nde} moitié du domaine, Figure 49 B.).

Les séries temporelles (en mm/j) des précipitations et d'évapotranspiration potentielle (ETP) locales sont (voir paragraphe climatologie, Figure 4) :

- les précipitations : stations Amiens-Glisy (80379002) de 1990 à 1993 et Rouvroy-en-Santerre (80682001) de 1993 à 2016,
- l'ETP : station d'Abbeville de 1990 à 2016.





(localisation sur fond IGN de la coupe et des 2 forages AEP de Caix 3)
 Figure 48 : Représentation conceptuelle du modèle 2D de Caix sous MARTHE-MONICA

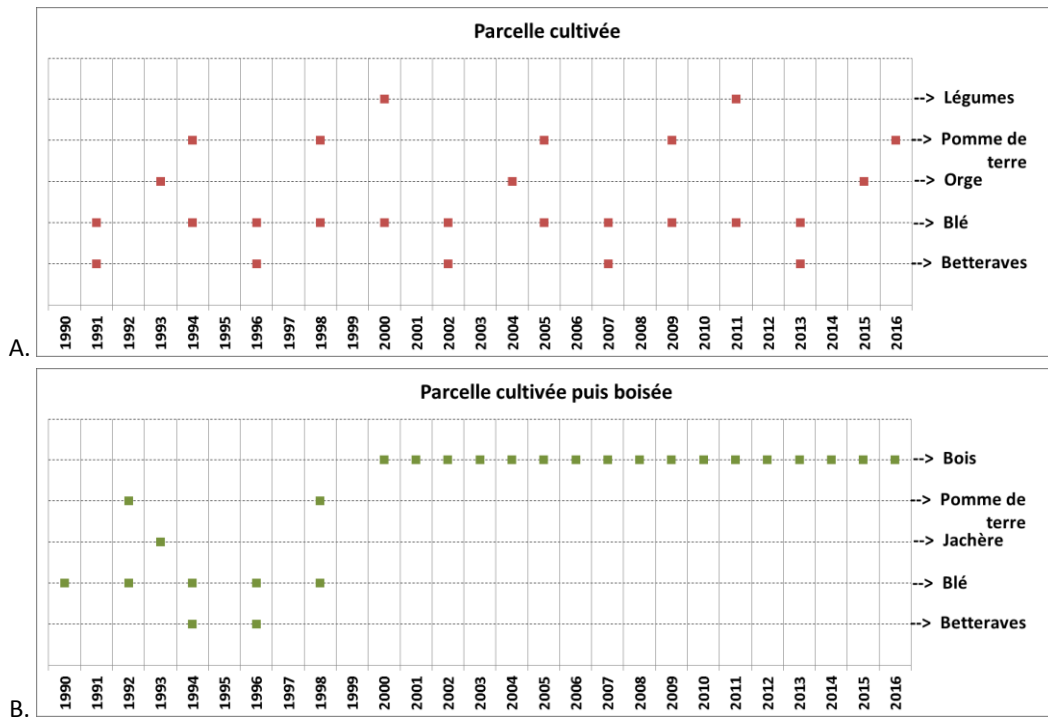


Figure 49 : Rotations des cultures des parcelles prises en compte dans le modèle MARTHE-MONICA

4.1.2. Paramètres hydrodynamiques

Pour modéliser à la fois les écoulements et le transport dans la zone non saturée et dans la zone saturée de l'aquifère crayeux, une charge hydraulique est imposée à chaque extrémité verticale du domaine ($H = 58 \text{ m}$ à $x = 0 \text{ m}$ et $H = 50 \text{ m}$ à $x = 200 \text{ m}$), ce qui induit un écoulement horizontal dans la nappe. Une concentration en nitrates uniforme dans le temps égale à 5 mg/l est fixée en amont de l'écoulement de la nappe.

Les paramètres intrinsèques caractérisant les écoulements et le transport dans l'aquifère sont considérés uniformes et concernent (Figure 50) :

- la perméabilité à saturation égale à 6.10^{-5} m/s,
- la porosité efficace (qui est aussi la teneur en eau à saturation) égale à 0.5,
- la teneur en eau résiduelle égale à 0.4,
- la loi de rétention de type homographique ayant comme paramètre de succion $h_t = 0.7$ m et un exposant $b_t = 0.8$,
- la loi de perméabilité de type puissance avec comme exposant $b_k = 4.1$.

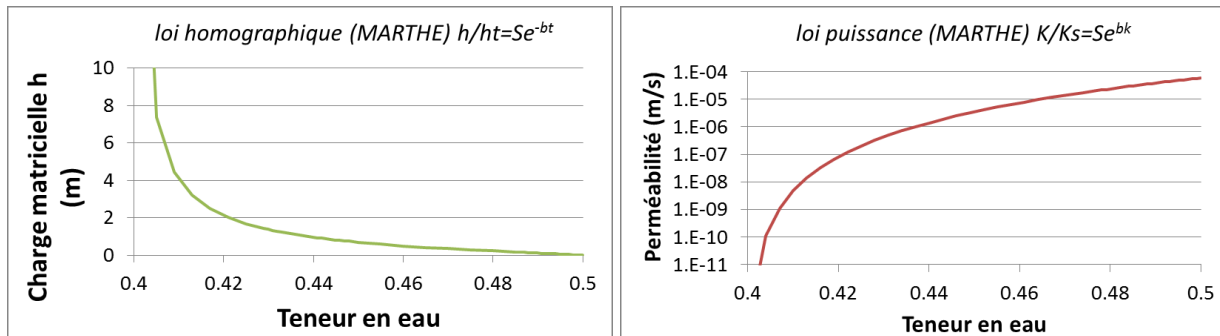


Figure 50 : Lois de rétention et de perméabilité utilisées dans le modèle MARTHE-MONICA.

La recharge transitant verticalement dans la zone non saturée et alimentant la nappe de la craie sous-jacente est calculée par le modèle MARTHE. Les calculs de recharge sont réalisés sur la base des conditions climatiques imposées, des propriétés hydrodynamiques du sol et des propriétés des cultures en termes de prélèvement en eau (Thiéry, 2016). Le prélèvement en eau des cultures prend en compte les besoins en eau des plantes, le développement racinaire et le possible stress hydrique subi par les végétaux. Les lignes de définition des paramètres hydrodynamiques de MARTHE sont synthétisés en annexe 4 dans les paramètres généraux (*.mart).

4.1.3. Paramètres culturaux

Deux zones de cultures sont considérées. Les dates de semis de chaque culture sont détaillées pour chaque parcelle dans l'annexe 4 (*.prn). Les arbres présents sur la parcelle après reforestation ne prélèvent pas de nitrates dans le sol et n'en apportent pas. En effet, l'hypothèse a été faite que la majorité des nitrates restitués par les litières est absorbé par les racines.

Les paramètres de minéralisation sont exprimés en temps de demi-vie (en jour) :

- pour le sol $Td_min_sol = 255$ j (*.minsol en annexe 4),
- pour les résidus $Td_min = 17$ j, 10 % par an du stock est transféré vers le stock d'azote organique du sol (*.eng_org et *.re_reco en annexe 4).

Les paramètres des cultures (*.fcult en annexe 4), en fonction des dates de semis, de germination, de maturité et de récolte, permettent de dimensionner les besoins en eau (les coefficients LEACHP pour la transpiration et le développement de la végétation, les coefficients MACRO pour le développement des racines et des prélèvements en eau avec stress hydrique) et les besoins en nitrates des cultures.

Les apports de fertilisants inorganiques sont introduits à date fixe selon l'itinéraire technique associé à chaque culture. La chronique des apports pour les deux parcelles est illustrée par la Figure 51 (dans le modèle chaque zone de culture est renseignée individuellement en apport d'engrais inorganique). Dans la présente simulation, l'hypothèse a été faite que les apports de fertilisants organiques ne sont pas considérés dans l'itinéraire technique des cultures.

Les résidus restitués au sol après chaque culture sont représentés sur la Figure 51 et sont également renseignés par zone de culture de façon distincte. La quantité de résidus de culture a été calculée à partir du rendement a posteriori afin de mieux rendre compte des variations interannuelles. Les valeurs de résidus négatifs sont dues aux céréales dont la dégradation des pailles entraîne une consommation d'azote plutôt qu'une génération.

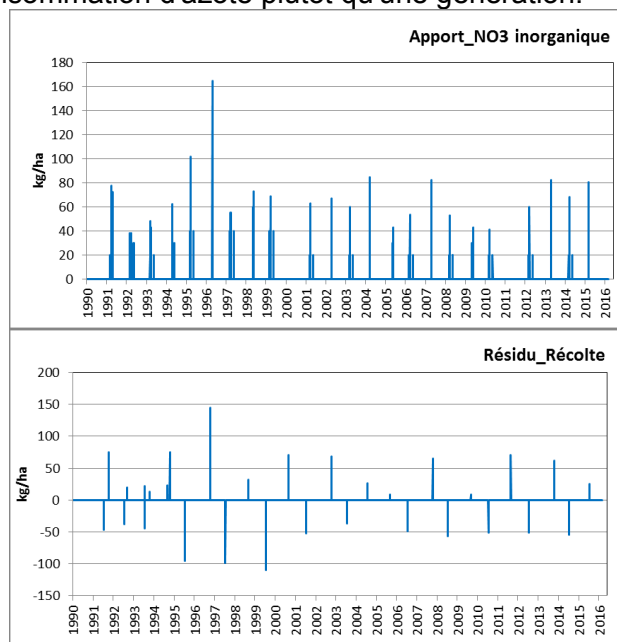


Figure 51 : Apports globaux d'engrais inorganique (gauche) et de résidus de cultures (droite) dans le modèle MARTHE-MONICA

4.1.4. Initialisation

Les écoulements et le transport de nitrates en solution étant lents dans la zone non saturée, une initialisation du système est nécessaire avant la simulation d'intérêt de 1990 à 2016.

Une initialisation hydrodynamique en régime permanent avec un flux de recharge de 0.9 mm/j puis une initialisation des écoulements et du transport de nitrates en régime transitoire pendant 40 ans (4 cycles climatiques et cultureux de 1990 à 2000 répartis uniformément sur le domaine) sont réalisées de façon à ce que le front de teneur en nitrates transitant verticalement via la zone non saturée atteigne la surface de la nappe de la craie. Pour cette phase d'initialisation, les cultures et les pratiques associées sont identiques sur les deux parcelles.

L'état initial de teneur en eau et de teneur en nitrate, après 40 ans d'initialisation (état au 1^{er} janvier), sont représentés en coupe verticale sur la Figure 52. La nappe de la craie est représentée par la partie aquifère saturée (teneur en eau = 0.5, en rose sur la figure) avec une concentration de 5 mg/l. La zone non saturée est quant à elle de teneur en eau et de concentrations en nitrates variant en fonction des actions climatiques et culturelles de surface (teneur en eau de 0.4 à 0.5 et concentrations en nitrates de 5 à 33 mg/l).

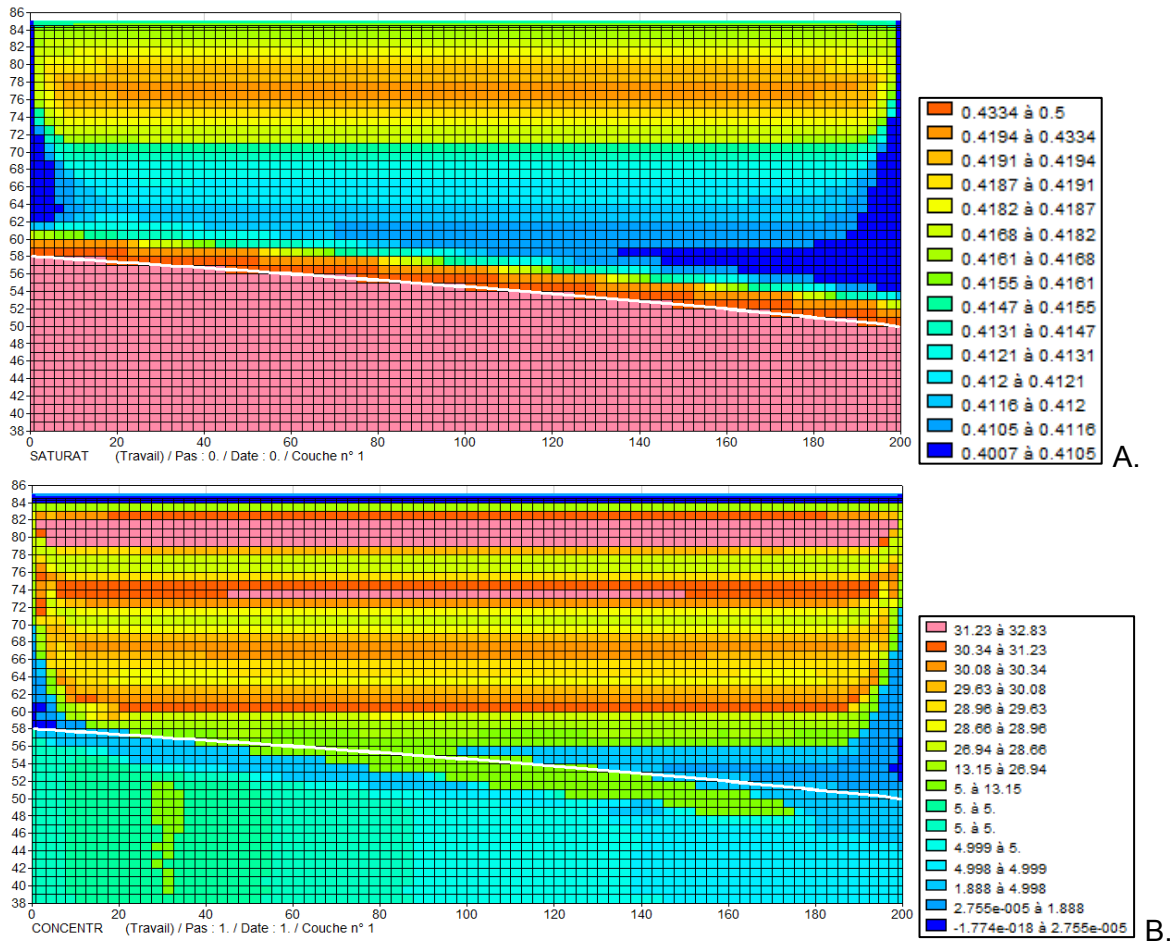


Figure 52 : Etat initial en coupe verticale des teneurs en eau (A) et des concentrations en nitrates (B) dans le modèle MARTHE-MONICA après 40 ans de mise en régime (orientation W-E)

4.2. RESULTATS DES SIMULATIONS

Les résultats des simulations sont présentés en termes de bilan hydrodynamique (incluant les effets hydro-climatiques et les prélèvements d'eau par les plantes) et de masse à l'échelle du domaine, puis en terme de bilan d'azote sur les mailles représentatives du sol, et enfin en terme d'évolutions temporelle et spatiale des paramètres hydrodynamiques (teneur en eau, charge matricielle, perméabilité) et de transport (concentration en nitrate).

4.2.1. Bilan hydrodynamique du modèle

Depuis la surface et le sol (5 premières lignes de cellules du domaine sur une surface de 200 m²) le bilan hydro-climatique associé aux prélèvements en eau des cultures permet d'évaluer une recharge effective (après passage du sol) à 0.15 m³/j en moyenne (équivalent à 270 mm /an, Figure 53). Cette recharge effective est fonction des pluies, de l'évaporation, de la transpiration et de la désaturation des mailles du modèle dans le sol. L'indice de surface foliaire (Leaf area index, LAI) ou couvert végétal (crop cover, CC) ainsi que la profondeur des racines sont calculés en fonction du temps.

Par les limites (charges imposées dans le modèle) entre un débit de l'ordre de $3.37 \text{ m}^3/\text{j}$ et un débit sort de l'ordre de $-3.52 \text{ m}^3/\text{j}$ faisant un différentiel moyen de l'ordre de $-0.15 \text{ m}^3/\text{j}$ égal à la recharge effective (Figure 54). Ainsi, dans ces conditions de simulation, un écoulement important s'effectue latéralement dans la partie saturée entre les deux charges imposées et une faible partie de l'écoulement transite verticalement vers la partie saturée de l'aquifère via la zone non saturée. A partir de ces variations entre les flux d'eau entrant et sortant, sont calculés, en fonction du temps, les débits d'eau stockés et déstockés par le modèle (Figure 55), en moyenne de l'ordre de $0.40 \text{ m}^3/\text{j}$.

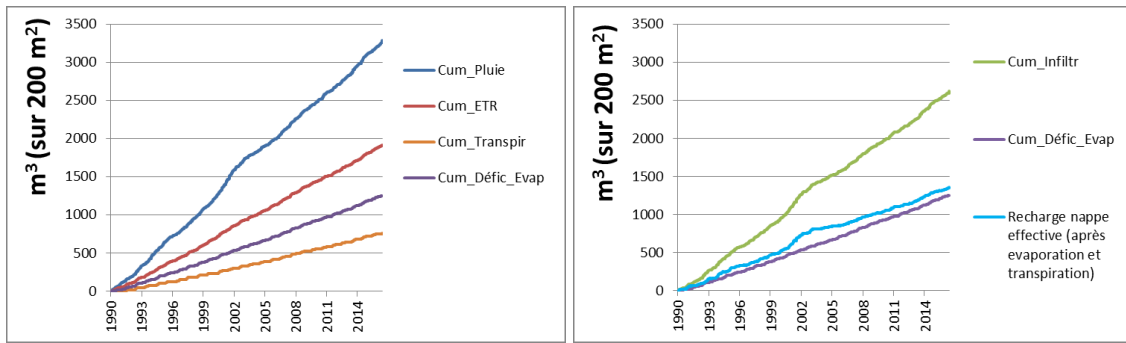


Figure 53 : Evolution de la recharge effective fonction des conditions atmosphériques et des cultures (en cumulé)

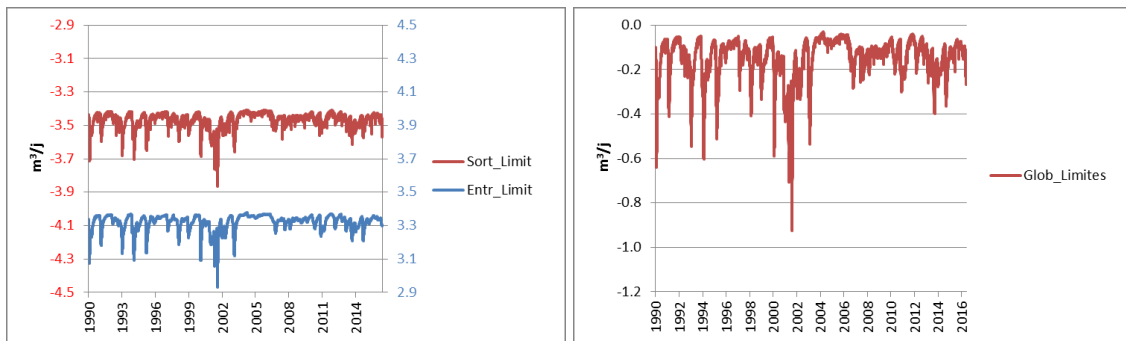


Figure 54 : Evolution des débits transitant par les limites à charges imposées

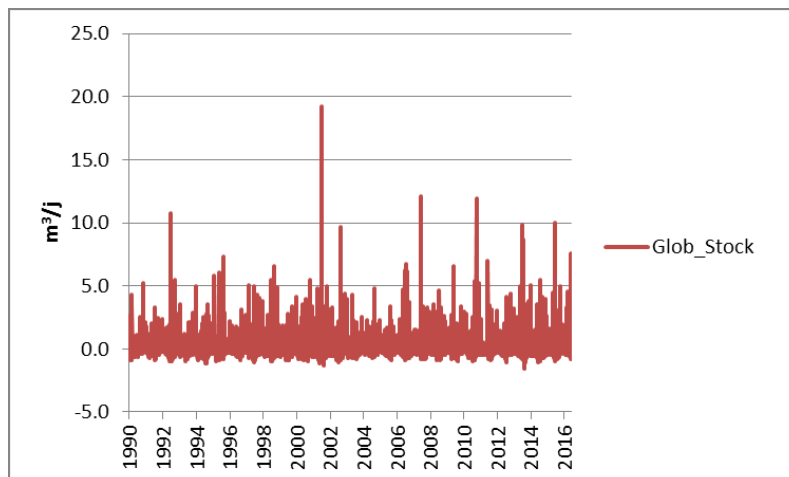


Figure 55 : Evolution du stock d'eau dans le domaine (valeur positive = stockage ; valeur négative = déstockage)

4.2.2. Bilan azoté du sol (1^{er} mètre du domaine maillé = 5 premières lignes de cellules)

Le bilan azoté du sol est réalisé par MARTHE-MONICA selon la description faite dans la première phase de l'étude (Picot et al., 2017), reprise schématiquement, pour rappel, sur la Figure 56.

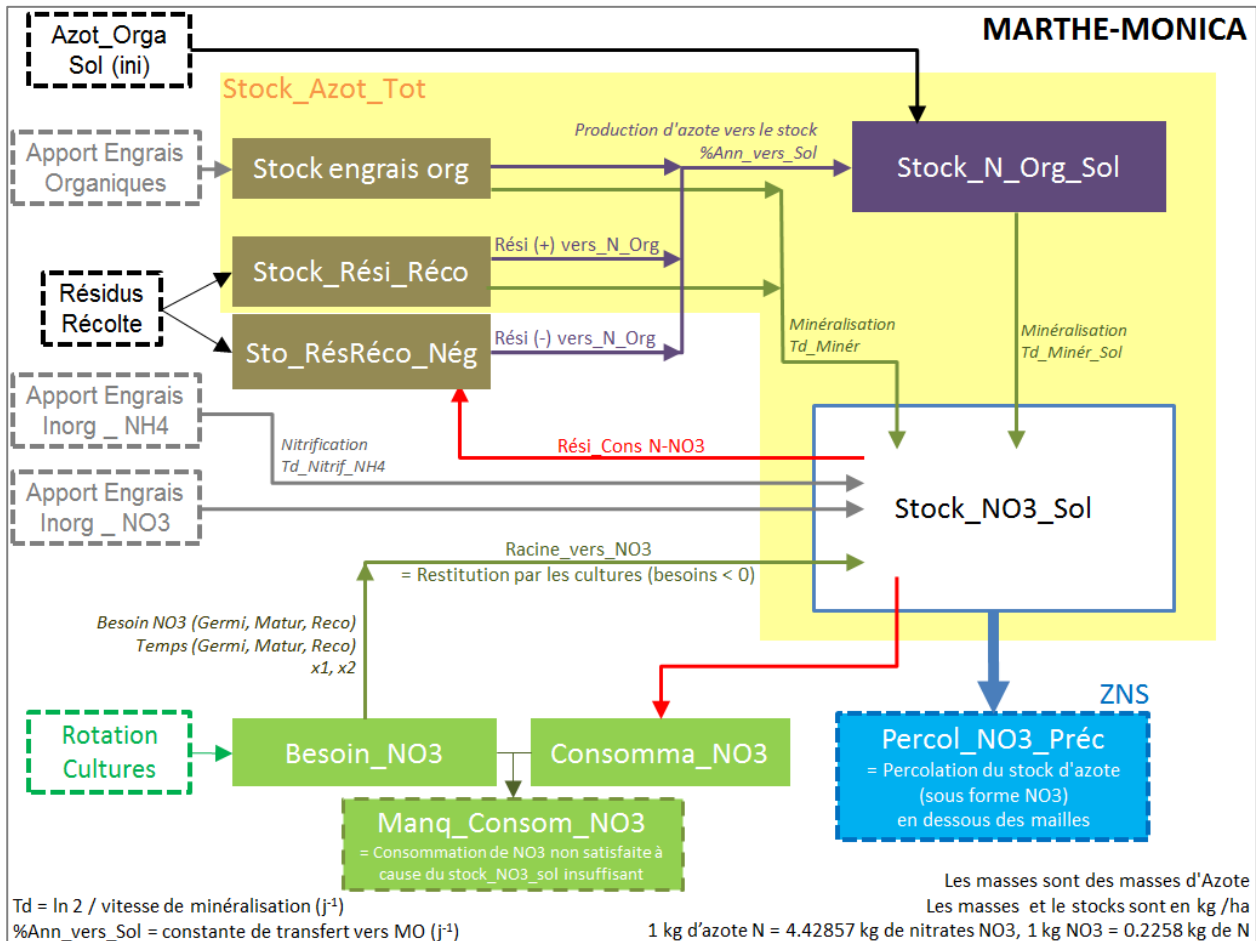


Figure 56 : Bilan azoté calculé par le modèle MARTHE-MONICA (Picot-Colbeaux et al., 2017)

Tous les termes du bilan azoté du sol sont calculés au pas de temps journalier et sont représentés sur la Figure 57. Chaque stock augmente selon les entrées appliquées au modèle en fonction du temps (apports d'engrais inorganiques, apports d'engrais organiques, résidus des récoltes, teneur initiale d'azote organique dans le sol, restitution par les cultures) mais aussi selon les transformations d'azote d'un stock à l'autre (transfert et minéralisation de l'azote organique vers l'azote minéral sous forme de nitrates). Les stocks d'engrais organiques et de résidus de récolte diminuent sous l'action des transformations d'azote (transfert et minéralisation) alors que le stock d'azote du sol sous forme de nitrates décroît sous l'action des cultures (consommation par la plante et par certains résidus de culture dits « négatifs ») et des eaux lixiviant le sol (percolation d'azote sous forme de nitrates vers la zone non saturée).

L'évolution de la percolation de nitrates est calculée en fonction du bilan azoté du sol et du bilan hydrodynamique du sol (conditions hydroclimatiques et culturales) et est représentée sur la Figure 58 au pas de temps journalier, mais aussi de façon (Figure 59, Figure 60 et Figure 61).

Les évolutions des stocks, de la consommation des cultures et de la percolation des nitrates montrent une nette différence entre la période de pleine culture et la période de reforestation.

Il est important de noter que pour cette application les besoins cumulés sont nettement supérieurs aux apports cumulés en nitrates ce qui laisserait penser qu'il manque des nitrates pour satisfaire les besoins de la plante et donc optimiser les rendements de la culture. Ceci pourrait être dû au fait que les besoins en nitrates de la plante sont indiqués dans le modèle MONICA à partir d'un besoin total (issu du rendement de la culture) qui est réparti de façon continue jusqu'à la date de récolte. Dans cette approche il se peut que le stock de nitrates dans lequel viennent puiser les plantes soit « vide », peut-être parce que la percolation verticale a été surestimée, laissant alors apparaître un manque de consommation en nitrate par la plante. Dans une utilisation de MARTHE-MONICA qui se veut représentative du terrain, il est certain que le modèle doit être paramétré pour que le manque de consommation en nitrates par la plante soit nul.

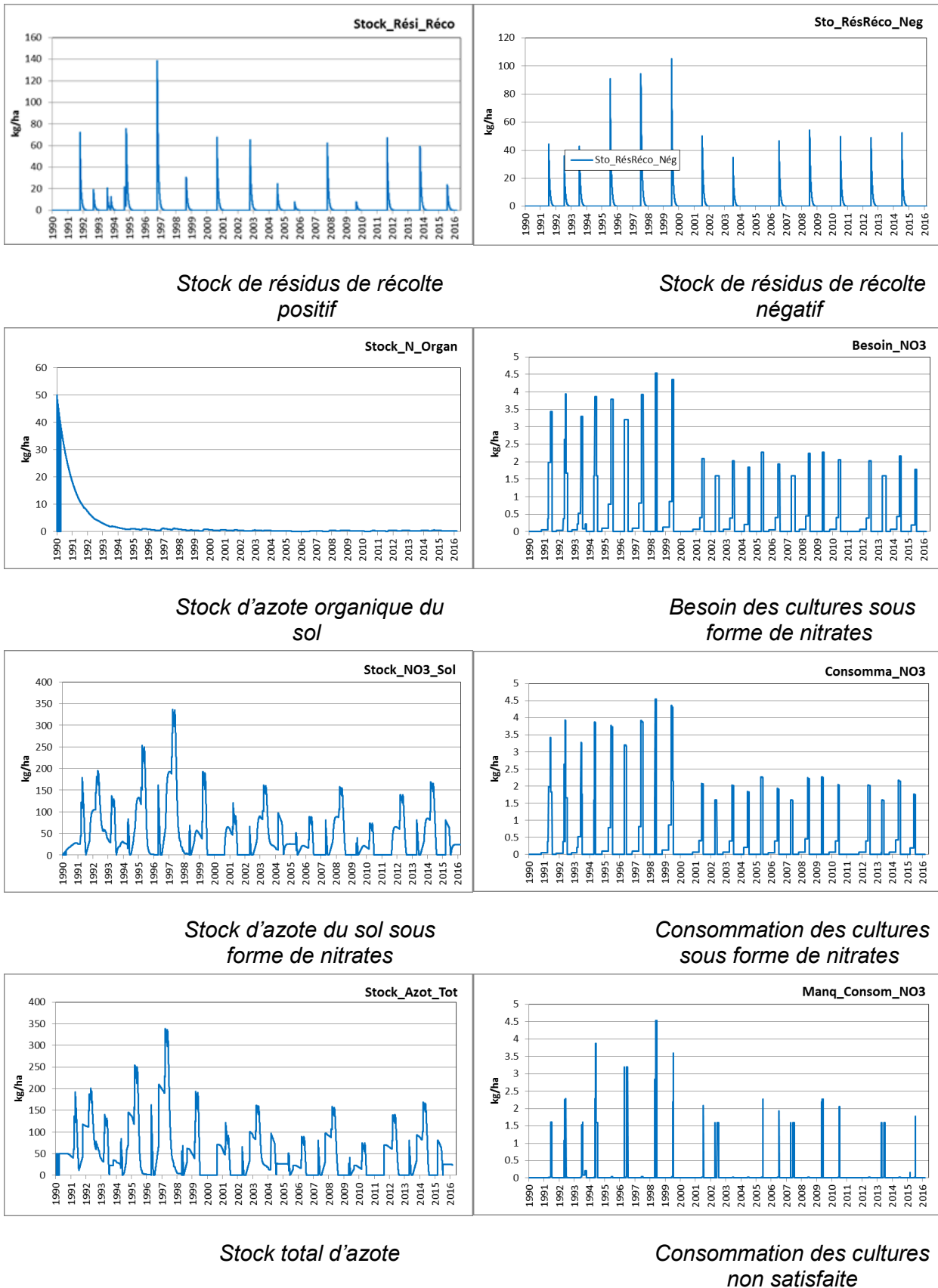


Figure 57 : Bilan azoté du sol et des cultures calculé par MARTHE-MONICA
 (les masses sont des masses d'azote, 1 kg de nitrates NO3 = 4.42857 kg d'azote N)

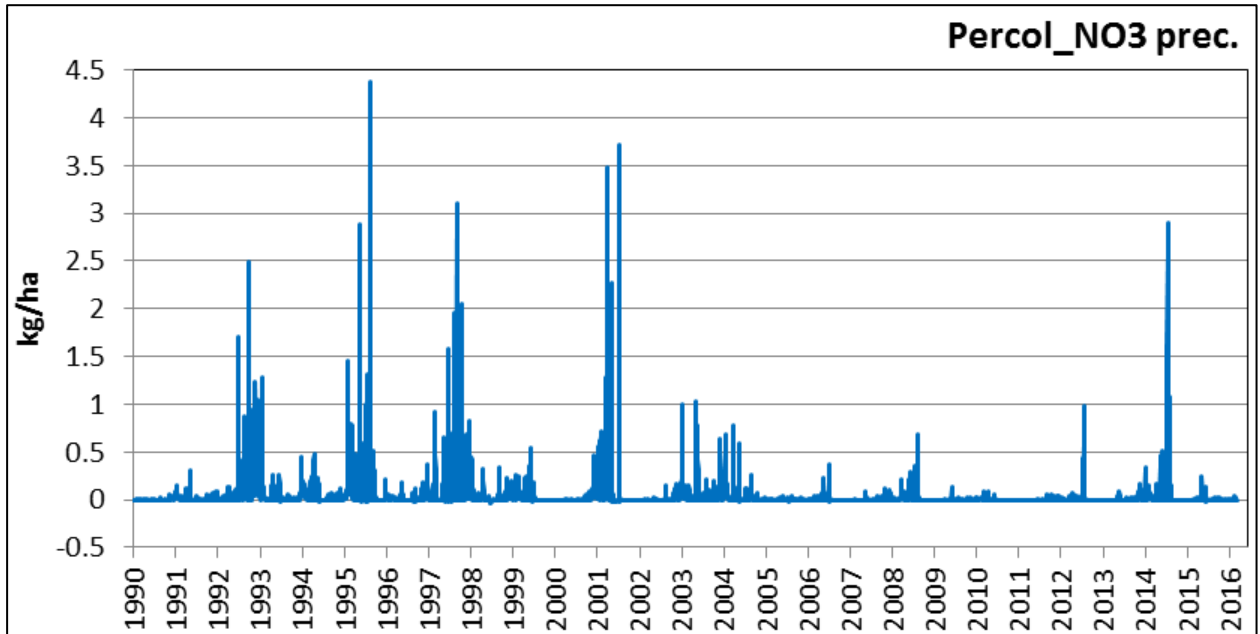


Figure 58 : Percolation d'azote sous forme de nitrates sous la zone racinaire après le bilan hydrodynamique et azoté du sol et des cultures calculé par MARTHE-MONICA (différence entre la valeur du stock de NO3 au début et à la fin du pas de temps hydroclimatique)

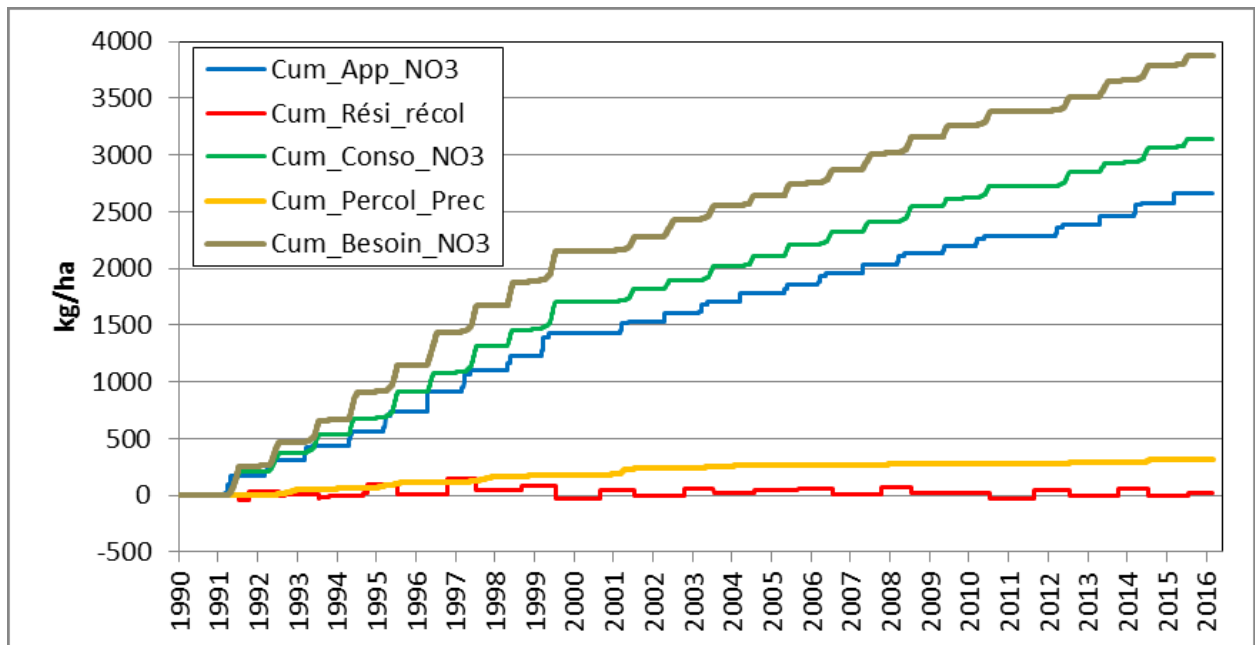


Figure 59 : Evolution des flux azotés cumulés calculés par MARTHE-MONICA

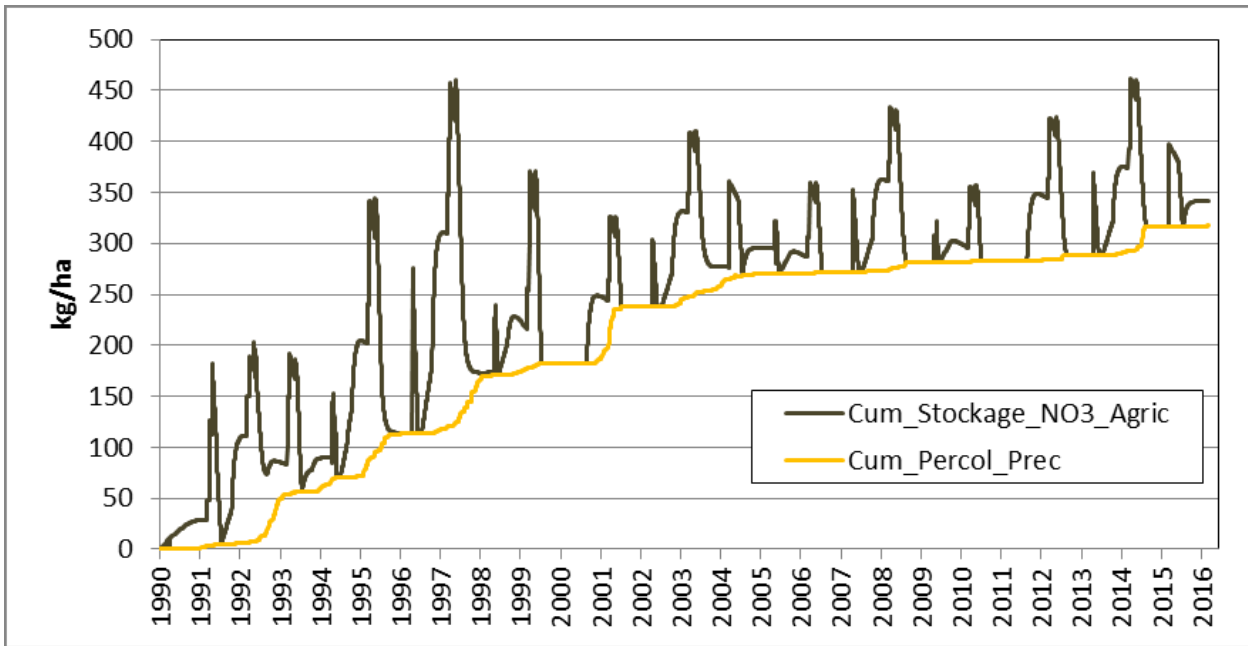


Figure 60 : Evolution cumulée de la percolation d'azote sous la zone racinaire au regard des évolutions cumulées du stockage d'azote dans le sol dû aux pratiques agricoles et aux cultures (sous forme de nitrates)

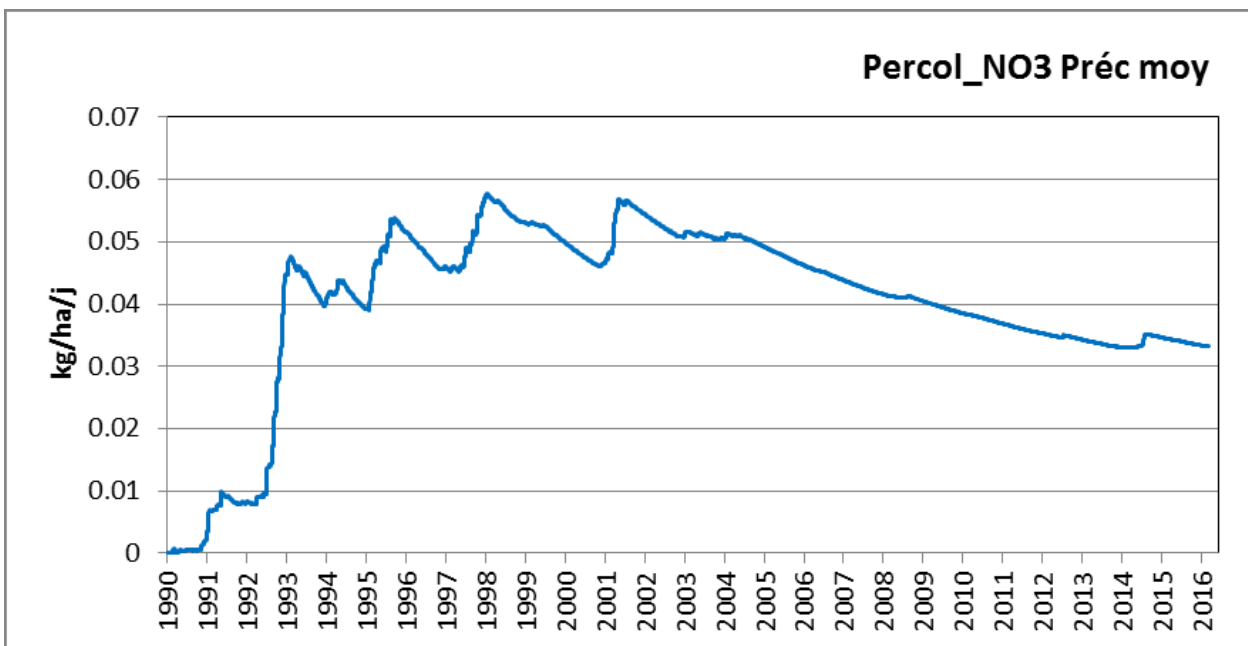


Figure 61 : Evolution de la percolation d'azote journalière moyenne sous la zone racinaire (sous forme de nitrates)

4.2.3. Bilan de masse

Les bilans de masses (ici, de nitrates) sont calculés à l'échelle du domaine maillé (Figure 62) selon :

- les masses entrantes, via les charges imposées en amont (en moyenne de l'ordre de 0.017 kg/j) et via la percolation sous racinaire (en moyenne de l'ordre de 0.003 kg/j),
- les masses sortantes, via les charges imposées en aval (en moyenne de l'ordre de 0.02 kg/j),
- les masses stockées et déstockées dans la zone non saturée et saturée. La différence entre les masses stockées et déstockées (stockage net) indique un déstockage moyen global de l'ordre de -0.0036 kg/j.

La masse totale de nitrates dans le domaine maillé (zone non saturée et zone saturée) est en moyenne de 75 kg, avec des fluctuations dues aux percolations azotées sous racinaire. L'action de la reforestation est visible à partir des années 2000 où la masse totale commence à décroître légèrement.

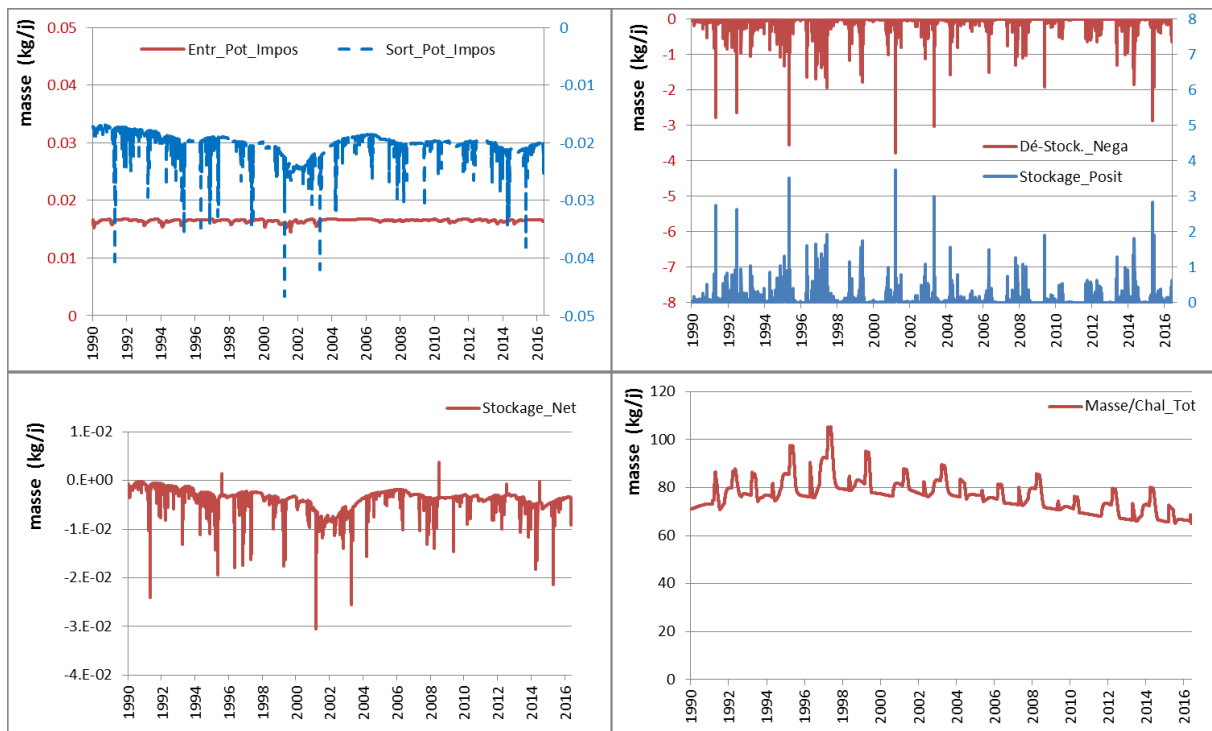


Figure 62 : Evolution des masses calculées à l'échelle du domaine modélisé (masses entrantes et sortantes par les charges imposées :Pot_Impos ; masses stockées et déstockées : Dé-stock_Néga, Stockage_Posit, Stockage_Net ; masse totale du domaine maillée : masse/Chal_Tot). Les masses sont des masses de nitrates par unité de surface

4.2.4. Impact sur la ZNS

Les évolutions temporelle et spatiale des paramètres hydrodynamiques tels que les teneur en eau, les charges matricielles et les perméabilités sont calculées à chaque pas de temps et sont représentés sur la Figure 63 à différentes profondeurs de la zone non saturée. A la profondeur 30.50 m où se situe le toit de la nappe, la charge matricielle est proche de 0 m et la teneur en eau et la perméabilité sont maximales. Le modèle retranscrit alors les écoulements lents en zone non saturée contrastant avec les écoulements rapides dans la nappe. Par ailleurs, les variations hydriques sont contrastées dans les premiers mètres du sous-sol et s'homogénéisent en profondeur jusqu'à la nappe (Figure 64).

Les concentrations en nitrates dans le sous-sol fluctuent fortement aux faibles profondeurs (Figure 65) car elles dépendent de l'état de saturation du sol (plus le sol est sec plus les concentrations sont fortes et inversement) et s'homogénéisent dans la zone non saturée à 30 mg/l vers 10 m de profondeur. Le modèle traduit bien l'évolution des nitrates dans le sous-sol en fonction de l'activité agricole en surface (Figure 65) car les concentrations en nitrates sont différentes sous la parcelle cultivée et sous la parcelle cultivée puis boisée (changement visible aux faibles profondeurs à partir de 2000 lors de la reforestation). Sur les profils de concentrations en nitrates (Figure 66) l'effet de la reforestation se manifeste après 10 ans sur les 6 premiers mètres de profondeur où les concentrations calculées passent à 0 mg/l contrairement à celles de la parcelle cultivée qui restent comprises entre 5 et 45 mg/l. Le modèle restitue alors un transport lent des nitrates en solution dans la zone non saturée (environ 1 m/an).

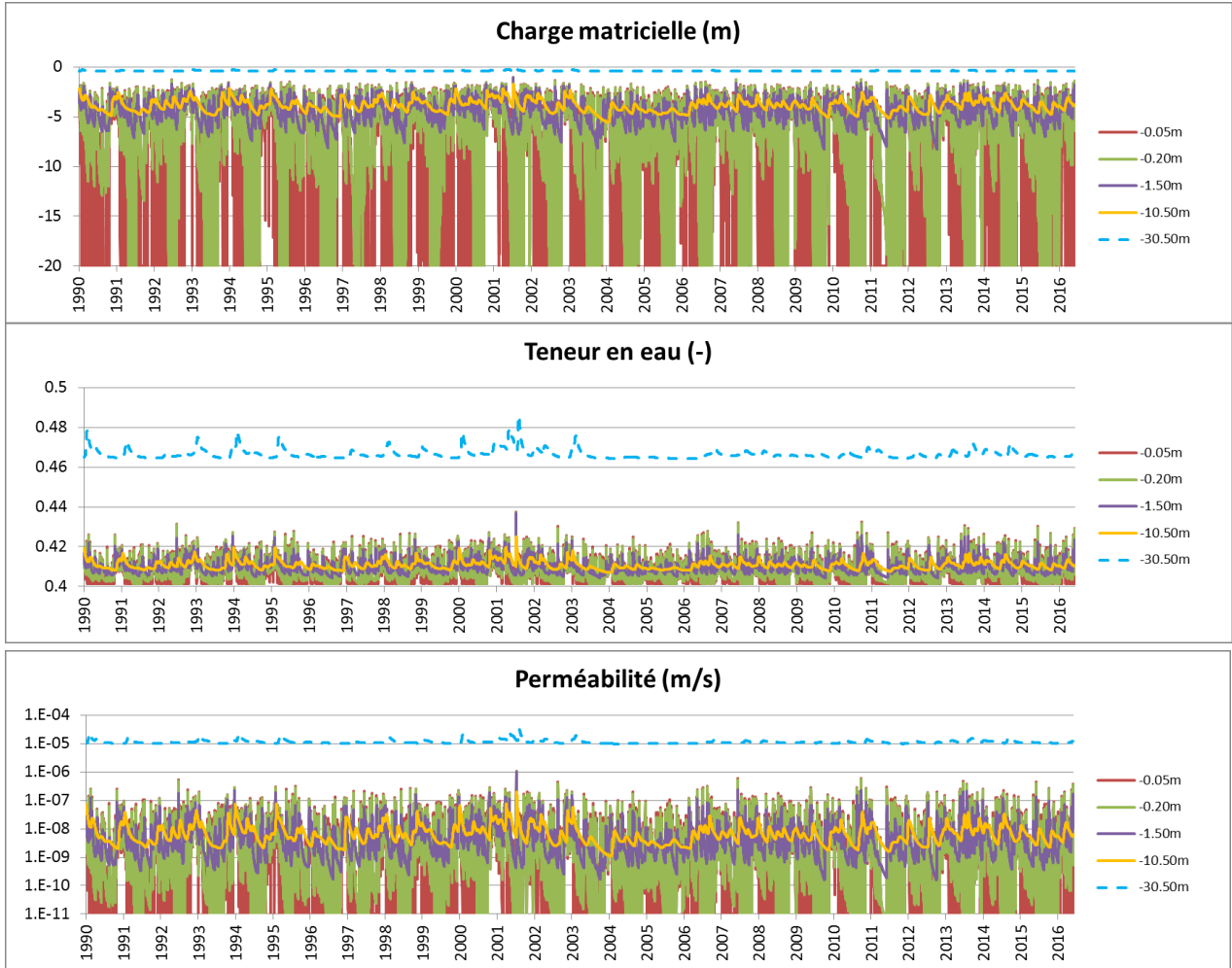


Figure 63 : Evolution des charges matricielles (ou pressions négatives), teneurs en eau et perméabilités calculées dans la zone non saturée à 0.05, 0.20, 1.50, 10.50 et 30.50 m de profondeur

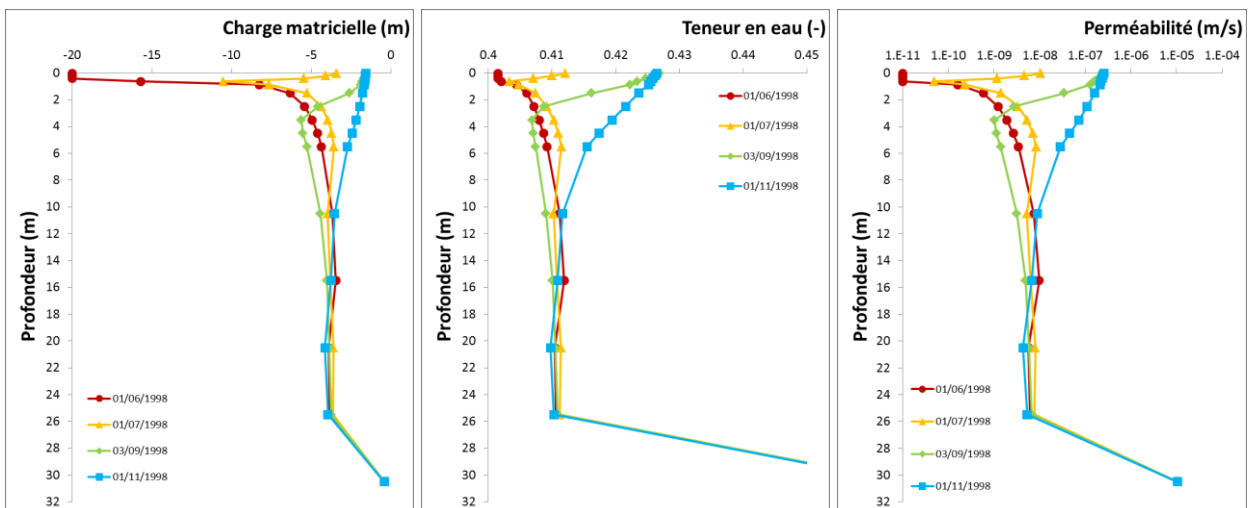


Figure 64 : Evolution des profils de charges matricielles (ou pressions négatives), teneurs en eau et perméabilités calculées dans la zone non saturée entre deux périodes climatiques contrastées (de juin à novembre)

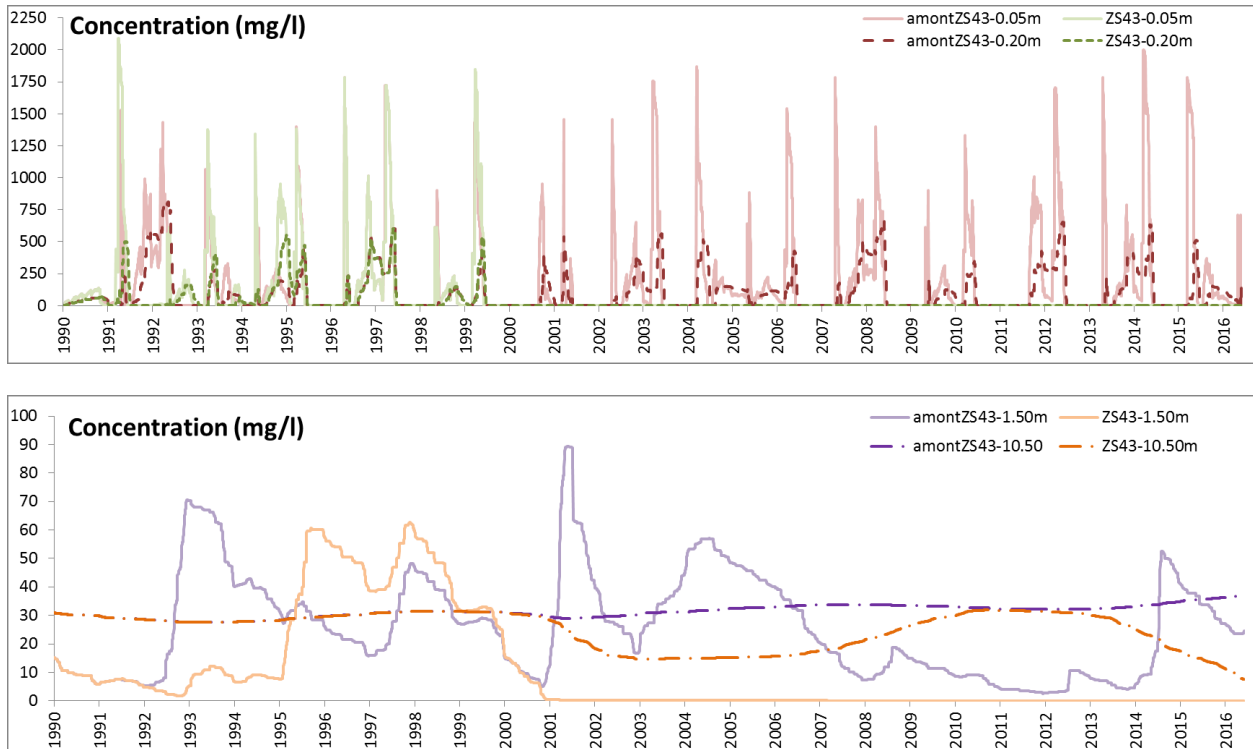


Figure 65 : Evolution des concentrations en nitrates calculées dans la zone non saturée au droit de la parcelle cultivée (amont ZS43) et de la parcelle cultivée puis boisée (ZS43) à 0.05, 0.20, 1.50 et 10.50 m de profondeur

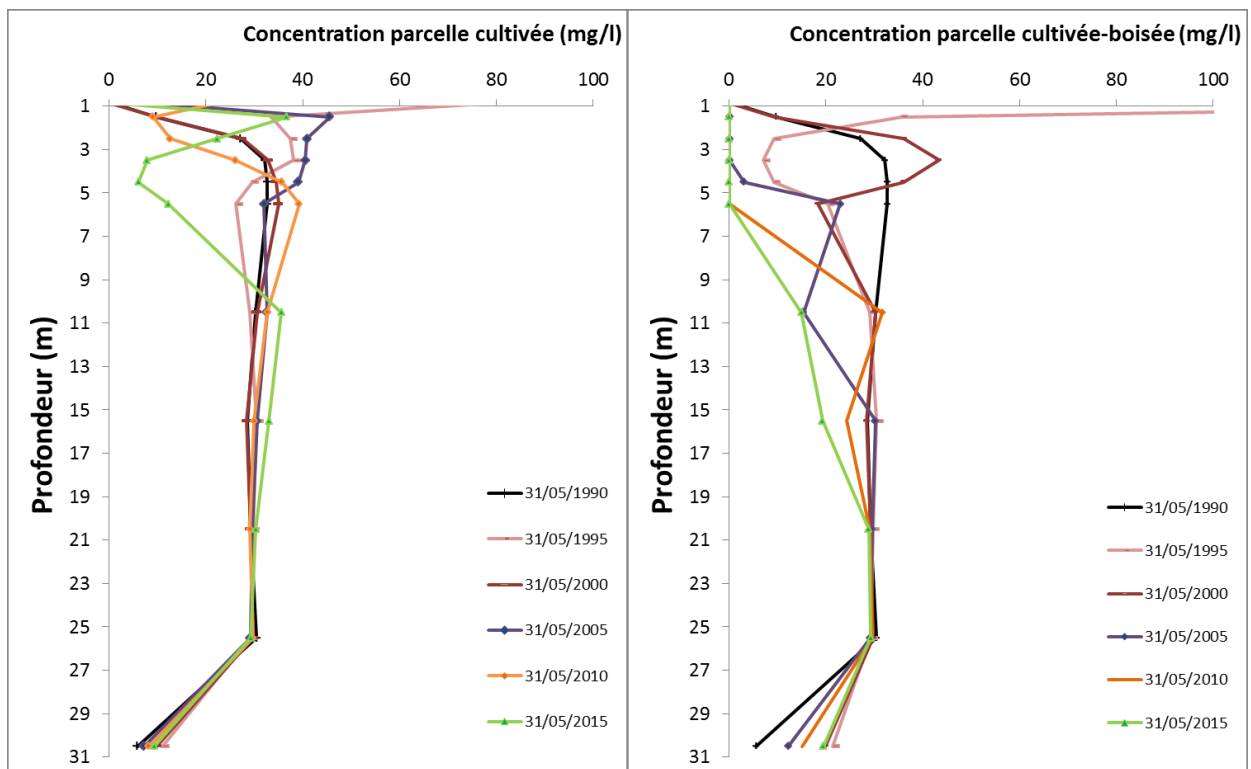


Figure 66 : Evolution des profils de concentrations en nitrates calculées dans la zone non saturée de 1990 à 2015 au droit de la parcelle cultivée et de la parcelle cultivée puis boisée

4.2.5. Impact sur la nappe

L'évolution progressive des eaux chargées en nitrates dans la nappe est calculée et représentée sur les Figure 67 (en coupe verticale) et Figure 68 (évolution temporelle dans la nappe en amont et en aval des parcelles). Dans la nappe, la concentration reste globalement égale à celle imposée dans le modèle, de 5 mg/l par les flux entrant en amont. Les eaux plus ou moins concentrées de la zone non saturée se mélangent aux eaux de la nappe dès leur arrivée ce qui fait légèrement varier les concentrations au-dessus de 5 mg/l lorsque les eaux de la zone non saturée sont concentrées et inversement. L'évolution des concentrations dans la zone non saturée est marquée par les activités agricoles en surface.

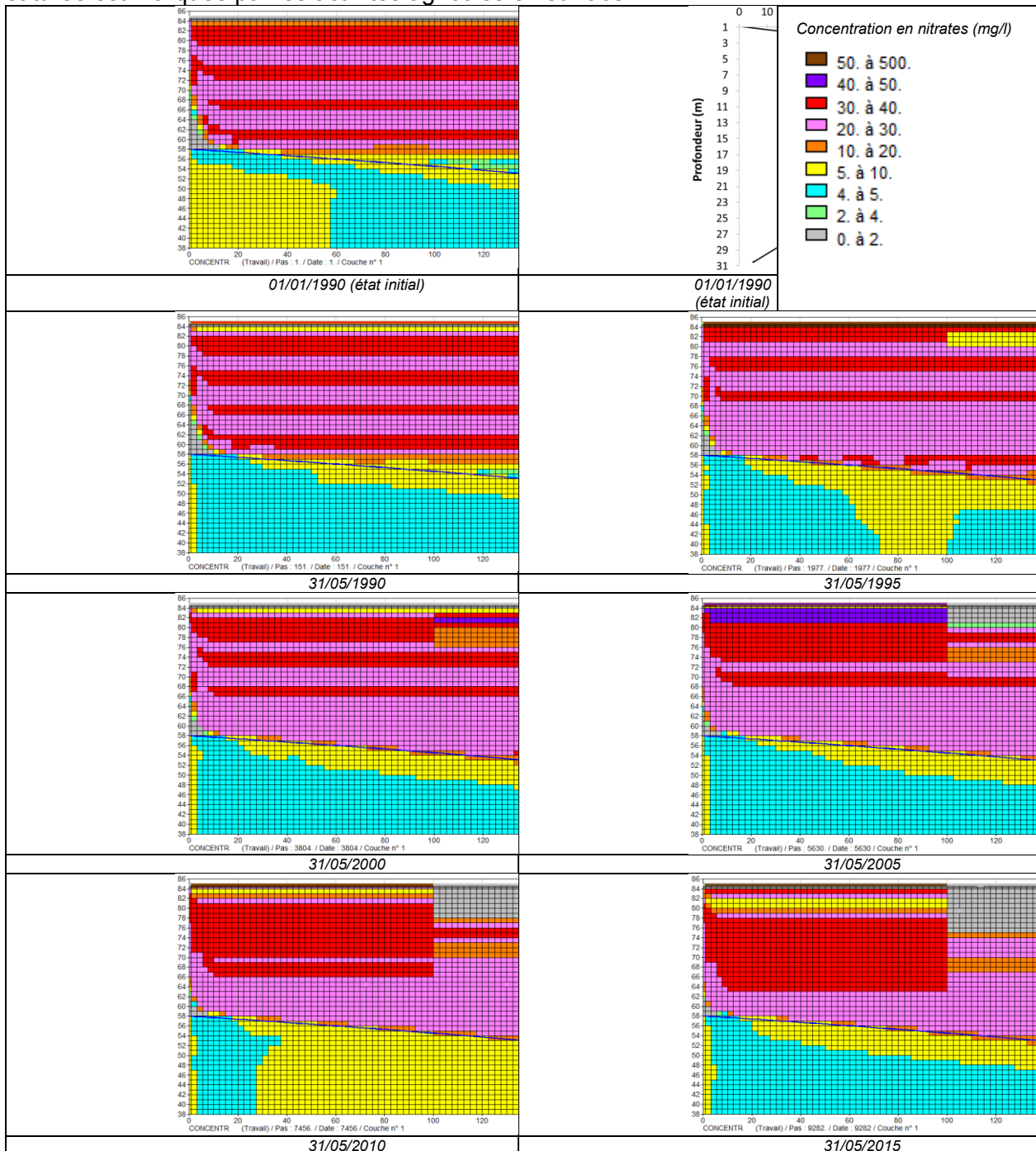


Figure 67 : Représentation en coupe verticale des concentrations en nitrates calculées de 1990 à 2015 sur le domaine modélisé (orientation W-E)

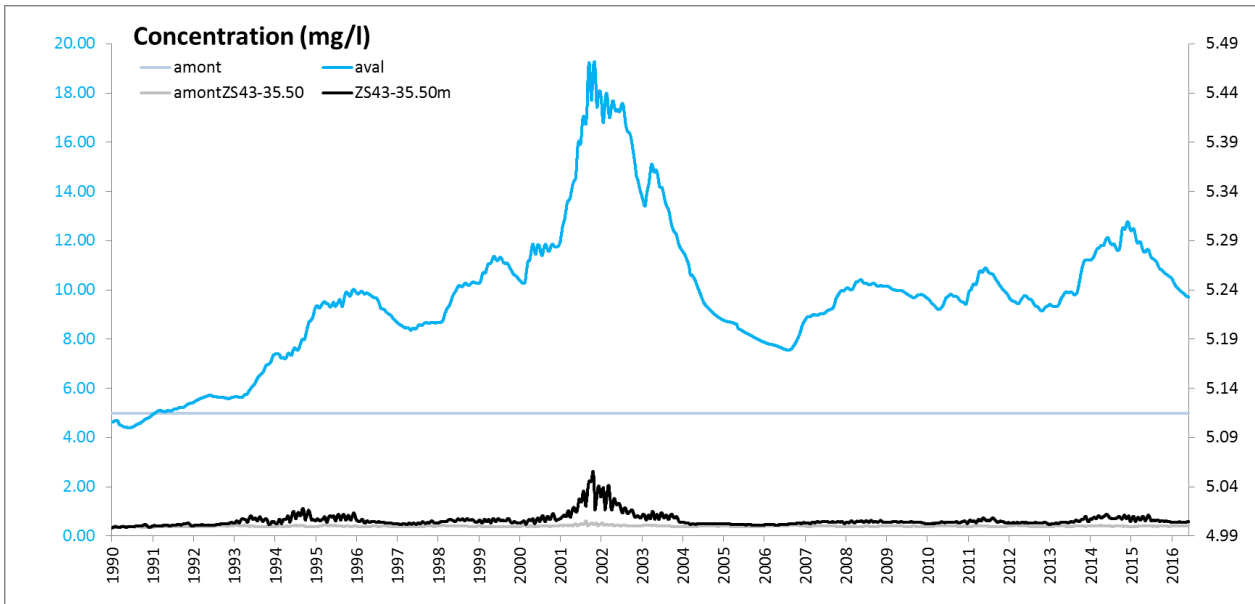


Figure 68 : Evolution des concentrations en nitrates calculées dans la nappe en amont et en aval du domaine modélisé et au droit des parcelles cultivées (amont ZS43) et cultivées puis boisées (ZS43)

En aval des parcelles, dans la nappe, une augmentation des concentrations est calculée (5 mg/l à 20 mg/l) suite aux écoulements verticaux globaux transitant à travers la zone non saturée.

Mis à part les effets de bord dus aux conditions aux limites du modèle, le modèle transcrit globalement les variations des pratiques culturales, le transport lent vertical dans la zone non saturée et le transport rapide horizontal dans la nappe. En effet, plusieurs dizaines d'années sont nécessaires pour faire transiter verticalement sur 30 m une solution concentrée (~1 m/an) alors qu'il faut à peine deux années pour parcourir 200 de mètres via la nappe (~100 m/an).

5. Conceptualisation des transferts de nitrates sur l'AAC de Caix 3 (80)

En synthèse de l'étude réalisée sur le site de Caix 3, un modèle conceptuel du transfert des nitrates de la surface du sol à la nappe est proposé au regard de la dynamique en surface et dans la zone non saturée. De par sa structure, matricielle et fissurée, la craie ne met pas en jeu les mêmes processus dans la zone non saturée et dans la nappe d'eau souterraine : l'écoulement-transport à travers la partie fissurée de la craie est rapide dans la nappe alors qu'il est quasiment inexistant dans la zone non saturée où il s'effectue à travers la partie matricielle de la craie de façon très lente. L'écoulement-transport vertical extrêmement lent dans le sol et la zone non saturée stocke une masse importante de nitrates au gré des saisons, des assolements et des apports azotés associés en surface (Figure 69). Au contraire, l'écoulement-transport dans la nappe d'eau souterraine est horizontal et apporte rapidement au forage AEP les nitrates ayant transités depuis la surface du sol.

Ce caractère dual de la craie permet de remobiliser rapidement dans la nappe les nitrates stockés dans la zone non saturée dès que la craie est saturée en eau (par remontée de nappe par exemple) et que les fissures sont de nouveau actives. Les remontées de nappe et hausses des concentrations en nitrates observées au forage de Caix 3 en 2001 et 2015 (Figure 69) peuvent s'expliquer par ce phénomène. La masse de nitrates est alors déstockée de la zone non saturée vers la nappe (et vers le forage AEP) et c'est ainsi que s'installe une dynamique différentielle entre la part verticale dans la zone non saturée et la part horizontale dans la nappe (Figure 70) : le battement de la nappe succédant à un déstockage massif de nitrates dans la zone non saturée ne permettra un déstockage futur de nitrates que si le battement de nappe est plus important que le battement de nappe précédent ou que si un stock de nitrates présent dans la zone non saturée a eu le temps de progresser en profondeur.

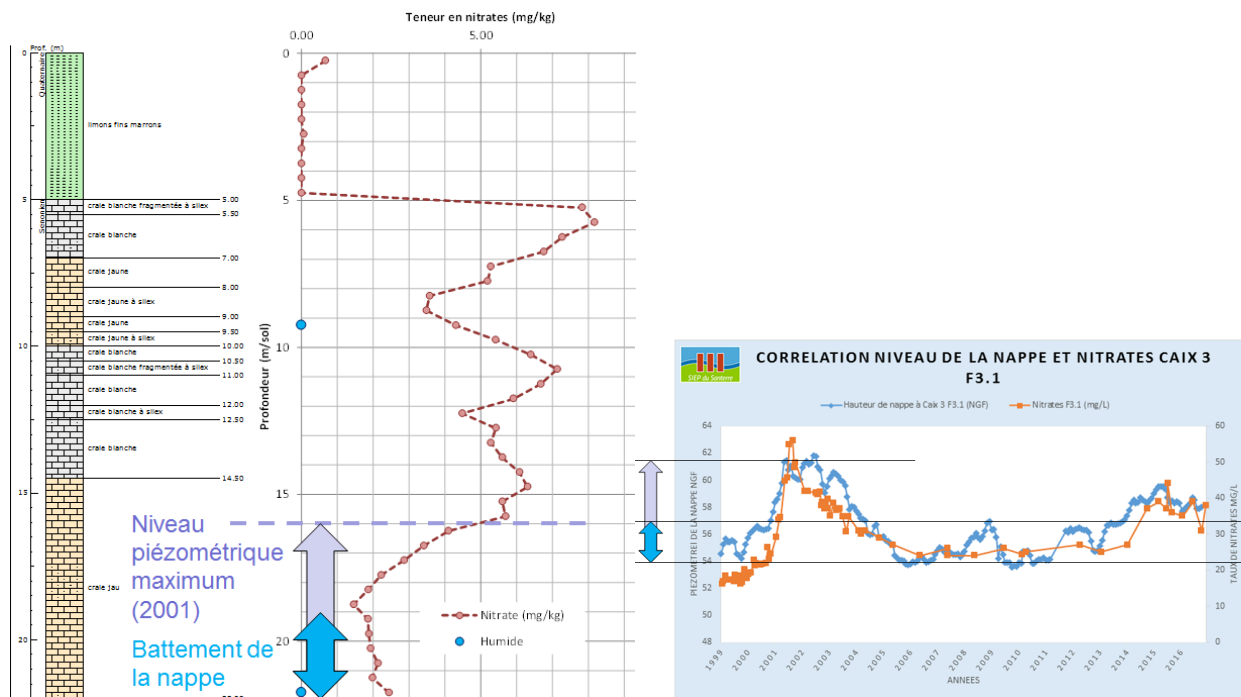


Figure 69 : Evolution des concentrations en nitrates mesurés dans la zone non saturée (sous parcelle boisée ZS43 en mai 2015) et dans la nappe aux captages AEP de Caix 3 (F3.1) au regard des évolutions piézométriques

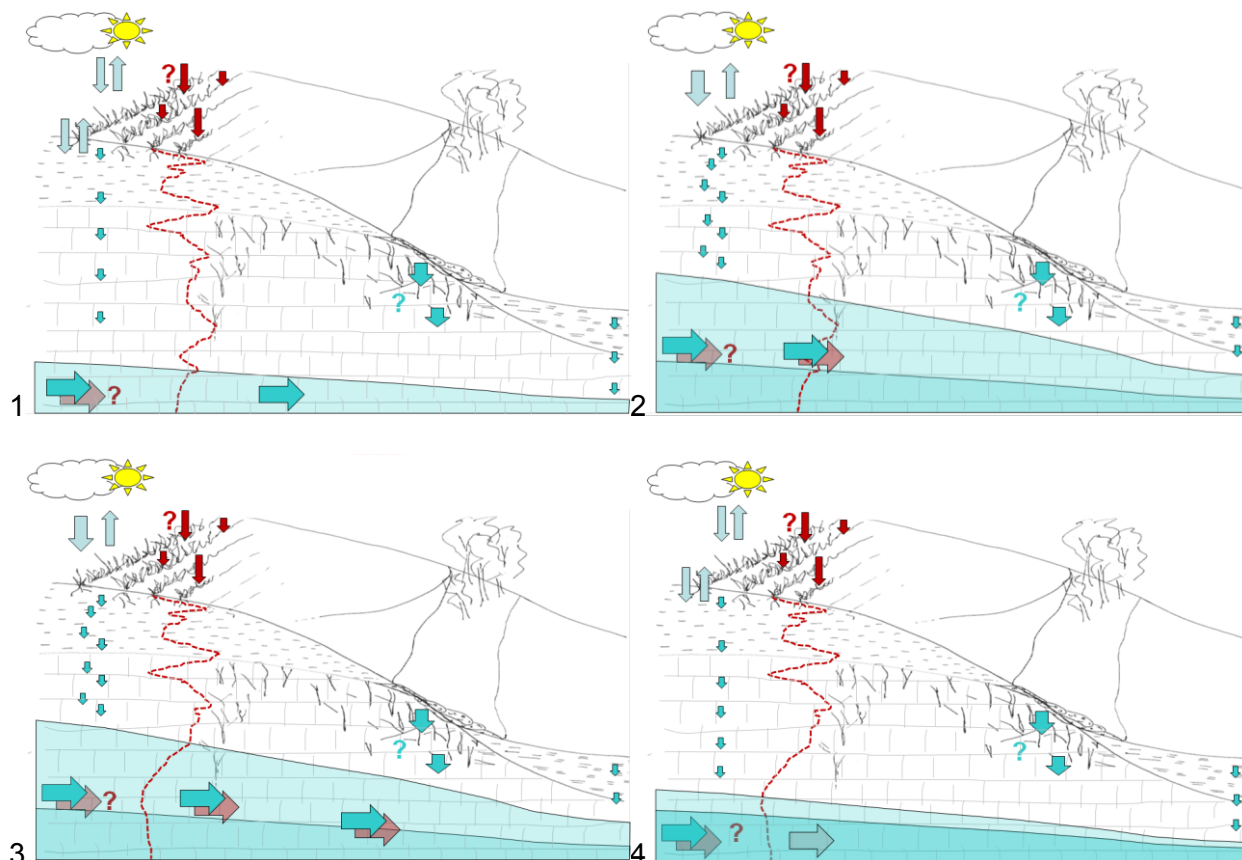


Figure 70 : Schéma conceptuel dynamique du transport de nitrates sur l'AAC de Caix 3
(1. Stockage dans la ZNS ; 2. Elévation du niveau piézométrique ; 3. Déstockage de la ZNS ;
4. Baisse du niveau piézométrique)

6. Conclusion

La synthèse des connaissances acquises sur le site de Caix a été présentée en mettant en avant l'importance de la zone non saturée et l'évolution des teneurs en nitrates de 1980 à 2015 avec une attention particulière sur les forages de Caix 3. La synthèse des données existantes met en avant un manque de mesures spatio-temporelles de la dynamique des écoulements et du transport de nitrates dans le sous-sol et la nappe à l'échelle de l'AAC. Dans le cadre du projet NITRAEAP, des caractérisations complémentaires ont été effectuées sur l'AAC de Caix 3 :

- Validation de la carte pédologique par GéoNord avec la description des sols de 8 fosses pédologiques (mai 2014) et analyse des espèces azotées par horizon de sol.
- Sondage géologique et profil nitrates de 22 m (mai 2015) sur une parcelle boisée du SIEP anciennement cultivée.
- Prélèvements des eaux souterraines (septembre 2015) sur 14 forages (AEP et agricoles) pour réaliser des mesures physico-chimiques et des analyses des eaux de la nappe de la craie (espèces azotés et éléments majeurs).
- Mesures de percolation des nitrates réalisées au laboratoire du BRGM sur des carottes non remaniées de limons et de craie.

Un manque évident de mesures de l'évolution spatio-temporelle du niveau de la nappe d'eau souterraine (et donc de l'épaisseur de la zone non saturée) n'a pas pu être réalisé dans le cadre du projet NITRAEAP.

L'application du développement du module agro-pédologique dans le logiciel de calcul des écoulements et du transport de solutés MARTHE a été réalisée sur une coupe verticale en deux dimensions avec une configuration de la dynamique de l'AAC de Caix 3. Les résultats de simulations montrent que le modèle MARTHE-MONICA permet de prendre en compte, de la surface du sol à la nappe, les écoulements et le transport des nitrates en solution en respectant les bilans hydriques et azotés du sol et du sous-sol. En estimant de façon générique les paramètres du modèle (paramètres culturaux, hydriques et de transport), la tendance d'évolution des nitrates est retranscrite et pourra être largement améliorée, voire extrapolable en trois dimensions à l'échelle de l'AAC de Caix 3.

Pour finir, un modèle conceptuel dynamique du transport de nitrates a été proposé pour mettre en relation les observations des teneurs en nitrates dans la zone non saturée au regard de celles obtenues dans la nappe aux captages AEP de Caix 3.

Une piste d'amélioration évidente serait la mise en place d'un réseau de mesures, spatialisé sur l'AAC de Caix 3, du suivi piézométrique et des concentrations en nitrates dans les sols, la zone non saturée et la nappe. L'acquisition spatio-temporelle de ces informations permettrait d'améliorer le schéma conceptuel proposé de la dynamique des transferts de nitrates et de valider les concepts développés dans l'outil de calcul MARTHE-MONICA à l'échelle de l'AAC. Enfin, le suivi des itinéraires techniques des cultures sur l'AAC de Caix 3 permettrait d'identifier plus finement les bilans azotés de l'hydrosystème et d'appliquer le modèle MARTHE-MONICA afin de prédire les concentrations en nitrates des forages AEP de Caix 3.

7. Bibliographie

- Agreste (2009). La Picardie est la première région betteravière de France. Les feuilles de liasons n°32: 2p.
- Agreste (2013). Les « grandes cultures » en Picardie- Suprématie du blé tendre. Les feuilles de liasons(n°47): 13p.
- Agreste (2014). Mémento de la statistique agricole -Édition 2014. Agreste Picardie. 28pp
- Agreste (2015). "Données en Ligne." Retrieved 01/06/2015, from <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>.
- Babiker I.S., Mohamed M.A.A., Terao H., Kato K., Ohta K., (2004) Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. Environ. Int. 29, 1009-1017.
- Baize D. (1995). Guide pour la description des sols, INRA editions.
- Bault V., Borde J., Follet R., Laurent A., Tourliere B. (2012) Atlas hydrogéologique numérique de l'Oise. Phase 3 : Notice. Rapport final., BRGM/RP-61081-FR, 320 p.
- Benson V., van Leeuwen J., Stryhn H., Somers G. (2007) Temporal analysis of groundwater nitrate concentrations from wells in Prince Edward Island, Canada : application of a linear mixed effects model. Hydrogeol. J. 15, 1009-1019.
- Bernard D. et Caulier P. (1990).- Exploitation d'eau souterraine potable dans la nappe de la craie en position captive dans le Nord-Pas-de-Calais. Ann. Soc. Géol. Nord CIX, 121-124.
- Cameron D.R, Kowalenko C.G., Campbell C. A. (1979) Factors affecting nitrate nitrogen and chloride leaching variability in a field plot. Soil Sci. Soc. of Am. Vol. 43, 455-460.
- Castagny & Margat, 1977, Dictionnaire français d'hydrogéologie, Edition BRGM.
- Caulier P. (1974) Etude des faciès de la Craie et de leurs caractéristiques hydrauliques dans la région du Nord. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université des Sciences et Techniques de Lille.
- Chrétien P. (2007) – Picardie – Nappe de la craie – Cartes piézométriques hautes eaux 2001-2002 et moyennes eaux 1960-2007. Rapport final. BRGM/RP-55971-FR, 72p.
- Chretien P., Feret M.J., Guionie P., Izac J.L., Jegou J.P., Joubin F., Kieffer C., Nail C., Robelin C. (2006) Picardie. Nappe libre de la Craie. Campagne et carte piézométriques "basses eaux" 2005. Rapport final. BRGM/RP-54285-FR, 63p.
- Cobo Y. (1991) DDE de la Somme. Subdivision de Rosières-en-Santerre. Syndicat Intercommunal de distribution d'Eau Potable de Caix (80). Réalisation de deux forages d'exploitation – Compte-rendu des travaux et essais de pompage. Rapport BRGM/RR-33498-FR, 47 p. 14 pht., 1 carte
- Comon D. (1992) Association Syndicale d'irrigation Est-SOMME – Etude hydrogéologique concernant le forage de M. Mannens au Quesnel (Somme). Indice géologique 0063-2X-0075/ Note BRGM/92-PIC-013.
- Comon D. (1995) Association Syndicale d'irrigation Est-SOMME - SCEA Julien-Desrousseaux à Beaufort-en-Santerre (80) - Réalisation des ouvrages définitifs – Compte-rendu des travaux. Note BRGM/95-PIC-004.

- Feyen J., D. Jacques, Timmerman A., Vanderborght J. (1998) Modelling water flow and solute transport in heterogeneous soils. A review of recent approaches. *J. Agric. Eng. Res.* 70, 231-256.
- Gutierrez A., Klinka T., Thiéry D., Buscarlet E., Binet S., Jozja N., Défarge C., Leclerc B., Fécamp C., Ahumada Y., Elsass J. (2013) TRAC, a collaborative computer tool for tracer-test interpretation. *EPJ Web of Conferences* 50, 03002, DOI:10.1051/epjconf/20135003002
- Gutierrez A., Klinka T., Thiéry D. (2012) Manuel d'utilisation de TRAC : Aide à l'interprétation de traçages en milieux poreux. BRGM rapport RP-60660-FR.
<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60660-FR.pdf>
- Klinka T., Gutierrez A., Thiéry D. (2012) - Validation du logiciel TRAC : Aide à l'interprétation de traçages en milieu poreux. Rapport BRGM/RP-59425-FR, 57 p., 44 fig., 1 ann.
<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59425-FR.pdf>
- Kloppmann W. Crastes de Paulet F., Parmentier M. et Gourcy L. (2017) – Projet ISOCAIX : Diagnostic isotopique et géochimique de la pollution azotée et datation des eaux des captages CAIX1, Somme. Rapport final BRGM/RP-66637-FR.
- Lacouture L. (2013) « Le Point sur » n°161 : Les teneurs en nitrates. Commissariat Général au Développement Durable - Service de de l'observation et des statistiques, 2013. 4 p.
- Landreau A. et Seguin JJ, 1987. Investigation sur la dénitrification naturelle dans l'aquifère captif de la Craie du nord de la France. Rapport BRGM/87-SGN-486.
- Le Moullec A., Mezdoor A. (2011) « Le Point sur » n°88 : La qualité des eaux de pluie. Météo France. Commissariat général au développement durable - Service de de l'observation et des statistiques, 4 p.
- Levy G.J., Goldstein D., Mamedov A. I. (2005) Saturated Hydraulic Conductivity of Semiarid Soils: Combined Effects of Salinity, Sodcity, and Rate of Wetting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 653-662.
- De Marsily g. (1981). Hydrologie quantitative. Masson, Paris
- Mariotti A, Landreau A, Simon B, 1988. 15N isotope biogeochemistry and natural denitrification process in groundwater: Application to the chalk aquifer of northern France. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 52, pp. 1869-1878.
- Martin-Bordes, J.L., Henry, E., Boulemia, C., Masson, F.-X., 2006. Aide au suivi du phénomène de dénitrification naturelle pour une gestion durable de la ressource en eau du Béthunois. Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie. doi:10.4000/developpementdurable.2791
- Miquel G. (2003) La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Rapport Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Tome II-Annexes, N°705 Assemblée nationale, N°215 Sénat, 293p.
- Normand B., Czernicliowski-Lauriol I., Mouvet C. Bourgeois M., Braibant G., Caous J.Y., Chéry L., Denis L., Fléhoc C., Gaudefroy M.J., Martin J.C., Vinchon C. (1999) Programme régional expérimental de suivi de la qualité des eaux sur trois bassins versants de Picardie faisant l'objet de mesures agri-environnementales de réduction d'intrants : suivi de la nappe et de la zone non saturée dans le bassin de l'Hallue (Somme). Rapport BRGM R40616, 315p.

- Picot-Colbeaux G., Devau N., Thiéry D., Surdyk N., Parmentier M., André L., (2017). Modélisation du transfert des nitrates : transfert réactif et évolution spatio-temporelle dans la zone non saturée. BRGM/RP-66375-FR.
- Picot-Colbeaux G., Thiéry D., Devau N., Josse M., Surdyk N., Péru H., Pettenati M., Parmentier M., André L. (2017b) Land use effect on nitrate storage and transport through unconfined Chalk aquifer. 14th International AquaConSoil Conference, 26–30 June 2017 | Lyon, France, ACS 2017 ID1061
- Roux JC. et al. (2006) Aquifères & Eaux souterraines en France. BRGM Editions. Ouvrage collectif - Tome 1, 479 p.
- Sameni A.M., Morshedi A. (2000). Hydraulic conductivity of calcareous soils as affected by salinity and sodicity. II. Effect of gypsum application and flow rate of leaching solution carbohydrate pol. Soil Sci. Plant Anal. 31 : 69 - 80
- Sauty J.P. (1977) - Contribution à l'identification des paramètres hydrodispersifs dans les aquifères par l'interprétation des expériences de traçage. Thèse Doct.-Ing. Grenoble
- Sheperd M.A., 1996. Factors affecting nitrate leaching from sewage sludges applied to a sandy soil in arable agriculture. Agric. Ecosyst. Environ. 58, 171-185.
- SIEP, 2012 Opération de préservation, Reconquête de la qualité de l'eau sur les captages de Caix 1 et Caix 3, recensement des sources potentielles de pollutions, octobre 2012 A62665/A.
- SOGREAH, 1998. Etude du phénomène de dénitrification naturelle dans la craie sénonienne à l'ouest de Béthune (No. 100550.R3).
- Soltner, D. (1999). Les grandes productions végétales. Sainte-Gemmes-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles. 464p.
- Surdyk N., Gourcy L., Bault V. (2016) Etude du transfert des nitrates dans la zone non saturée et dans les eaux souterraines des aires d'alimentation de captage dans l'Oise. Rapport final. BRGM/RP-65842-FR. 72 p. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65842-FR.pdf>
- Surdyk N., Gourcy L., Baran N., Picot J. (2014) Etude du transfert des nitrates dans la zone non saturée et dans les eaux souterraines des aires d'alimentation de captage en Picardie, Bassin Seine Normandie. BRGM/RP-63714-FR, 114 p. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63714-FR.pdf>
- Thiéry D. (2015a) - Didacticiel du code de calcul MARTHE v7.5. Exploration des fonctionnalités de modélisation des hydrosystèmes. Rapport BRGM/RP-64997-FR. 317 p., 204 fig. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-64997-FR.pdf>
- Thiéry D. (2015b) – Code de calcul MARTHE - Modélisation 3D des écoulements dans les hydrosystèmes - Notice d'utilisation de la version 7.5. Rapport BRGM/RP-64554-FR, 308 p., 150 fig. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-64554-FR.pdf>
- Thiéry D. (2015c) – Modélisation 3D du transport de masse et du transfert thermique avec le code de calcul MARTHE – version 7.5. Rapport BRGM/RP-64765-FR, 330 p., 159 fig. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-64765-FR.pdf>
- Thiéry D. (2015d) – Modélisation 3D des écoulements en Zone Non Saturée avec le code de calcul MARTHE - version 7.5. Rapport BRGM/RP- 64495-FR, 87 p., 35 fig., 4 tabl. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-64495-FR.pdf>

Thiéry D. (2015e) – Modélisation 3D du Transport Réactif avec le code de calcul MARTHE v7.5 couplé aux modules géochimiques de PHREEQC. Rapport BRGM/RP-65010-FR, 167 p., 88 fig. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65010-FR.pdf>

Thiéry D. (2016) – Prise en compte de la végétation pour le calcul de l'Évaporation et de la Transpiration dans le code de calcul MARTHE v7.6. Rapport BRGM/RP-65918-FR, 78 p., 47 fig. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65918-FR.pdf>

UNIP-ITCF (2001). Pois protéagineux d'hiver et de printemps, guide de culture 2001-2002.

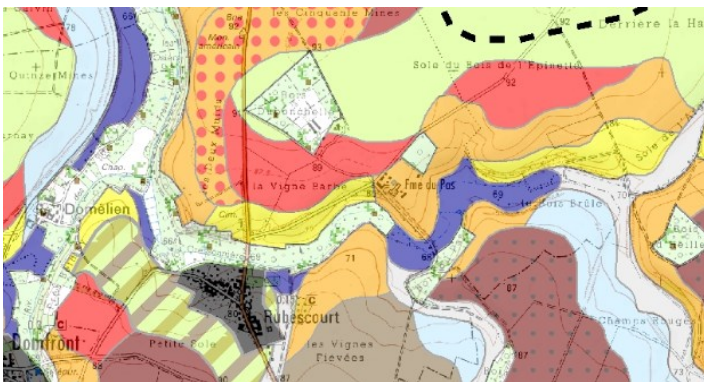
Annexe 1

Rapport de l'étude pédologique réalisée par Géonord



Projet NITRAEAP

Etude pédologique



SARL au capital de 2 000 €
Siège social à Anzin Saint Aubin (62)
RCS Arras SIRET 503 791 147 00021

18 rue du Maréchal Haig
62223 ANZIN SAINT AUBIN

Tél. : 03 21 71 91 64
Fax : 03 59 08 73 79
E mail : contact@geonord.fr
www.geonord.fr

Etude réalisée par Hubert PERU
Avec la collaboration de
Jean Baptiste BASILIEN

1 Sommaire

2	Contexte de l'étude.....	5
3	La mise en place des fosses pédologiques	6
4	Description des fosses pédologiques	7
4.1	Préalable : notions d'agronomie	7
4.1.1	La réserve utile en eau d'un sol (RU).....	8
4.1.2	La battance du sol	10
4.2	Hydromorphie, rupture de perméabilité.....	11
4.3	Fosse 1	12
4.4	Fosse 2	13
4.5	Fosse 3	14
4.6	Fosse 4	15
4.7	Fosse 5	16
4.8	Fosse 6	17
4.9	Fosse 7	18
4.10	Fosse 8	19

Table des figures

Figure 1:	Carte des typologies des sols avec les positionnements des fosses pédologiques	6
Figure 2:	Triangle de Texture GEPPA.....	7
Figure 3:	Triangle texturale du potentiel de battance	10
Figure 4:	Fosse1 - UTS 5	12
Figure 5:	Fosse 2- UTS 7.....	13
Figure 6:	Fosse3 – UTS1.....	14
Figure 7:	Fosse 4 - UTS 8.....	15
Figure 8:	Fosse 5 - UTS 2.....	16
Figure 9:	Fosse 6 – UTS 4.....	17
Figure 10:	Fosse 7 – UTS 6.....	18
Figure 11:	Fosse 8 - UTS 3.....	19

Table des tableaux

Tableau 1 :	Tableau des réservoirs en eau selon les textures.....	8
Tableau 2:	Masse volumique Fosse 1.....	12

Annexe

Le bureau d'étude Géonord est spécialisé dans la cartographie des sols, l'interprétation de leur sensibilité environnementale et de leur aptitude agronomique. Fort de ses huit années d'expériences et de la réalisation de cartes de sols, Géonord dispose de l'expérience, des moyens humains et techniques nécessaires à cette étude.

L'objectif de l'étude consiste en une expertise pédologique des parcelles ayant fait l'objet de plantations, avec une attention particulière à la problématique de la circulation de l'eau, afin d'émettre un avis sur la comptabilité des plantations sur ces parcelles et les techniques éventuelles à mettre en œuvre.

2 Contexte de l'étude

Le projet de recherche NITRAEAP étudie le mode de transfert des nitrates dans la zone non saturée d'aquifère crayeux.

Cette étude nécessite des compétences pluridisciplinaires telles que la géochimie, l'agronomie et la pédologie.

Les résultats présentés ci-après correspondent à ceux de l'étude pédologique.

L'étude NITRAEAP s'est déroulée sur le bassin d'alimentation de CAIX3, bassin ayant fait l'objet d'une carte des sols dans le cadre d'une étude de vulnérabilité de la nappe aquifère.

368 sondages à la tarière manuelle ont été réalisés jusqu'à 1,20 m de profondeur quand le sol l'a permis. La pression de sondages réalisés est variable selon la topographie : environ 1 sondage pour 5 hectares en zone de versants et vallons, et environ 1 sondage pour 20 hectares sur le restant du territoire. La répartition des sondages correspond à un maillage non systématique, basé sur la lecture du paysage et de la morphologie du terrain. Seuls les sols agricoles ont été cartographiés.

Au total, l'interprétation des **487 sondages** a permis de définir **8 unités typologiques de sol (UTS) et 1 unité cartographique de sol** (association des UTS 3 et 4).

Ces sols sont issus de six matériaux parentaux distincts : la Craie et son altération, les Limons Lössiques, l'Argile à silex et les Colluvions des vallons.

Afin de mieux mettre en évidence les caractéristiques de ces unités pédologiques, le travail présenté ci-après a consisté en la réalisation et description d'une fosse pédologique par UTS, permettant d'interpréter le mode de transfert de l'eau pour chacune d'entre elles.

3 La mise en place des fosses pédologiques

Les 8 fosses pédologiques ont été creusées et décrites sur une profondeur moyenne de 140cm lorsque la réalisation de la fosse le permettait.

La localisation des fosses a été déterminée en fonction de leur unité pédologique, de la facilité d'accès et de la bonne représentativité pédologique du lieu de creusage par rapport à l'unité pédologique ; pour ce faire, un sondage à la tarière a systématiquement été réalisé avant l'ouverture de la fosse.

Lors de l'ouverture des fosses, l'horizon labouré a été séparé des autres horizons afin d'éviter son mélange lors du rebouchage des fosses.

L'ensemble des fosses pédologiques a ensuite été décrit selon la fiche « STIPA 2000 – UMR Sol et Environnement – INRA Montpellier ».

Enfin, pour chaque horizon identifié dans les fosses, un échantillon de sol a été prélevé puis analysé au laboratoire concernant la teneur en ammonium, nitrites, nitrates puis la teneur en matière organique et en azote total.

La granulométrie a également été déterminée ainsi que la densité apparente à partir de cylindres.

Avant le rebouchage des fosses, les dégâts occasionnés ont été chiffrés, puis le montant de l'indemnisation calculée selon le barème en vigueur

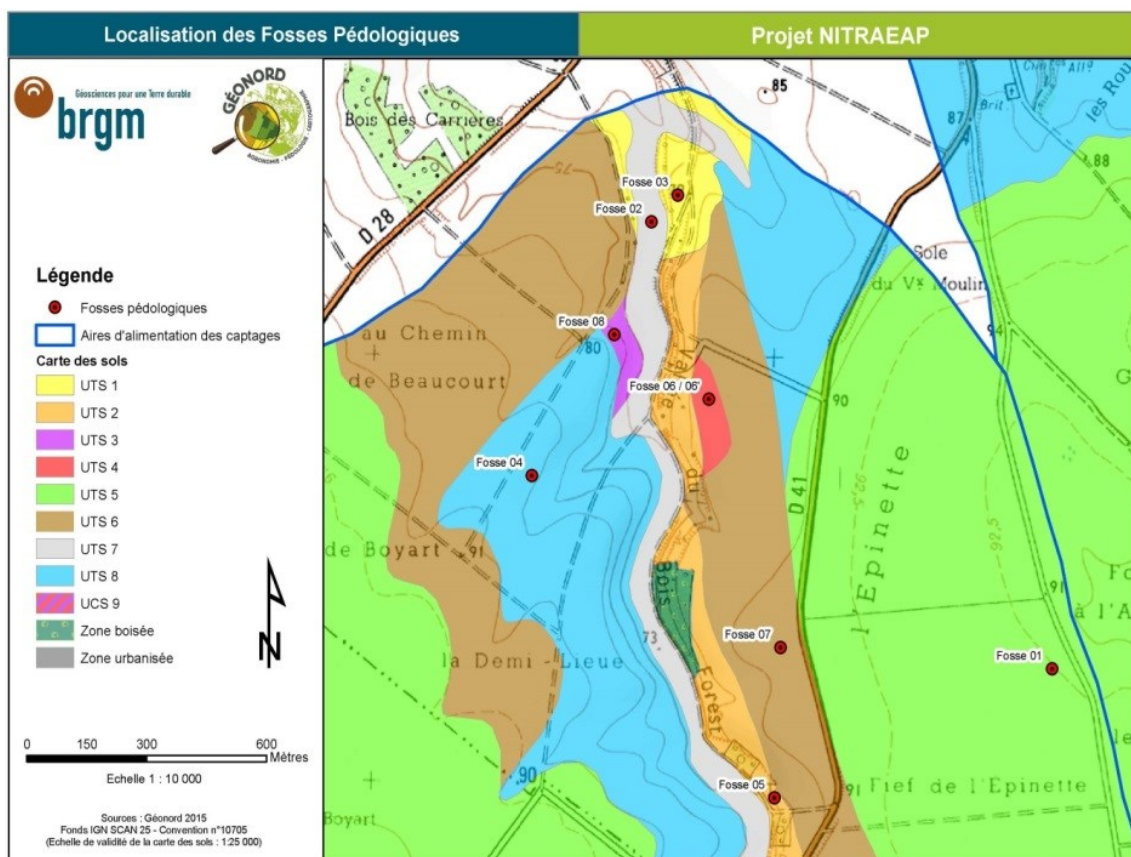


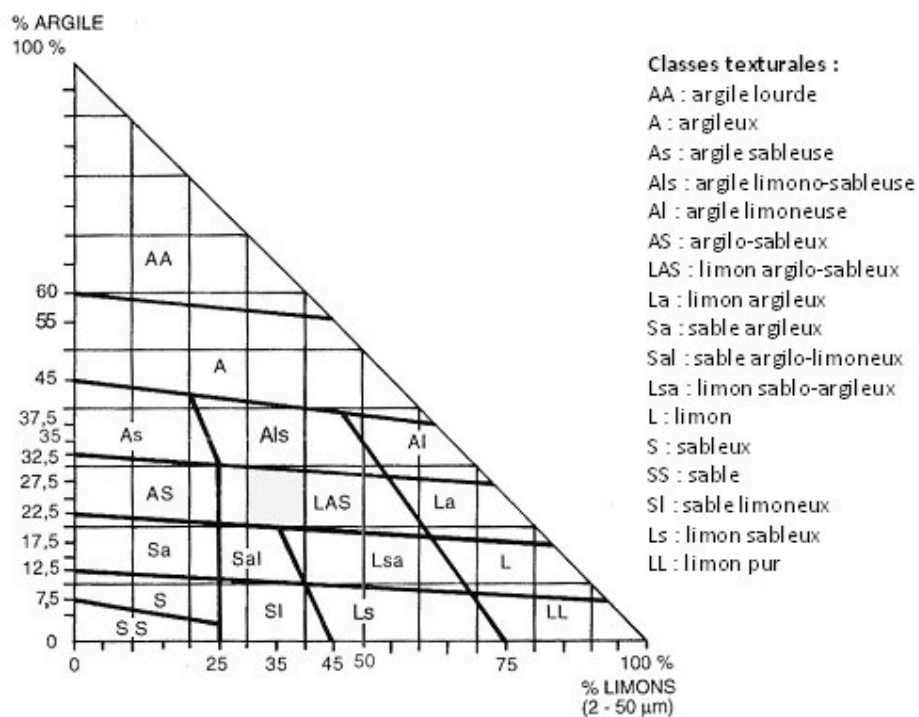
Figure 1: Carte des typologies des sols avec les positionnements des fosses pédologiques

4 Description des fosses pédologiques

4.1 Préalable : notions d'agronomie

Sont présentées ci-dessous quelques notions d'agronomie qui seront reprises lors de la description des différentes fosses pédologiques.

La texture est un élément essentiel dans la description des horizons pédologiques ; la texture décrite dans les fiches Donesol se base sur le Triangle du GEPPA ci-dessous.



Triangle du GEPPA (1963)

Source : BAIZE D., 1995. Guide pour la description des sols, INRA Editions.

* GEPPA : Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée

Figure 2: Triangle de Texture GEPPA

4.1.1 La réserve utile en eau d'un sol (RU)

Elle correspond à la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. La RU est autrement dit la différence entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement permanent.

La RU est composée pour 2/3 de RFU (Réserve Facilement Utilisable) et pour 1/3 de RDU (Réserve Difficilement Utilisable ou réserve de survie).

Lorsque le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau. Une première partie de l'eau lessive tout de suite et part vers les profondeurs par percolation, n'étant pas retenue par les forces capillaires, c'est l'eau gravitaire. Cette quantité est d'autant plus grande que la texture du sol est grossière (sable). On obtient alors un sol ressuyé, c'est-à-dire un sol contenant le volume maximal d'eau qu'il peut retenir compte tenu de ses caractéristiques de porosité, perméabilité et granulométrie: cette réserve d'eau est appelée capacité au champ.

Classe de texture	Réservoir utilisable maximal textural (mm/cm de sol)
S	0.70
SL	1.00
SA	1.35
LIS	1.20
LS	1.45
LmS	1.60
LSA	1.65
LAS	1.75
LI	1.30
Lm	1.75
LA	1.95
AS	1.70
A	1.75
AL	1.80

Tableau 1 : Tableau des réservoirs en eau selon les textures

4 classes de réserves utiles sont ici proposées :

- $RU < 80\text{mm}$

(Correspond à un sol superficiel, reposant rapidement sur la roche, la craie dans notre cas. Ce type de sol est donc très sensible à la sécheresse et au lessivage, leur potentialité agronomique est limitée).

- $80 > RU < 120\text{mm}$
- $120\text{mm} > RU < 180\text{mm}$
- $RU > 180\text{mm}$

(Correspond au sol profond à fort potentiel agronomique. Un pilotage de l'azote sur ce type de sol doit permettre de maîtriser le lessivage azoté).

La charge en cailloux favorise le drainage et à contrario réduit la réserve utile.

La réserve utile d'un sol peut également être limitée par une faible porosité liée à un tassement, une compaction générée par le travail du sol (semelle de labour, zone de roulement) ou encore par un horizon hydromorphe (réductique) peu favorable à l'enracinement (milieu anaérobique).

4.1.2 La battance du sol

C'est le défaut d'un sol qui, par dégradation de sa structure grumeleuse et de sa porosité sous l'action de la pluie, présente une induration (ou glaçage) superficielle

Cette action de glaçage a pour effet d'imperméabiliser la surface du sol et d'être à l'origine du ruissellement. La battance s'observe sur le terrain par la création d'une croûte de battance tandis que le potentiel de battance peut s'estimer en fonction de la texture, comme présenté sur la figure 3.

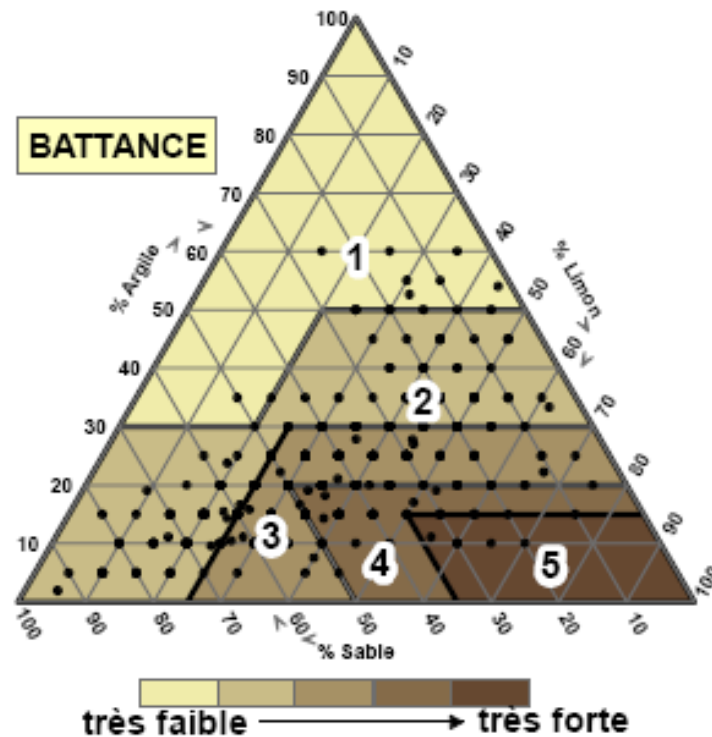


Figure 3: Triangle texturale du potentiel de battance

Les sols les plus sensibles à la battance sont les limons purs (LL).

La battance s'évalue selon un indice dit Indice de Battance (IB)

D'autres paramètres tels que la teneur en matière organique et le pH interviennent dans la stabilité de la matrice sol.

$$IB = \frac{(1.5 * \text{Limon fins} + 0.75 * \text{Limon grossiers})}{(\text{Argile} + 10 * \text{Matière organique})} - [-0.2 (\text{pH} - 7)]^* \quad \text{si } \text{pH} > 7]^*$$

La surveillance du pH et le maintien de la matière organique permettent de gérer le phénomène de battance.

Un travail du sol grossier est également moins à risque qu'un travail fin réalisé avec des outils animés (rotative).

4.2 Hydromorphie, rupture de perméabilité

L'hydromorphie est une qualité de sol. Un sol est dit hydromorphe lorsqu'il montre des marques physiques d'une saturation régulière en eau.

La saturation régulière en eau d'un sol (réductisol) va favoriser la dénitrification ; cette situation pédologique n'a pas été observée sur le secteur d'étude.

La rupture de perméabilité (horizon tassé) peut modifier le mode de circulation dans le sol en générant dans un premier temps un ruissellement hypodermique.

En présence d'une rupture de perméabilité, un ruissellement par saturation peut se produire avec un apport d'eau conséquent et un flux entrant supérieur à la vitesse d'infiltration.

4.3 Fosse 1

Sols issus des limons loessiques :

UTS 5 : Limons profonds (d'une épaisseur supérieure à 1,20 m), bruns à bruns clairs, non hydromorphes à faiblement hydromorphes (traits rédoxiques marqués – g – apparaissant au-delà de 0,80 m de profondeur. Ces limons non carbonatés présentent des horizons BT limono-argileux (horizon d'accumulation des argiles) plus ou moins marqués, de 0,20 à 0,50 m d'épaisseur.



Figure 4: Fosse1 - UTS 5

Analyse agronomique de l'UTS 5

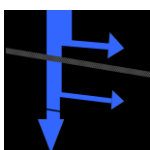
Il s'agit d'un sol à fort potentiel de rendement, présentant une excellente réserve utile (supérieure à 200 mm) et une facilité d'enracinement.

La semelle de labour pourrait cependant pénaliser l'enracinement et créer des situations anoxiques temporaires en cas de saturation du sol

Analyse agro-environnementale

Cette unité de sol ne présente pas de situation à risque particulière vis-à-vis de l'azote. La prospection racinaire profonde devrait permettre à la plante de capter l'azote apportée.

Une gestion azotée pilotée doit permettre la maîtrise d'un lessivage réduit.



La circulation de l'eau sur ce type de sol est verticale ; cependant, la texture limoneuse est propice à un transfert de surface en cas de semelle de battance. Enfin, la zone compactée pourrait freiner l'infiltration voir créer un ruissellement hypodermique en cas de flux d'eau important.

La réalisation de la fosse a confirmé la description de l'unité 5, en nuanciant la présence de l'horizon rédoxique en profondeur.

La description des horizons a mis en évidence une structure compacte sous l'horizon labouré.

Ce manque de porosité a été confirmé par la mesure de la densité.

La compacité de cet horizon, liée à la fragilité structurale des limons et au travail du sol réalisé, est à l'origine d'une plus faible perméabilité observée par la présence de traces d'hydromorphies.

N°échantillon	Masse volumique sèche g/cm ³
F1-H1	1.33
F1-H2	1.53
F1-H5	1.40

Tableau 2: Masse volumique Fosse 1

4.4 Fosse 2

Sols issus des Colluvions

UTS 7 : Colluvions des vallées sèches. Limons bruns clairs, non hydromorphes et fortement carbonatés dès la surface. Ils présentent une charge faible à moyenne en petits graviers de craie issus du colluvionnement et de l'érosion des versants. Quelques graviers de silex sont parfois présents, provoquant parfois un arrêt-tarière.



La réalisation de la fosse a confirmé la description de l'unité 7.
La description des horizons a mis en évidence une structure compacte sous l'horizon labouré.

Figure 5: Fosse 2- UTS 7

Analyse agronomique de l'UTS 7

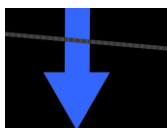
Il s'agit d'un sol à fort potentiel de rendement, présentant une excellente réserve utile (supérieure à 200 mm) et une facilité d'enracinement.

La semelle de labour pourrait cependant pénaliser l'enracinement

Analyse agro-environnementale

Cette unité de sol ne présente pas de situation à risque particulière vis-à-vis de l'azote. La prospection racinaire profonde devrait permettre à la plante de capter l'azote apporté.

Une gestion azotée pilotée doit permettre la maîtrise d'un lessivage réduit.



La circulation de l'eau sur ce type de sol est verticale ; La zone plus tassée n'est pas en mesure actuellement de générer un ruissellement hypodermique.

La présence de gravier de craie limite le risque de création d'une semelle de battance et donc d'un ruissellement de surface.

4.5 Fosse 3

Sols issus de l'altération de la craie :

UTS 1 : Sols superficiels, limoneux à limono-argileux, carbonatés, d'une épaisseur inférieure à 0,70 m (généralement 0,30 à 0,50 m) reposant sur la craie plus ou moins altérée. La charge en graviers de craie est moyenne à forte (généralement >30-40%), et souvent quelques graviers et/ou cailloux de silex sont présents.



La réalisation de la fosse a confirmé la description de l'unité 3.

Figure 6: Fosse3 – UTS1

Analyse agronomique de l'UTS 1

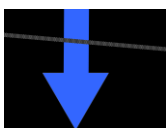
Il s'agit d'un sol à faible potentiel de rendement, présentant une très faible réserve utile (inférieure à 80 mm), une grande sensibilité au déficit hydrique.

La couleur blanche du sol à la surface ne favorise pas le réchauffement du sol et peut retarder la levée.

Analyse agro-environnementale

Cette unité de sol présente une situation à risque vis-à-vis du lessivage de l'azote.

Une gestion azotée pilotée doit permettre la maîtrise d'un lessivage réduit.



La circulation de l'eau sur ce type de sol est verticale et la vitesse y est rapide.

4.6 Fosse 4

Sols issus des Colluvions

UTS 8 : Colluvions des versants. Limons bruns à bruns clairs non hydromorphes, plus ou moins carbonatés (parfois non carbonatés), présentant des charges variables en graviers de craie et/ou de silex. Présents sur certains versants peu pentus, ils sont issus du colluvionnement.



Figure 7: Fosse 4 - UTS 8

La réalisation de la fosse a confirmé la description de l'unité 8. La description de la fosse a permis de mettre en évidence un horizon pédologique d'accumulation, dit horizon Bt.

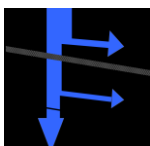
Analyse agronomique de l'UTS 8

Il s'agit d'un sol à fort potentiel de rendement, présentant une excellente réserve utile (supérieure à 200 mm) et une facilité d'enracinement.

Analyse agro-environnementale

Cette unité de sol ne présente pas de situation à risque particulière vis-à-vis de l'azote. La prospection racinaire profonde devrait permettre à la plante de capter l'azote apporté.

Une gestion azotée pilotée doit permettre la maîtrise d'un lessivage réduit.



La circulation de l'eau sur ce type de sol est verticale ; cependant, l'horizon d'accumulation (dit horizon Bt) peut limiter la vitesse d'infiltration et créer un ruissellement hypodermique. La texture limoneuse est propice à un transfert de surface en cas de semelle de battance.

4.7 Fosse 5

Sols issus de l'altération de la craie :

UTS 2 : Sols superficiels argileux ou argilo-limoneux, reposant sur la craie plus ou moins altérée avant 0,70 m de profondeur (généralement avant 0,50-0,60 m). La matrice argileuse est faiblement carbonatée, et seuls les graviers de craie présents (en quantité faible à moyenne) sont fortement effervescents. L'hydromorphie peut apparaître sous la forme d'horizons rédoxiques entre le labour et l'altération crayeuse (hydromorphie fugace liée à l'infiltration lente dans la matrice argileuse).



Figure 8: Fosse 5 - UTS 2

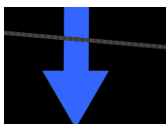
Analyse agronomique de l'UTS 2

Il s'agit d'un sol à faible potentiel de rendement, présentant une très faible réserve utile (inférieur à 80 mm), une grande sensibilité au déficit hydrique.

Analyse agro-environnementale

Cette unité de sol présente une situation à risque vis-à-vis du lessivage de l'azote.

Une gestion azotée pilotée doit permettre la maîtrise d'un lessivage réduit.



La circulation de l'eau sur ce type de sol est verticale et la vitesse y est rapide.

La réalisation de la fosse a confirmé la description de l'unité 2. La fosse a été réalisée en limite et bas de parcelle ce qui peut expliquer l'apparition de la craie dès les 28 premiers centimètres. La teneur en argile est moins élevée que la moyenne observée sur l'ensemble de cette unité.

4.8 Fosse 6

Sols issus de l'altération de la craie :

UTS 4 : Sols moyennement superficiels argileux ou argilo-limoneux, reposant sur la craie plus ou moins altérée entre 0,70 m et 1,20 m de profondeur. La matrice argileuse est non carbonatée.



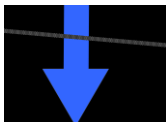
La réalisation de la fosse confirme la description de l'unité 4, et a surtout permis de confirmer son hétérogénéité et sa complexité. Au sein de la même fosse, la description pouvait être relativement différente en fonction de la face de profil étudiée. Il est à noter que cette parcelle a fait l'objet d'une déforestation et a également subi des remaniements lors des bombardements.

Figure 9: Fosse 6 – UTS 4

Analyse agronomique de l'UTS 4

Il s'agit d'un sol à potentiel de rendement modéré, présentant une réserve utile satisfaisante (supérieure à 120 mm) et un enracinement pouvant être contrarié par la présence d'éléments grossiers (Silex) à faible profondeur. Les teneurs en argile peuvent être élevées (>60%) rendant le travail du sol compliqué.

Analyse agro-environnementale



La circulation de l'eau doit se faire selon des passages préférentiels, circulant des horizons quasi-imperméables (Argile) vers les horizons plus crayeux ; cette circulation peut alors être hypodermique avant d'atteindre une zone perméable. Des infiltrations rapides peuvent se produire l'été dans le cas de phénomène de fentes de retraits des argiles.

4.9 Fosse 7

Sols issus de l'argile à silex

UTS 6 : Sols argileux fortement hydromorphes (hydromorphie marquée – g – apparaissant avant 0,50 m de profondeur), caractérisés par un labour généralement limono-argileux reposant sur une argile parfois limoneuse. Parfois la présence de sable induit des horizons argilo-sableux ou argilo-limono-sableux en milieu de sondage ou en seconde partie de sondage. Ces sols ont une charge faible à moyenne en graviers/cailloux de silex, impliquant souvent un arrêt-tarière au-delà de 0,60 m de profondeur (généralement 0,80 à 1,00m).



La réalisation de la fosse confirme la description de l'unité 6.

La présence de sable a été décelée sur l'ensemble du profil, ainsi qu'un banc de silex localisé à +/- 1m de profondeur.

Des tâches d'oxydo-réductions sont présentes sur l'ensemble du profil en dessous de l'horizon labouré.

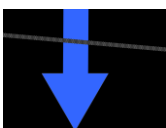
Figure 10: Fosse 7 – UTS 6

Analyse agronomique de l'UTS 6

Il s'agit d'un sol avec bon potentiel de rendement, présentant une excellente réserve utile (supérieure à 200 mm). L'enracinement ne doit pas poser de problème même si la présence de silex pourrait le perturber.

La teneur importante en argile explique les nombreuses taches d'hydromorphies ; il s'agit d'un engorgement temporaire (hivernal) ne perturbant pas l'implantation et le développement de la culture.

Analyse agro-environnementale



Bien que ce profil présente des horizons hydromorphes, la circulation de l'eau est probablement ralentie mais reste verticale. La texture de surface n'est pas battante, le ruissellement dépendra donc de la pente et de la compaction du sol de surface.

4.10 Fosse 8

Sols issus de l'altération de la craie

UTS 3 : Sols moyennement superficiels non hydromorphes, limoneux à limono-argileux, carbonatés, d'une épaisseur comprise entre 0,70 m et 1,20 m (généralement 0,80 à 1,00 m) reposant sur la craie plus ou moins altérée. Souvent, quelques graviers et/ou cailloux de silex sont présents.



La réalisation de la fosse confirme la description de l'unité 3.

Les graviers de craie apparaissent après les 80 premiers centimètres et la roche mère (craie) à 1.10m.

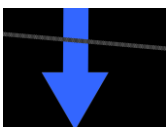
Figure 11: Fosse 8 - UTS 3

Analyse agronomique de l'UTS 6

Il s'agit d'un sol avec bon potentiel de rendement, présentant une réserve utile correcte (avoisinant les 140-150mm) bien que pouvant être limitée en cas de déficit hydrique prolongé. L'enracinement est limité en dessous de 70cm.

Le profil est sain, le drainage excellent compte tenu de la macroporosité liée à la présence d'éléments grossiers.

Analyse agro-environnementale



La fertilisation sur ce type d'unité de sol doit être particulièrement raisonnée, pilotée. Le mode de transfert se réalise exclusivement à la verticale et peut être rapide en dessous des 70cm. Peu de traces d'enracinement à cette profondeur ayant été observés, les intrants en excès sont susceptibles de lessiver.

Note quant à l'appréciation des éléments grossiers présents dans les sols

Classes granulométriques - Définition des termes utilisés :

Graviers : taille comprise entre 2 mm et 2 cm.

Cailloux : taille comprise entre 2 cm et 6 cm.

Notation de la charge en graviers/cailloux de silex :

Charge faible : de 1 à 10 %

Charge moyenne : de 10 à 20 %

Charge forte : supérieure à 20 %

Notation de la charge en graviers/cailloux de craie :

Charge faible : de 1 à 20 %

Charge moyenne : de 20 à 40 %

Charge forte : supérieure à 40 %

Annexe

Annexe 1 : Description Donesol de la fosse 1

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

STIPA 2000 - U.M.R. Sol et Environnement - INRA Montpellier

n°profil Etude Auteur Date Chargé d'étude 1

Longitude Latitude Commune 1

Antécédents climatiques

Durée 1_ les jours précédents
 2_ les semaines précédentes

Nature 1_ pluie
 2_ neige
 3_ gel
 4_ temps ensoleillé
 5_ temps sec
 6_ sécheresse
 7_ gel
 8_ vent
 9_ temps variable

Intensité 1_ d'intensité faible
 2_ d'intensité moyenne
 3_ d'intensité forte

Végétation

BLÉ

Géologie

Organisation Géologique Profil morphologique
 1 Profil lithologique
 3 Profil pédologique

Nom roches dominantes:

Etages géologiques:

Classe matériau 1 Roches ou matériaux non identifiés
 2 Roches ignées
 3 Roches volcaniques massives
 4 Roches volcaniques pyroclastiques
 5 Roches métamorphiques
 6 Roches sédimentaires cohérentes riches en carbonates et/ ou magnésite
 7 Roches sédimentaires cohérentes calcaires
 8 Roches sédimentaires cohérentes silico-alumineuses
 9 Roches salines
 10 Roches phosphatées
 11 Roches sédimentaires argiles et aluminieuses
 12 Roches sédimentaires carbonées
 13 Roches sédimentaires meubles
 14 Roches sédimentaires meubles carbonatées
 99 Autres roches

Résistance 1 Peu résistante
 2 Résistante
 3 Très résistante

Liège 1 Horizontal
 2 Vertical
 3 Oblique

Désagrégation 0 Non désagrégée
 1 Peu désagrégée
 2 Désagrégée
 3 Très désagrégée

Altération 0 Non altérée
 1 Peu altérée
 2 Altérée
 3 Très altérée

Hydrologie

Régime Submersion 0 Apatement, jamais submergé
 1 Submergé de manière saisonnière
 2 Submergé chaque jour
 3 Submergé en permanence

Régime Hydrique 1 Sature en permanence
 2 Sature chaque jour
 3 Sature de manière saisonnière
 4 Sature de manière permanente
 5 Continuellement sec
 6 Continuellement sec

Excès d'eau 0 Sans excès d'eau
 1 Nappe perche temporaire
 2 Inhibition capillaire
 3 Nappe (souterraine) libre
 4 Submersion (éboulements, marées)
 5 Submersion (souterraine) captive
 6 Submersion (souterraine) captives et sources
 7 Stationation de surface

Origine 1 Non identifiée
 2 Pluie des régions
 3 Pluie des régions
 4 Addition d'eau d'origine externe
 5 Eau essentiellement d'origine externe

Drainage naturel 1 Drainage excessif
 2 Drainage modéré
 3 Drainage modéré
 4 Drainage imparfait
 5 Drainage faible
 6 Drainage assez pauvre
 7 Drainage pauvre
 8 Drainage très pauvre
 9 Submergé

Profondeur actuelle de la nappe (cm) Niveau max supposé de la nappe (cm)

Erosion

0 Non érosion bilatère
 1 Bilatère
 2 Erosion nette
 3 Erosion nette

Erosion latérale (profondeur < 25cm)
 4 Erosion latérale (profondeur > 25cm)
 5 Erosion latérale (profondeur > 25cm)
 6 Débris de matériaux grossiers (sables, graviers, cailloux...)
 7 Débris de matériaux fins (limons, argiles)

Geomorphologie

Code forme Pente (en %) Exposition (voir glossaire)

Morphologie locale 3
 1 Sur une bosse
 2 Dans un creux
 3 Sur une pente régulière
 4 Sur un replat

Situation dans le versant 5
 1 Au bas du versant
 2 Au tiers inférieur du versant
 3 A mi-hauteur du versant
 4 Au tiers supérieur du versant
 5 Au sommet du versant

Situation / parcelle 4
 1 Près de la limite de la parcelle
 2 Au centre de la parcelle
 3 En haut de la parcelle
 4 Au bas de la parcelle

n° profil Etude 2

Profondeurs

sommet en cm		base	
1	0	30	31
2	30	31	35
3	35	38	35
4	35	35	32
5	35	35	35
6	35	35	35

↑ N° de l'horizon Min Mm Max

Matières Organiques

Abondance

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Absente
1 Faible (<1%)
2 Moyenne (1 à 4%)
3 Assez forte (4 à 10%)
4 Forte (10 à 20%)
5 Très forte (20 à 30%)
6 Extrêmement forte (>30%)

Alteration

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Non altérées
1 Faiblement altérées
2 Altérées
3 Très altérées

Fragmentation

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Non fragmentées
1 Peu fragmentées
2 Fragmentées
3 Très fragmentées
4 Restes invisibles

Texture

Texture

1	L
2	LA
3	L
4	L
5	LL
6	LL

Taille du sable

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

1 fin (0,05 à 0,10 mm)
2 moyen (0,1 à 0,2 mm)
3 grossier (0,2 à 2 mm)

Effervescence

Intensité (HCl 1/5)

1	0
2	0
3	0
4	1
5	2
6	3

0 Nulle
1 Faible
2 Modérée
3 Forte
4 Extrêmement forte

Localisation

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

1 Généralisée
2 Localisée à la matrice
3 Localisée au squelette
4 Localisée aux el. Secondaires

Limites

Transition ou épaisseur de la limite en cm

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

1 régulière
2 ondulée
3 irrégulière ou glossique
4 interrompue

Propriétés Mécaniques

Plasticité si très humide

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Non plastique
1 Peu plastique
2 Plastique
3 Très plastique

Adhésivité si humide

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Non collant
1 Peu collant
2 Collant
3 Très collant

Fermeté si humide

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Pas de fermeté
1 Très peu ferme
2 Peu ferme
3 Ferme
4 Très ferme
5 Extrêmement ferme

Durété si sec

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Pas de durété
1 Très peu dur
2 Legerement dur
3 Dur
4 Très dur
5 Extrêmement dur

Adhésivité si sec

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Non friable
1 Peu friable
2 Friable
3 Très friable

Fragilité si sec

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Non friable
1 Peu friable
2 Friable
3 Très friable

Structures

Type (A,B)

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

0 Continue ou massive
1 Particulaire
2 Lamellaire
3 Squameuse
4 Prismatique
5 En colonnes
6 Physique angulaire
7 Physique subangulaire
8 Cubique
9 En plans obliques
10 En fuseaux
11 Grume
12 Finity ou microgrammeuse
13 Enroulée
14 Fibreuse
15 Feuilletée
16 Coprogyne
17 Lithique ou lithologique

Taille (A, B) (en mm)

1	15
2	15
3	30
4	5-10
5	5
6	6

Netteté (A, B)

1	2
2	3
3	3
4	1
5	2
6	2

1 Faible
2 Modérée
3 Forte

Relation entre Struct. (A et B)

1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

1 et sur structure
2 et sous structure
3 juxtaposée à une structure
4 mélangée à une structure

Humidité

Humidité

1	2
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

1 Sec
2 Frais
3 Humide
4 Très humide
5 Saturé
6 Noyé

n°profil Etude

3

Couleur

de l'horizon

1	<input type="text" value="10YR 4/3"/>
2	<input type="text" value="10YR 4/4"/>
3	<input type="text" value="10YR 4/4"/>
4	<input type="text" value="10YR 4/6"/>
5	<input type="text" value="10YR 5/4"/>
6	<input type="text" value=""/>

A = Oxydation B = Réduction C = Dégradation ou autres *

Abondance en surface (A,B et C)

1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="3"/>
2	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

0 Pas de taches
1 Très peu nombreuses (< 2%)
2 Peu nombreuses (2,5 à 5%)
3 Assez nombreuses (5 à 15%)
4 Nombreuses (15 à 40%)
5 Très nombreuses (40 à 80%)
6 Dominantes (plus de 80%)

Dimension (A,B et C)

1	<input type="text" value="2"/>
2	<input type="text" value="3"/>
3	<input type="text" value="2"/>
4	<input type="text" value="2"/>
5	<input type="text" value="2"/>
6	<input type="text" value="2"/>

1 Extrêmement fines (< 1 mm)
2 Très fines (1 à 2 mm)
3 Fines (2 à 6 mm)
4 Moyennes (6 à 20 mm)
5 Nettes (2 à 0,5 mm)
6 Très grossières (> 60 mm)

Netteté des limites (A,B et C)

1	<input type="text" value="2"/>
2	<input type="text" value="2"/>
3	<input type="text" value="2"/>
4	<input type="text" value="2"/>
5	<input type="text" value="2"/>
6	<input type="text" value="2"/>

1 Peu nettes (> 2 mm)
2 Nettes (2 à 0,5 mm)
3 Très nettes (< 0,5 mm)

Contraste (A,B et C)

1	<input type="text" value="2"/>
2	<input type="text" value="2"/>
3	<input type="text" value="2"/>
4	<input type="text" value="2"/>
5	<input type="text" value="2"/>
6	<input type="text" value="2"/>

1 Peu contrastées
2 Contrastées
3 Très contrastées

Distribution (A,B et C)

1	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
2	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
3	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
4	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
5	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
6	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

1 Dans la matrice
2 Sur les faces des agrégats
3 Autour des pores
4 Sur les faces des agrégats
5 Autour des éléments grossiers
6 En remplissage de fissures
7 Sans relation avec les autres caractéristiques

Forme (A,B et C)

1	<input type="text" value="2"/>
2	<input type="text" value="2"/>
3	<input type="text" value="2"/>
4	<input type="text" value="2"/>
5	<input type="text" value="2"/>
6	<input type="text" value="2"/>

1 Irégulières
2 Arrondies
3 Horizontales
4 En traînées ou bandes verticales
5 En traînées ou bandes obliques
6 En traînées ou bandes orthogonales
7 En traînées, quelconques

Couleur (A,B et C)

1	<input type="text" value="5YR 5/8"/>
2	<input type="text" value="5YR 5/8"/>
3	<input type="text" value="5YR 5/8"/>
4	<input type="text" value="5YR 5/8"/>
5	<input type="text" value="5YR 5/8"/>
6	<input type="text" value="5YR 5/8"/>

Couleur (A,B et C)

1	<input type="text" value="10YR 6/4"/>
2	<input type="text" value="10YR 6/4"/>
3	<input type="text" value="10YR 6/4"/>
4	<input type="text" value="10YR 6/4"/>
5	<input type="text" value="10YR 6/4"/>
6	<input type="text" value="10YR 6/4"/>

* nature :

Traces d'activités

Abondance

1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

0 Absentes
1 Peu nombreuses
2 Nombreuses
3 Très nombreuses

Nature

1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

1 Coprolites
2 Uriniles
3 Coprolites
4 Racines décomposées
5 Galeries (de rongeurs)
6 Krotovines
7 Débris d'os
8 Poils
9 Charbon de bois
10 Sous-solage
11 Fumier
12 Fientes de volaille
13 Fientes de porc
14 Traces de drainage
15 Autres traces d'activité

Revêtements

Nature (A et B)

1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

0 Pas de revêtements
1 Non identifiés
2 Argileux
3 Argileux avec sesquioxides
4 Origano-argileux
5 Autres types

Localisation (A et B)

1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

1 Associés aux vides
2 Associés aux agrégats
3 Sur les faces horizontales
4 Sur les faces verticales
5 Sur le squelette

Salinité

1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

0 Non salé (0 à mS/cm)
1 Légèrement salé (2 à 4 mS/cm)
2 Moyennement salé (4 à 8 mS/cm)
3 Salé (8 à 16 mS/cm)
4 Très salé (> 16 mS/cm)

Aspect

1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
5	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
6	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

0 Pas de particularité
1 Absence de particularité
2 Particularité bien individualisée
3 Facies lustrants non identifiés

Couleur

1	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
2	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
3	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
4	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
5	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>
6	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>

Recouvrement (A et B)

1	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>
2	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>
3	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>
4	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>
5	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>
6	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>

1 Très peu nombreux (< 5% de recouvrement)
2 Peu nombreux (5 à 25% de recouvrement)
3 Nombreux (25 à 50% de recouvrement)
4 Très nombreux (50 à 75% de recouvrement)
5 Généralisés (> à 75% de recouvrement)

Épaisseur (A et B)

1	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
2	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
3	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
4	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
5	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
6	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

1 Fines (< à 0,05 mm)
2 Moyennes (0,05 à 0,5 mm)
3 Épaisses (> à 0,5 mm)

n°profil Etude

Cristaux

Abondance en surface	
1	0 Pas de cristaux
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 60%)
6	6 Dominants (plus de 60%)

Dimensions	
1	1 Extrêmement fins
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 5 mm)
4	4 Moyens (5 à 15 mm)
5	5 Gros (15 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

Nature	
1	1 Non identifiée
2	2 Carbone de calcium
3	3 Gypse
4	4 NaCl
5	5 Jarsite
6	6

Modules / Concrétions

Abondance	
1	0 Pas de nodules
2	1 Peu nombreux (< 3%)
3	2 Peu nombreux (3 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 80%)
6	6 Dominants (plus de 80%)

Nature	
1	1 Non identifiée
2	2 Carbonate
3	3 Siliceuse
4	4 Carbonate et siliceuse
5	5 Sesquioxides
6	6 Ferromagnésique
7	7 Ferromagnésique
8	8 Alumineuse
9	9 Autre

Dureté	
1	1 Très tendres
2	2 Tendres
3	3 Durs
4	4 Très durs
5	5
6	6

Dimensions	
1	1 Extrêmement fins (< 1 mm)
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 6 mm)
4	4 Moyens (6 à 30 mm)
5	5 Gros (30 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

Forme	
1	1 Arrondis
2	2 Nodules
3	3 Aplatis
4	4 Irréguliers
5	5
6	6

Type	
1	1 Nodule peu indurés
2	2 Nodules
3	3 Concrétions peu indurées
4	4 Concrétions
5	5
6	6

Ciments

Nature	
1	0 Pas de ciment
2	1 Non identifié
3	2 Carbonaté
4	3 Siliceux et siliceux
5	4 Fermeuse
6	5 Secourvoléique
7	6 Humifère
8	7 Autre

Épaisseur	
1	1 Fins (< 10 mm)
2	2 Moyennement épais
3	3 Épais (> 50 mm)
4	4
5	5
6	6

Dureté	
1	1 Très tendres
2	2 Tendres
3	3 Durs
4	4 Très durs
5	5
6	6

Structure	
1	0 Aucune
2	1 Lamellaire
3	2 Vésiculaire
4	3 Psyllorique
5	4 Nodulaire
6	5
6	6

Contact	
1	0 Pas de modification de la matrice
2	1 Désintégration déferfriqueuse
3	2 Désintégration déferfriqueuse
4	3 Concentration carbonatée
5	4 Concentration ferrugineuse
6	5 Concentration argileuse
6	6 Concentration saline

Racines

Abondance	
1	0 Pas de racine
2	1 Très peu nombreuses (< 8/dm ²)
3	2 Peu nombreuses (8 à 16/dm ²)
4	3 Nombreuses (16 à 32/dm ²)
5	4 Très nombreuses (> 32/dm ²)
6	5
6	6

Localisation	
1	1 dans la masse
2	2 dans les agrégats
3	3 entre les fissures
4	4 dans les chenaux
5	5 dans les zones compactes
6	6 évitant les zones compactes

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque
5	5
6	6

Etat sanitaire	
1	1 Saines
2	2 Nécessées
3	3 Pourries
4	4 Gaiuses de rouille
5	5
6	6

Forme	
1	1 normales
2	2 incurvées
3	3 en poisson
4	4 en fil de fer
5	5 amples
6	6 changement de section

Dimensions	
1	1 très fins (d < 0,5 mm)
2	2 fins (0,5 à 2 mm)
3	3 moyens (2 à 5 mm)
4	4 larges (d > 5 mm)
5	5
6	6

Abondance	
1	1 0 pas de pores visibles
2	2 peu nombreux (1 à 50/dm ²)
3	3 assez nombreux (50 à 200)
4	4 nombreux (> 200/dm ²)
5	5
6	6

Disposition	
1	1 0 pas de lentes
2	2 débutant dans l'horizon
3	3 traversant l'horizon
4	4 se terminant dans l'horizon
5	5
6	6

Espacement (cm)	
1	1 1
2	2 2
3	3 3
4	4 4
5	5 5
6	6 6

Densité	
1	1 0 pas de conduits
2	2 peu nombreux (1-3/dm ²)
3	3 nombreux (3-5/dm ²)
4	4 très nombreux (> 5/dm ²)
5	5
6	6

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque
5	5
6	6

Aspect	
1	1 0 Ni colmatés ni revêtus
2	2 Colmatés
3	3 Revêtus
4	4
5	5
6	6

Forme	
1	1 normales
2	2 incurvées
3	3 en poisson
4	4 en fil de fer
5	5 amples
6	6 changement de section

Pénétration	
1	0 non identifiée
2	1 non devers
3	2 gènes par un obstacle de nature physique
4	3 gènes par un obstacle de nature chimique
5	4 gènes par un obstacle de nature chimique
6	5 gènes par un obstacle de nature chimique

Porosité Globale	
1	0 non identifiée
2	1 non poreux (< 2%)
3	2 peu poreux (2 à 5%)
4	3 moyennement poreux (5 à 15%)
5	4 poreux (15 à 40%)
6	5 très poreux (> 40%)

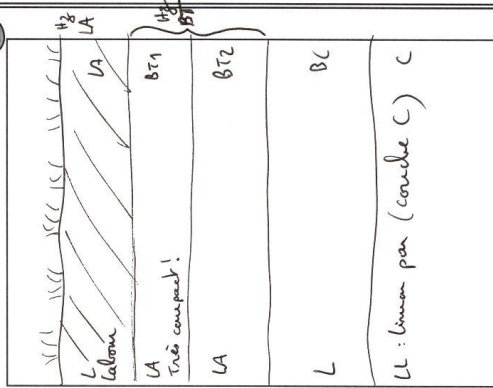
Saisie des horizons du profil

(compatible DONESOL 2)

RMOS F 04 0403

N° Profil Etude

5 Schéma du profil



Éléments grossiers

Abondance % volume

1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

% EG (A)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

% EG (B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Forme (A et B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Taille (A et B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Réaction (A et B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Nature (A et B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Transformation (A et B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Orientation globale (A et B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Type d'horizon H

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Type d'horizon

Type d'horizon O

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Code de l'horizon

1	LA
2	BT1
3	BT2
4	BC
5	C
6	

Commentaires : sur les différents horizons

1	
2	
3	
4	
5	
6	

N° Profil Etude

LA / DT

Sequence Horizons

6

Profil synthétique

* Cette case est à cocher dans le cas d'une discontinuité observée dans le profil (pour la variable en question).

Code classification 1_classification française
 2_classification allemande
 3_classification britannique
 4_classification britannique
 5_classification canadienne
 6_classification I.A.O.
 7_classification U.S.D.A.
 7_Referentiel Pédologique 1995

WRB

Nom

Charge E.C.

Texture 1_Sableuse
 2_Limonieuse
 3_Artilieuse
 4_Equilibree

Couleur 1_Rouge
 2_Rouge-brun
 3_Brun-rouge
 4_Brun
 5_Brun-jaune
 6_Jaune
 7_Jaune-vert
 8_Vert
 9_Bleu
 10_Gris
 11_Noir
 12_Blanc

Structure 0_Non structurée
 1_Peu structurée
 2_Structurée
 3_Fortement structurée

Salinité 0_Non salé (0 à 4 mS/cm)
 1_Légerement salé (4 à 8 mS/cm)
 2_Mouvement salé (4 à 8 mS/cm)
 3_Salé (8 à 16 mS/cm)
 4_Tres salé (>16 mS/cm)

Racines 1_pau de racines
 2_nombreuses racines
 3_tres nombreuses racines

Distribution Racines 1_verticalement réguliere
 2_subsuperficielle
 3_subsuperficielle

Humus 1_Mul
 2_Hydomull
 3_Moder
 4_Hydomoder
 5_Mor
 6_Amor
 7_Amor
 8_Tourbe

Compacité 1_Meuble
 2_Peu compact
 3_Compact
 4_Tres compact

Effervescence 0_Nulle
 1_Faible
 2_Moderée
 3_Forte
 4_Extrêmement forte

Perméabilité 1_Imperméable (< 0,036 cm/h)
 2_Peu perméable (0,036 à 0,36 cm/h)
 3_Moderément perméable (0,36 à 3,6 cm/h)
 4_Perméable (3,6 à 36 cm/h)
 5_Tres perméable (> 36 cm/h)

Différenciations (4 types possibles)
 1_2 Non différencié
 2_8 Différencié par la texture
 3_7 Différencié par la charge en éléments grossiers
 4_7 Différencié par l'effervescence
 5_7 Différencié par la salure
 6_7 Différencié par la couleur
 7_7 Différencié par la structure
 8_7 Différencié par la perméabilité
 9_7 Différencié par la nature du matériau
 10_7 Différencié par le drainage
 11_7 Différencié par les accumulations
 12_7 Différencié par les racines
 13_7 Différencié par les horizons
 14_7 Différencié par les racines
 15_7 Différencié par les faciès culturaux

Discontinuité majeure Fait compaction sous labour (1^{ère} partie BT).

Profondeur (en cm) Conséquence de la discontinuité 1_Obstacle important à la pénétration de l'eau
 2_Obstacle important à la pénétration des racines
 3_Obstacle important au travail du sol
 4_Obstacle important à la remontée capillaire

Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm

Type profil 1_Pas de diazotamme triangulaire
 2_Triangle CCSBM (Belgique)
 3_Triangle USDA, FAO, IRAT
 4_Triangle carte des sols de l'AINSE
 5_Triangle GEPPA
 6_Triangle UK
 7_Triangle ORSTOM
 8_Triangle SOGREAH

Artificialisation 1_Profil artificiellement tronqué
 2_Profil recouvert d'une couche adhésive
 3_Profil artificiel reconstitué de manière à reproduire le sol naturel
 4_Profil reconstitué de manière différente du sol naturel

Intérêt description 1_Profil très intéressant
 2_Profil mouvement intéressant
 3_Profil peu intéressant

Atret description 1_Horizon C attemt
 2_Couche M, R ou D attemt
 3_Nappe attemt
 4_Profondeur suffisante attemt
 5_Autre contrainte

Commentaires

sur le profil : Une gestion agricole raisonnée et doit permettre d'éviter l'embousoyage.

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

Annexe 2 : Description Donesol de la fosse 2

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

n°profil Etude Auteur Date **1**

Longitude Chargé d'étude Commune

Antécédents climatiques

Durée 1_ les jours précédents
 2_ les semaines précédentes

Nature 1_ pluie
 2_ neige
 3_ humidité
 4_ temps ensoleillé
 5_ temps sec
 6_ humidité
 7_ gel
 8_ vent
 9_ temps variable

Intensité 1_ d'intensité faible
 2_ d'intensité moyenne
 3_ d'intensité forte

Géologie

Organisation Géologique
 Profil morphologique
 Profil bibliographique
 Profil photographique

Nom roches dominantes:

Etages géologiques:

Classe matériau
 1_ Roches ou matériaux non identifiés
 2_ Roches capillaires grenues
 3_ Roches volcaniques pyroclastiques
 4_ Roches volcaniques porphyriques
 5_ Roches métamorphiques
 6_ Roches sédimentaires cohérentes riches en carbonates et / ou magrésite
 7_ Roches sédimentaires cohérentes calcaires
 8_ Roches sédimentaires cohérentes silico-alumineuses
 9_ Roches sables
 10_ Roches phosphatées
 11_ Roches sédimentaires ferrifères et alumineuses
 12_ Roches sédimentaires carbonées
 13_ Roches sédimentaires meubles
 14_ Roches sédimentaires meubles carbonatées
 99_ Autres roches

Resistance
 1_ Peu résistante
 2_ Résistante
 3_ Très résistante

Litage
 1_ Horizontal
 2_ Vertical
 3_ Oblique

Désagrégation
 0_ Non désagrégée
 1_ Peu désagrégée
 2_ Moyennement désagrégée
 3_ Très désagrégée

Altération
 0_ Non altérée
 1_ Peu altérée
 2_ Moyennement altérée
 3_ Très altérée

Végétation

orge de printemps

0_ Non érosionnifié
 1_ Hère
 2_ Erosionnifié
 3_ Erosionnifié
 4_ Erosionnifié (profond < 5cm)
 5_ Erosionnifié (profond > 5cm)
 6_ Dips de matériaux grossiers (sables, graviers, cailloux...)
 7_ Dips de matériaux fins (limons, argiles)

Hydrologie

Régime 5_ Saturé en permanence
 6_ Appareusement saturé
 7_ Saturé de manière saisonnière
 8_ Saturé de manière saisonnière
 9_ Saturé de manière permanente
 10_ Saturé de manière permanente

Excès d'eau 0_ Sans excès d'eau
 1_ Sans excès d'eau éphémère
 2_ Infiltration capillaire
 3_ Nappe (souterraine) libre
 4_ Nappe (souterraine) captive
 5_ Submersion (débordements, mares)
 6_ Résurgences sources et sources
 7_ Stagnation de surface

Origine
 1_ Non identifiée
 2_ Pluie
 3_ Fronte des neiges
 4_ Addition d'eau d'origine externe
 5_ Eau essentiellement d'origine externe

Drainage naturel
 1_ Drainage excessif
 2_ Drainage favorable
 3_ Drainage modéré
 4_ Drainage fait
 5_ Drainage faible
 6_ Drainage assez pauvre
 7_ Drainage pauvre
 8_ Drainage très pauvre
 9_ Submergé

Profondeur actuelle de la nappe (cm) Niveau max supposé de la nappe (cm)

Erosion

0_ Non érosionnifié
 1_ Hère
 2_ Erosionnifié
 3_ Erosionnifié
 4_ Erosionnifié (profond < 5cm)
 5_ Erosionnifié (profond > 5cm)
 6_ Dips de matériaux grossiers (sables, graviers, cailloux...)
 7_ Dips de matériaux fins (limons, argiles)

Geomorphologie

Code forme
 (voir glossaire)

Pente (en %) Exposition

Morphologie locale
 1_ Sur une bosse
 2_ Dans un creux
 3_ Sur une pente régulière
 4_ Sur un replat

Situation dans le versant
 1_ Au bas du versant
 2_ Au tiers inférieur du versant
 3_ Au milieu du versant
 4_ Au tiers supérieur du versant
 5_ Au sommet du versant

Situation / plantation
 1_ Entre deux rangées d'arbres
 2_ Sur une rangée d'arbres
 3_ Près d'un arbre

Situation / parcelle
 1_ Près de la limite de la parcelle
 2_ Au centre de la parcelle
 3_ En haut de la parcelle
 4_ Au bas de la parcelle

n°profil **C-2** Etude **NITRAEP**

2

Profondeurs

1	0	35	66	66	124	124	Max
2	35	64	116	124	156	156	Min
3	64	66	124	156			
4	116	124					
5							
6							

↑ Min ↓ Max

↑ sommet ↓ base

Texture

1	L					
2	L					
3	L-L					
4	L-L					
5	L-L					
6	L-L					

Taille du sable

1						
2						
3						
4						
5						
6						

1. fin (0.05 à 0.10 mm)
2. moyen (0.1 à 0.2 mm)
3. grossier (0.2 à 2 mm)

Matières Organiques

Abondance

1	3
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

0 Absente
1 Indeterminée
2 Faible (< 1%)
3 Assez forte (4 à 10%)
4 Forte (10 à 20%)
5 Très forte (20 à 30%)
6 Extrêmement forte (>30%)

Altération

1	1
2	
3	
4	
5	
6	

0 Non altérées
1 Faiblement altérées
2 Altérées
3 Très altérées

Structures

Type (A,B)

1	6	6
2	6	6
3	6	6
4	6	6
5	6	6
6	6	6

0 Continus ou massifs
1 Poutres
2 Laminaire
3 Squameuse
4 Prismatique
5 Colonnes
6 Polycolonne
7 Polycolonne angulaire
8 Colonne
9 En plans obliques
10 En massifs
11 En plaques
12 Fluffy ou microgranuleux
13 Granuleux
14 Fibreuse
15 Fongique
16 Fongique
17 Lithique ou lithologique

Taille (A,B) (en mm)

1	25	8
2	35	10
3	35	10
4	35	10
5	35	10
6	35	10

Limites

Transition ou épaisseur de la limite en cm

1	1
2	1
3	2
4	2
5	2
6	2

Régularité

1	1
2	1
3	2
4	2
5	2
6	2

1 régulière
2 ondulée
3 irrégulière ou glossique
4 interrompue

Effervescence

Intensité (HCl 1/5)

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Nulle
1 Faible
2 Modérée
3 Forte
4 Extrêmement forte

Localisation

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

1 Généralisée
2 Localisée à la matrice
3 Localisée au squelette
4 Localisée aux él. Secondaires

Fermeture

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non fragmentées
1 Peu fragmentées
2 Très fragmentées
3 Très fragmentées
4 Restes invisibles

Propriétés Mécaniques

Plasticité si très humide

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non plastique
1 Peu plastique
2 Plastique
3 Très plastique

Adhésivité si humide

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non collant
1 Peu collant
2 Collant
3 Très collant

Fermeté si humide

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Pas de fermeté
1 Très peu ferme
2 Peu ferme
3 Ferme
4 Très ferme
5 Extrêmement ferme

Durété si sec

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Pas de dureté
1 Très peu dur
2 Légèrement dur
3 Dur
4 Très dur
5 Extrêmement dur

Netteté (A,B)

1	2	3
2	3	3
3	3	3
4	3	3
5	3	3
6	3	3

1 Faible
2 Modérée
3 Forte

Humidité

1	2
2	2
3	3
4	3
5	3
6	3

1 Sec
2 Frais
3 Humide
4 Très humide
5 Saturé
6 Noyé

Friabilité si frais

1	2
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non friable
1 Peu friable
2 Friable
3 Très friable

Fragilité si sec

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non fragile
1 Peu fragile
2 Fragile
3 Très fragile

Relation entre Struct. (A et B)

1	2
2	2
3	2
4	2
5	2
6	2

1 et sur structure
2 et sous structure
3 juxtaposée à une structure
4 mélangée à une structure

Compacité

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

1 Meuble
2 Peu compact
3 Compact
4 Très compact

n°profil **F.2** Etude **NITRAEP** 3

Couleur de l'horizon
 1. **Beige foncé**
 2. **Brun**
 3. **Brun**
 4. **Rouge**
 5.
 6.
 10/14 5/4

Abondance en surface (A, B et C)
 0. Pas de taches
 1. Peu nombreuses (< 5 %)
 2. Assez nombreuses (5 à 15 %)
 3. Beaucoup (15 à 40 %)
 4. Très nombreuses (40 à 80 %)
 5. Dominantes (plus de 80 %)
 6.
 A B C

Dimension (A, B et C)
 1. Extrêmement fines (< 1 mm)
 2. Très fines (1 à 2 mm)
 3. Fines (2 à 6 mm)
 4. Moyennes (6 à 20 mm)
 5. Grosses (20 à 60 mm)
 6. Très grosses (> 60 mm)
 A B C

Forme (A, B et C)
 1. Irréguliers
 2. Arrondis
 3. En tranches ou bandes horizontales
 4. En tranches ou bandes verticales
 5. En tranches ou bandes obliques
 6. En tranches ou bandes orthogonales
 7. En tranches quelconques
 A B C

Distribution (A, B et C)
 1. Dans la matrice
 2. Sur les faces des agrégats
 3. Autour des pores
 4. Autour des racines
 5. Dans les fissures
 6. En remplissage de fissures
 7. Sans relation avec les autres caractères
 A B C

Contraste (A, B et C)
 1. Peu contrastés
 2. Contrastés
 3. Très contrastés
 A B C

Netteté des limites (A, B et C)
 1. Peu nettes (< 2 mm)
 2. Nettes (2 à 0,5 mm)
 3. Très nettes (< 0,5 mm)
 A B C

Couleur (A, B et C)
 1. **Beige/Blanc**
 2.
 3.
 4.
 5.
 6.
 A B C

Salinité
 0. Non salé (0 à mS/cm)
 1. Légèrement salé (2 à 4 mS/cm)
 2. Moyennement salé (4 à 8 mS/cm)
 3. Salé (8 à 16 mS/cm)
 4. Très salé (> 16 mS/cm)
 A B C

Localisation (A et B)
 1. Associés aux vides
 2. Sur les faces latérales
 3. Sur les faces verticales
 4. Sur les faces horizontales
 5. Sur le squelette
 6.
 A B C

Épaisseur (A et B)
 1. Fins (< à 0,05 mm)
 2. Moyens (0,05 à 0,5 mm)
 3. Épais (> à 0,5 mm)
 A B C

Recoouvrement (A et B)
 1. Très peu nombreux (< 5 % de recouvrement)
 2. Peu nombreux (5 à 25 % de recouvrement)
 3. Nombreux (25 à 50 % de recouvrement)
 4. Très nombreux (50 à 75 % de recouvrement)
 5. Généralisé (> à 75 % de recouvrement)
 A B C

Nature (A et B)
 0. Pas de recouvrement
 1. Non identifiés
 2. Plantes
 3. Plantes avec squelette
 4. Organes racinaires
 5. Autres types
 A B C

Aspect
 0. Pas de particularité
 1. Faces de glissement
 2. Revoilements bien individualisés
 3. Faces latérales non individualisées
 6.
 A B C

Couleur
 1. **blanc**
 2.
 3.
 4.
 5.
 6.
 A B C

Abondance
 0. Absentes
 1. Peu nombreuses
 2. Nombreuses
 3. Très nombreuses
 4.
 5.
 6.
 A B C

Nature
 1. Coquilles
 2. Tortilles
 3. Coprolithes
 4. Coprolithes fossilisées
 5. Gibres (de rongeurs)
 6. Krotovines
 7. Micellium et amas
 8. Charbon de bois
 9. Sous-solage
 10. Fumier
 11. Fumier
 12. Fumier vert entou
 13. Fumier vert entou
 14. Traces de drainage
 15. Autres traces d'activité
 A B C

Traces d'activités
 * nature : **Dégradation (L beige-blanc)**

n° profil	F.c	Etude	NITRAEP
-----------	-----	-------	---------

<h3>Cristaux</h3>	
Abondance en surface 1 0 Pas de cristaux 2 1 Très peu nombreux (< 2%) 3 2 Peu nombreux (2 à 5%) 4 3 Assez nombreux (5 à 15%) 5 4 Nombreux (15 à 40%) 6 5 Très nombreux (40 à 60%) 7 6 Dominants (plus de 60%)	Nature 1 Non identifié 2 Siliceuse 3 Carbonatée et siliceuse 4 Ferromagnésienne 5 Ferromagnésique 6 Alumineuse 7 Ferromagnésique 8 Autre 9 Autre
Dimensions 1 Extrêmement fins (< 2 nm) 2 Très fins (2 à 5 nm) 3 Fins (5 à 10 nm) 4 Moyens (10 à 20 nm) 5 Gros (20 à 60 nm) 6 Très gros (> 60 nm)	Durété 1 Tendres 2 Durs
<h3>Nodules / Concrétions</h3>	
Abondance 1 0 Pas de nodules 2 1 Très peu nombreux (< 2%) 3 2 Peu nombreux (2 à 5%) 4 3 Assez nombreux (5 à 15%) 5 4 Nombreux (15 à 40%) 6 5 Très nombreux (40 à 60%) 7 6 Dominants (plus de 60%)	Nature 1 Non identifié 2 Siliceuse 3 Carbonatée et siliceuse 4 Ferromagnésienne 5 Ferromagnésique 6 Alumineuse 7 Ferromagnésique 8 Autre 9 Autre
Dimensions 1 Extrêmement fins (< 2 mm) 2 Très fins (1 à 2 mm) 3 Fins (2 à 6 mm) 4 Moyens (6 à 20 mm) 5 Gros (20 à 60 mm) 6 Très gros (> 60 mm)	Type 1 Nodule peu indurés 2 Nodules 3 Concrétions peu indurés 4 Concrétions
<h3>Ciments</h3>	
Nature 1 Non identifié 2 Carbonatée 3 Siliceuse 4 Carbonatée et siliceuse 5 Ferromagnésique 6 Ferromagnésique 7 Ferromagnésique 8 Autre 9 Autre	Épaisseur 1 Fins (< 10 µm) 2 Moyennement épais (10 à 50 µm) 3 Épais (> 50 µm)
Structure 1 Aucune 2 Laminaire 3 Cristalline 4 Pseudocristalline 5 Nodulaire	Régularité 1 Irréguliers 2 Réguliers
Contact 1 Pas de modification de la matrice 2 Concentration non identifiée 3 Décoloration et/ou déminéralisation 4 Concentration ferrique 5 Concentration argileuse 6 Concentration organique 7 Concentration saline	

<h3>Racines</h3>	
Abondance 1 0 Pas de racine 2 1 Très peu nombreuses (< 5/dm ²) 3 2 Peu nombreuses (5 à 10/dm ²) 4 3 Nombreuses (10 à 20/dm ²) 5 4 Très nombreuses (20 à 50/dm ²) 6 5 Très nombreuses (> 50/dm ²)	Localisation 1 dans la masse 2 agrégats 3 entre les agrégats 4 dans les fissures 5 dans les chenaux 6 évitant les zones compactes
Orientation 1 verticale 2 horizontale 3 oblique 4 quelconque	Etat sanitaire 1 Saines 2 Necrosées 3 Pourries 4 Gaiques de rouille
Dimensions 1 Très fines (< 0,5 mm) 2 fines (0,5 à 2 mm) 3 moyennes (2 à 5 mm) 4 grosses (5 à 20 mm) 5 très fines (> 20 mm)	

<h3>Pores de l'agrégat</h3>	
Abondance 1 0 Pas de pores viables 2 1 Peu nombreux (1-50/dm ³) 3 2 Assez nombreux (50-200) 4 3 Nombreux (> 200/dm ³)	Dimensions 1 1 très fins (d < 0,5 mm) 2 2 fins (0,5-2 mm) 3 3 moyens (2-5 mm) 4 4 larges (d > 5 mm)
Disposition 1 0 Pas de fentes 2 1 débarrant dans l'horizon 3 2 traversant l'horizon 4 3 se terminant dans l'horizon	Espacement (cm) 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6
Orientation 1 verticale 2 horizontale 3 oblique 4 quelconque	Aspect 1 0 NI colmatés ni revêtus 2 1 Colmatés 3 2 Revêtus
Porosité Globale 1 0 non identifiée 2 1 non poreux (< 2%) 3 2 peu poreux (2 à 5%) 4 3 moyennement poreux (5 à 15%) 5 4 poreux (15 à 40%) 6 5 très poreux (> 40%)	

<h3>Fentes</h3>	
Abondance 1 0 Pas de fentes 2 1 Peu nombreuses (1-50/dm ²) 3 2 Assez nombreuses (50-200) 4 3 Nombreux (> 200/dm ²)	Dimensions 1 1 très fins (d < 0,5 mm) 2 2 fins (0,5-2 mm) 3 3 moyens (2-5 mm) 4 4 larges (d > 5 mm)
Disposition 1 0 Pas de fentes 2 1 débarrant dans l'horizon 3 2 traversant l'horizon 4 3 se terminant dans l'horizon	Espacement (cm) 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6
Orientation 1 verticale 2 horizontale 3 oblique 4 quelconque	Aspect 1 0 NI colmatés ni revêtus 2 1 Colmatés 3 2 Revêtus
Porosité Globale 1 0 non identifiée 2 1 non poreux (< 2%) 3 2 peu poreux (2 à 5%) 4 3 moyennement poreux (5 à 15%) 5 4 poreux (15 à 40%) 6 5 très poreux (> 40%)	

<h3>Conduits de vers</h3>	
Densité 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6	Orientation 1 1 verticale 2 2 horizontale 3 3 oblique 4 4 quelconque
Forme 1 normales 2 tourmentées 3 en fil de fer 4 amples 5 changement de section	Forme 1 normales 2 tourmentées 3 en fil de fer 4 amples 5 changement de section
Penetration 1 0 non déviés 2 1 déviés 3 2 déviés par un obstacle de nature physique 4 3 déviés par un obstacle de nature chimique	

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

N° profil Etude 5

Eléments grossiers

Abondance % volume		% EG (A)		% EG (B)	
1	2	1	1	1	1
2	3	2	2	2	2
3	4	3	3	3	3
4	5	4	4	4	4
5	6	5	5	5	5
6	7	6	6	6	6

Forme (A et B)		Taille (A et B)		Orientation globale (A et B)	
1	7	1	1	1	4
2	8	2	2	2	4
3	9	3	3	3	4
4	10	4	4	4	4
5	11	5	5	5	4
6	12	6	6	6	4

Transformation (A et B)		Réaction (A et B)	
1	0	1	3
2	0	2	3
3	0	3	3
4	0	4	3
5	0	5	3
6	0	6	3

Nature (A et B)	
1	Si les
2	Si les
3	Si les
4	Si les
5	Si les
6	Si les

Type d'horizon

Type d'horizon O	Type d'horizon H
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Type d'horizon O

- 1_Horizon OLn
- 2_Horizon OLy
- 3_Horizon OLo
- 4_Horizon OFr
- 5_Horizon OFc
- 6_Horizon OFh
- 7_Horizon OFr
- 8_Horizon OFh
- 9_Horizon OFc
- 10_Horizon OLn
- 11_Horizon OLo

Type d'horizon H

- 1_Horizon Hf (fibrique)
- 2_Horizon Hm (messique)
- 3_Horizon Hs (saprique)
- 4_Horizon Ha (Muck)

Code de l'horizon

1	LH
2	Horizon de développement
3	Horizon graveleux
4	
5	
6	

Commentaires : sur les différents horizons

1
 2
 3
 4
 5
 6

Schema du profil

1% graviers de craie
 H30 Compact
 5% graviers de craie
 1% graviers de craie
 1% graviers de craie
 Carbonate
 Accumulation d'argiles en caillots de craie
 Horizon de développement
 Sable : 5 à 10%

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

6

N° profil Etude

Profil synthétique
 * Cette case est à cocher dans le cas d'une discontinuité observée dans le profil (pour la variable en question).

Code classification WRB Séquence Horizons

Code classification française
 1_ classification française
 2_ classification allemande
 3_ classification britannique
 4_ classification canadienne
 5_ classification chinoise
 6_ classification U.S.A.
 7_ Référentiel Pedologique 1995

Code classification française

Charge E.G.
 0 Sans charge (moins de 5% d'él. Gros)
 1 A charge de cailloux
 2 A charge de pierres
 3 A charge de blocs
 4 A charge de graviers et de cailloux
 5 A charge de graviers et de blocs
 6 A charge de pierres et de blocs
 7 A charge de graviers et de blocs
 8 A charge de cailloux et de pierres
 9 A charge de cailloux et de blocs
 10 A charge de pierres et de blocs
 11 A charge de pierres et de blocs de pierres et de blocs

Structure
 0 Non structurée
 1 Peu structurée
 2 Structure
 3 Fortement structurée
 4 Extrêmement forte

Compacité
 0 Meuble
 1 Peu compact
 2 Compact
 3 Très compact
 4 Extrêmement forte

Effervescence
 0 Nulle
 1 Faible
 2 Moyenne
 3 Forte
 4 Extrêmement forte

Perméabilité
 1 Imperméable (< 0,056 cm/h)
 2 Peu perméable (0,056 à 0,36 cm/h)
 3 Moyennement perméable (0,36 à 3,6 cm/h)
 4 Perméable (3,6 à 36 cm/h)
 5 Très perméable (> 36 cm/h)

Différenciations (4 types possibles)
 0 Non différencié
 1 Peu différencié
 2 Différencié par la texture
 3 Différencié par la charge en éléments grossiers
 4 Différencié par la salinité
 5 Différencié par la couleur
 6 Différencié par la structure
 7 Différencié par la compacité
 8 Différencié par la perméabilité
 9 Différencié par la nature du matériau
 10 Différencié par le drainage
 11 Différencié par les accumulations
 12 Différencié par les racines
 13 Différencié par les racines
 14 Différencié par les racines
 15 Différencié par les façons culturales

Discontinuité majeure Humus Type profil Profondeur (en cm) Conséquence de la discontinuité Type profil Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm Inertér description Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm Inertér description Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm Inertér description Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm Inertér description

Artificialisation
 1 Profil artificiellement trouqué
 2 Profil artificiellement trouqué
 3 Profil artificiellement trouqué
 4 Profil recomposé de manière différente du sol naturel

Arrêt description
 1 Horizon C atteint
 2 Couche M, R ou D atteinte
 3 Nappes atteintes
 4 Nappes atteintes
 5 Autre contrainte

Commentaires
 sur le profil :
 Ce profil présente un excellent potentiel agronomique que sans une même prise de vue de l'observateur. Il présente une bonne zone plus compacte pour le labour qui pourrait s'obtenir après une bonne prise de vue de l'observateur.

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

STIPA 2000 - U.M.R. Sol et Environnement - INRA Montpellier

Annexe 3 : Description Donesol de la fosse 3

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

n°profil Etude Auteur Date 1

Longitude: Chargé d'étude:

Latitude:

Commune:

Antécédents climatiques

Durée 1_ les jours précédents
 2_ les semaines précédentes

Nature 1_ pluie
 2_ neige
 3_ humidité
 4_ temps ensoleillé
 5_ temps sec
 6_ gel
 7_ vent
 8_ vent
 9_ temps variable

Intensité 1_ d'intensité faible
 2_ d'intensité moyenne
 3_ d'intensité forte

Géologie

Organisation Géologique

1 Profil monolithique
 2 Profil baltique
 3 Profil polytique

Nom roches dominantes:

Etages géologiques:

Classe matériau

1 Roches ou matériaux non identifiés
 2 Roches cristallines jeunes
 3 Roches volcaniques massives
 4 Roches sédimentaires carbonées
 5 Roches sédimentaires
 6 Roches sédimentaires cohérentes riches en carbonates et / ou magnésie
 7 Roches sédimentaires cohérentes calcaires
 8 Roches sédimentaires cohérentes silico-alumineuses
 9 Roches phosphanées
 10 Roches sédimentaires ferrifères et aluminées
 11 Roches sédimentaires carbonées
 12 Roches sédimentaires meubles
 13 Roches sédimentaires meubles
 14 Autres roches

Résistance

1 Peu résistante
 2 Résistante
 3 Très résistante

Litage

1 Horizontal
 2 Vertical
 3 Oblique

Désagrégation

0 Non désagrégée
 1 Peu désagrégée
 2 Altérée
 3 Très désagrégée

Hydrologie

Régime Hydrique

1 Sature en permanence
 2 Sature chaque jour
 3 Sature de manière saisonnière
 4 Humide en permanence
 5 Sec de manière saisonnière
 6 Continuellement sec

Régime Submersion

0 Apparement jamais submergé
 1 Submersion de manière saisonnière
 2 Submersion de manière permanente
 3 Submergé en permanence

Excès d'eau

0 Sans excès d'eau
 1 Nappe perçue temporaire
 2 Nappe perçue permanente
 3 Inondation capillaire libre
 4 Nappe (souterrain) captive
 5 Submersion (débordements, marnées)
 6 Ressurgences sources et sources
 7 Stagnation de surface

Origine excès eau

1 Non identifiée
 2 Plus de 100 m de pentes
 3 Plus de 1000 m de pentes
 4 Adresse de l'origine externe
 5 Eau essentiellement d'origine externe

Drainage naturel

1 Drainage excessif
 2 Drainage favorable
 3 Drainage modéré
 4 Drainage imparfait
 5 Drainage insuffisant
 6 Drainage très pauvre
 7 Drainage pauvre
 8 Drainage très pauvre
 9 Submergé

Profondeur actuelle de la nappe (cm) Niveau max supposé de la nappe (cm)

Geomorphologie

Code forme (voir glossaire) Exposition

Morphologie locale

1 Sur une bosse
 2 Dans un creux
 3 Sur une pente régulière
 4 Sur un replat

Situation dans le versant

1 Au bas du versant
 2 Au tiers inférieur du versant
 3 A mi-hauteur du versant
 4 Au tiers supérieur du versant
 5 Au sommet du versant

Situation / plantation

1 Entre deux rangées d'arbres
 2 Sur une rangée d'arbres
 3 Pres d'un arbre

Situation / parcelle

1 Pres de la limite de la parcelle
 2 Au centre de la parcelle
 3 En haut de la parcelle
 4 Au bas de la parcelle

Erosion

0 Non érosion totale

1 Béton
 2 Erosion mineure
 3 Erosion modérée
 4 Erosion importante (profondeur < 20 cm)
 5 Erosion avancée (profondeur > 20 cm)
 6 Débris et matériaux grossiers (sûtes, galets, cailloux...)
 7 Débris et matériaux fins (limons, argiles)

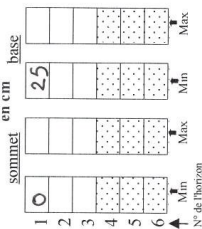
Végétation

Hydrologie

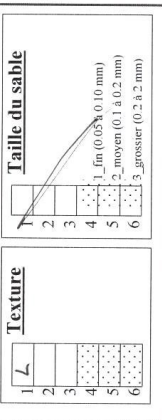
Geomorphologie

n° profil **F3** Etude **NITRAEP**

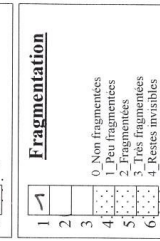
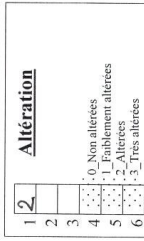
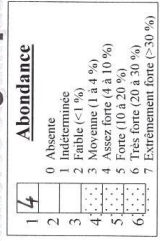
Profondeurs



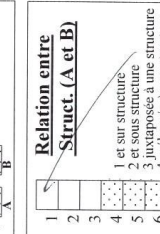
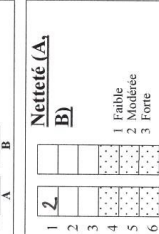
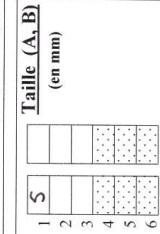
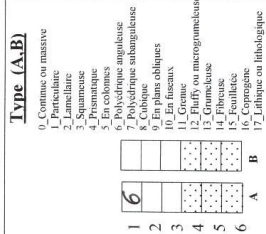
Texture



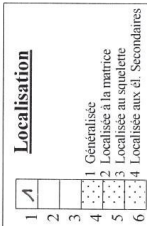
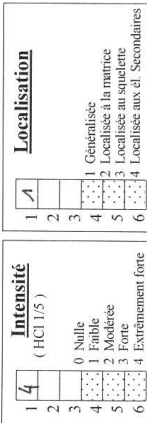
Matières Organiques



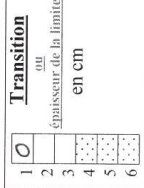
Structures



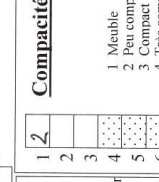
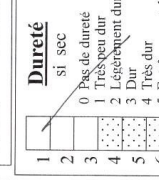
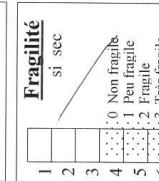
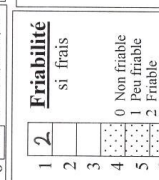
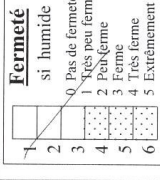
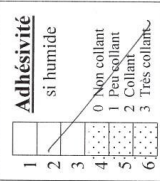
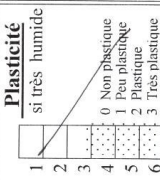
Effervescence



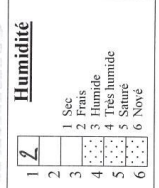
Limites



Propriétés Mécaniques



Humidité



n° profil **F3** Etude **NITRAEP** **3**

Couleur de l'horizon
 1. *jaune foncé*
 2.
 3.
 4.
 5.
 6.

Abondance en surface (A,B et C)
 0. Pas de taches
 1. Très peu nombreuses (< 2 %)
 2. Peu nombreuses (2 à 5 %)
 3. Assez nombreuses (5 à 15 %)
 4. Nombreuses (15 à 40 %)
 5. Très nombreuses (40 à 80 %)
 6. Dominantes (plus de 80 %)

Dimension (A,B et C)
 1. Extrêmement fines (< 1 mm)
 2. Très fines (1 à 2 mm)
 3. Fines (2 à 4 mm)
 4. Moyennes (4 à 6 mm)
 5. Grosses (20 à 60 mm)
 6. Très grosses (> 60 mm)

Contraste (A,B et C)
 1. Peu contrastées
 2. Contrastées
 3. Très contrastées

Netteté des limites (A,B et C)
 1. Peu nettes (> 2 mm)
 2. Nettes (2 à 0,5 mm)
 3. Très nettes (< 0,5 mm)

A = Oxydation B = Réduction C = Dégradation ou autres *

Traces d'activités
 * nature : _____

Abondance
 1. 0. Absentes
 2. 1. Peu nombreuses
 3. 2. Nombreuses
 4. 3. Très nombreuses

Nature
 1. 1. Coquilles
 2. 2. Turricules
 3. 3. Fèces
 4. 4. Fèces décomposées
 5. 5. Galeries (de rongeurs)
 6. 6. Keratines
 7. 7. Mycélium et amas
 8. 8. Charbon de bois
 9. 9. Sous-solage
 10. 10. Fumier
 11. 11. Sphaères vertes
 12. 12. Sphaères jaunes
 13. 13. Résidus de récolte enfouis
 14. 14. Trace de drainage
 15. 15. Autres traces d'activité

Forme (A,B et C)
 1. Irrégulières
 2. Arrondies
 3. En rainures ou bandes
 4. En rainures ou bandes verticales
 5. En rainures ou bandes obliques
 6. En rainures ou bandes orthogonales
 7. En rainures quelconques

Couleur (A,B et C)

Localisation (A et B)
 1. 1. Associés aux vides
 2. 2. Associés aux horizons
 3. 3. Sur les faces horizontales
 4. 4. Sur les faces verticales
 5. 5. Sur le squelette

Nature (A et B)
 1. 1. Types de revêtements
 2. 2. Revêtements
 3. 3. Arrièreaux avec saprophytes
 4. 4. Organo-animaux
 5. 5. Autres types

Localisation (A et B)
 0. Non saisi (0 à 0 mScm)
 1. Légèrement saisi (2 à 4 mScm)
 2. Moyennement saisi (4 à 8 mScm)
 3. Saisi (8 à 16 mScm)
 4. Très saisi (> 16 mScm)

Aspect
 0. Pas de particulation
 1. Particules
 2. Recouvrement bien individualisés
 3. Recouvrement non individualisés

Couleur

Revêtements (A et B)
 1. 1. Très peu nombreux (< 5 % de recouvrement)
 2. 2. Peu nombreux (5 à 25 % de recouvrement)
 3. 3. Nombreux (25 à 50 % de recouvrement)
 4. 4. Très nombreux (50 à 75 % de recouvrement)
 5. 5. Généralisés (> à 75 % de recouvrement)

Épaisseur (A et B)
 1. 1. Très fins (< 4,005 mm)
 2. 2. Moyens (0,05 à 0,5 mm)
 3. 3. Épais (> à 0,5 mm)

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

n° profil **f3** Etude **NITRAEP**

Cristaux

Abondance en surfaces

1	0 Pas de cristaux
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 80%)
6	6 Dominants (plus de 80%)

Dimensions

1	1 Extrêmement fins
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 5 mm)
4	4 Moyens (5 à 15 mm)
5	5 Gros (15 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

Nature

1	1 Non identifiée
2	2 Siliceuse
3	3 Carbonatée et siliceuse
4	4 Siliceuse
5	5 Ferromagnésique
6	6 Ferromagnésique
6	7 Alumineuse
6	8 Autre

Abondance

1	0 Pas de nodules
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 80%)
6	6 Dominants (plus de 80%)

Nature

1	1 Non identifiée
2	2 Nodules
3	3 Concretions peu indurées
4	4 Concretions

Durété

1	1 Tendres
2	2 Durs

Forme

1	1 Atrondis
2	2 Allongés
3	3 Aplatis
4	4 Irréguliers

Dimensions

1	1 Extrêmement fins (< 0,5 mm)
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 6 mm)
4	4 Moyens (6 à 20 mm)
5	5 Gros (20 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

Nature

1	0 Aucune
2	1 Lamellaire
3	2 Vésiculaire
4	3 Psittacique
5	4 Nodulaire

Épaisseur

1	1 Fins (< 10 mm)
2	2 Moyennement épais (10 à 50 mm)
3	3 Épais (> 50 mm)

Régularité

1	1 Irréguliers
2	2 Réguliers

Contact

1	0 Pas de modification de la matrice
2	1 Concentration non identifiée
3	2 Concentration d'oxydation
4	3 Concentration ferrique
5	4 Concentration ferreuse
6	5 Concentration argilaire
6	6 Concentration organique
6	7 Concentration saline

Nodules / Concretions

Abondance

1	0 Pas de nœuds
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 80%)
6	6 Dominants (plus de 80%)

Nature

1	1 dans la matrice
2	2 entre les agrégats
3	3 dans les fissures
4	4 dans les chenaux
5	5 évitant les zones compactes
6	6 quelconque

Orientation

1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Etat sanitaire

1	1 Saines
2	2 Nécessaires
3	3 Pourries
4	4 Guaines de rouille

Dimensions

1	1 très fines (< 0,5 mm)
2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 très grosses (> 20 mm)

Racines

Abondance

1	0 Pas de racine
2	1 Pas ou peu nombreuses (< 1 dm/m²)
3	2 Peu nombreuses (1 à 6 dm/m²)
4	3 Nombreuses (6 à 32 dm/m²)
5	4 Très nombreuses (> 32 dm/m²)

Localisation

1	1 dans la matrice
2	2 entre les agrégats
3	3 dans les fissures
4	4 dans les chenaux
5	5 évitant les zones compactes
6	6 quelconque

Orientation

1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Etat sanitaire

1	1 Saines
2	2 Nécessaires
3	3 Pourries
4	4 Guaines de rouille

Dimensions

1	1 très fines (< 0,5 mm)
2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 très grosses (> 20 mm)

Pores de l'agrégat

Abondance

1	0 Pas de pores visibles
2	1 peu nombreux (1-50/dm²)
3	2 assez nombreux (50-200)
4	3 nombreux (> 200/dm²)

Dimensions

1	1 très fins (< 0,5 mm)
2	2 fins (0,5 - 2 mm)
3	3 moyennes (2 - 5 mm)
4	4 larges (> 5 mm)

Espacement (cm)

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Disposition

1	1 0 pas de fentes
2	2 débutant dans l'horizon
3	3 traversant l'horizon
4	4 se terminant dans l'horizon

Conduits de vers

Densité

1	0 pas de conduits
2	1 peu nombreux (1-3/dm²)
3	2 nombreux (3-5/dm²)
4	3 très nombreux (> 5/dm²)

Orientation

1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Aspect

1	0 Ni colonnes ni revêtus
2	1 Colonnes
3	2 Revêtus

Forme

1	1 normales
2	2 déviées
3	3 en arête de poisson
4	4 en fil de fer
5	5 aplatis
6	6 changement de section

Pénétration

1	0 non déviées
2	1 légères par un obstacle de nature physique
3	2 gênées par un obstacle de nature chimique

Porosité Globale

1	0 non identifiée
2	1 non poreux (< 2%)
3	2 peu poreux (2 à 5%)
4	3 moyennement poreux (5 à 15%)
5	4 poreux (15 à 40%)
6	5 très poreux (> 40%)

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

N° profil **F3** Etude **NITRAEP** 5

Schéma du profil
 LA Horizon Laborie
 C'fée

Eléments grossiers

Abondance % volume 1 <input type="text" value="60"/> 2 <input type="text" value="50"/> 3 <input type="text" value="40"/> 4 <input type="text" value="30"/> 5 <input type="text" value="20"/> 6 <input type="text" value="10"/>	% EG (A) 1 <input type="text" value="10"/> 2 <input type="text" value="20"/> 3 <input type="text" value="30"/> 4 <input type="text" value="40"/> 5 <input type="text" value="50"/> 6 <input type="text" value="60"/>	% EG (B) 1 <input type="text" value="10"/> 2 <input type="text" value="20"/> 3 <input type="text" value="30"/> 4 <input type="text" value="40"/> 5 <input type="text" value="50"/> 6 <input type="text" value="60"/>	Nature (A et B) 1 <input type="text" value="Sx"/> 2 <input type="text" value="Sx"/> 3 <input type="text" value="Sx"/> 4 <input type="text" value="Sx"/> 5 <input type="text" value="Sx"/> 6 <input type="text" value="Sx"/>
Forme (A et B) 1 <input type="text" value="8"/> 2 <input type="text" value="8"/> 3 <input type="text" value="8"/> 4 <input type="text" value="8"/> 5 <input type="text" value="8"/> 6 <input type="text" value="8"/>	Taille (A et B) 1 <input type="text" value="1"/> 2 <input type="text" value="1"/> 3 <input type="text" value="1"/> 4 <input type="text" value="1"/> 5 <input type="text" value="1"/> 6 <input type="text" value="1"/>	Réaction (A et B) 1 <input type="text" value="3"/> 2 <input type="text" value="3"/> 3 <input type="text" value="3"/> 4 <input type="text" value="3"/> 5 <input type="text" value="3"/> 6 <input type="text" value="3"/>	Code de l'horizon 1 <input type="text" value="LA"/> 2 <input type="text" value="C"/> 3 <input type="text" value=""/> 4 <input type="text" value=""/> 5 <input type="text" value=""/> 6 <input type="text" value=""/>

Type d'horizon H
 1 2 3 4 5 6

Type d'horizon O
 1 2 3 4 5 6

Commentaires : sur les différents horizons

1 Sol superficiel, horizon labouré ne peut être classé que le matériau parent, le cas,

2

3

4

5

6

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

6

N° profil Etude

*** Cette case est à cocher dans le cas d'une discontinuité observée dans le profil (pour la variable en question).**

Code classification 1_ classification française 2_ classification allemande 3_ classification britannique 4_ classification canadienne 5_ classification européenne 6_ classification U.S.A. 7_ Référentiel Pédologique 1995

Sequence Horizons

Nom

Code classification 1_ classification française 2_ classification allemande 3_ classification britannique 4_ classification canadienne 5_ classification européenne 6_ classification U.S.A. 7_ Référentiel Pédologique 1995

Charge E.G. 0 Sans charge (moins de 5 % d'el. Gros.) 1 Meuble 2 Peu perméable (< 0,036 cm/h) 3 Modérément perméable (0,36 à 3,6 cm/h) 4 Equilibrée 5 Très perméable (> 3,6 cm/h)

Texture 1 Sableuse 2 Limonneuse 3 Argileuse 4 Equilibrée

Structure 0 Non structurée 1 Meuble 2 Peu perméable (< 0,036 cm/h) 3 Fortement structurée 4 Excessivement forte

Compacité 1 Meuble 2 Peu compact 3 Compact 4 Excessivement forte

Effervescence 0 Nulle 1 Faible 2 Modérée 3 Forte 4 Excessivement forte

Perméabilité 1 Imperméable (< 0,036 cm/h) 2 Peu perméable (0,036 à 0,36 cm/h) 3 Modérément perméable (0,36 à 3,6 cm/h) 4 Fortement perméable (3,6 à 36 cm/h) 5 Très perméable (> 36 cm/h)

Couleur 1_Rouge 2_Rouge-brun 3_Brun-rouge 4_Brun 5_Brun-jaune 6_Jaune 7_Jaune-vert 8_Vert 9_Vert-bleu 10_Gris 11_Noir 12_Blanche

Salinité 0_Non salée (0 à 4 ms/cm) 1_Légèrement salée (4 à 8 ms/cm) 2_Moyennement salée (8 à 16 ms/cm) 3_Salée (16 à 32 ms/cm) 4_Très salée (> 32 ms/cm)

Racines 0_peu de racines 1_verticale régulière 2_verticale irrégulière 3_subsuperficielle

Distribution Racines 1_Mail 2_Hydromul 3_Hydro 4_Hydro 5_Mor 6_Hydromor 7_Ammor 8_Tourbe

Humus 1_Mail 2_Hydromul 3_Hydro 4_Hydro 5_Mor 6_Hydromor 7_Ammor 8_Tourbe

Discontinuité majeure 1_Obstacle important à la pénétration de l'eau 2_Obstacle important à la pénétration des racines 3_Obstacle important au travail du sol 4_Obstacle important à la remontée capillaire

Profondeur (en cm)

Conséquence de la discontinuité 1_Obstacle important à la pénétration de l'eau 2_Obstacle important à la pénétration des racines 3_Obstacle important au travail du sol 4_Obstacle important à la remontée capillaire

Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm

Arrêt description 1_Horizon C atteint 2_Couche M, R ou D atteinte 3_Nappe atteinte 4_Échantillonnage interrompu 5_Autre contrainte

Artificialisation 1_Profil artificiellement tronqué 2_Profil recouvert d'une couche allochtone 3_Profil artificiellement restitué de manière à reproduire le sol naturel 4_Profil reconstitué de manière différente du sol naturel

Intérêt description 1_Profil très intéressant 2_Profil mouvement intéressant 3_Profil peu intéressant

Type profil 1_Profil fief 2_Profil vni 3_Sondage 4_Analyse agronomique

Triangle de texture 1_Pas de diagramme triangulaire 2_Triangle CCSBM (Belgique) 3_Triangle USDA, FAO, RAT 4_Triangle carte des sols de l'ALSNE 5_Triangle UEPFA 6_Triangle UEPFA 7_Triangle ORSTOM 8_Triangle SOGREAH

Commentaires

sur le profil :

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

STIPA 2000 - U.M.R. Sol et Environnement- INRA Montpellier

Annexe 4 : Description Donesol de la fosse 4

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

STIPA 2000 - U.M.R. Sol et Environnement - INRA Montpellier

n° profil Etude Auteur Date

Longitude: _____ Chargé d'étude

Latitude: _____ Commune

Antécédents climatiques

Durée 1_ les jours précédents
 2_ les semaines précédentes

Nature 1_ pluie
 2_ neige
 3_ humidité
 4_ temps ensoleillé
 5_ temps sec
 6_ vent
 7_ brouillard
 8_ vent variable
 9_ temps variable

Intensité 1_ d'intensité faible
 2_ d'intensité moyenne
 3_ d'intensité forte

Géologie

Organisation Géologique
 Profil monoclimatique
 Profil polyclimatique
 Profil polytypique

Nom roches dominantes: _____

Etages géologiques: _____

Classe matériau
 1. Roches ou matériaux non identifiés
 2. Roches cristallines ignées
 3. Roches cristallines métamorphiques
 4. Roches volcaniques porphyritiques
 5. Roches métamorphiques
 6. Roches sédimentaires cohérentes riches en carbonates et / ou magnésite
 7. Roches sédimentaires cohérentes calcaires
 8. Roches sédimentaires cohérentes silico-alumineuses
 9. Roches sédimentaires ferrifères et aluminées
 10. Roches phosphatées
 11. Roches sédimentaires ferrifères et aluminées
 12. Roches sédimentaires carbonées
 13. Roches sédimentaires meubles
 14. Roches sédimentaires meubles carbonatées
 99. Autres roches

Résistance
 1. Peu résistante
 2. Résistante
 3. Très résistante

Litage
 1. Horizontal
 2. Vertical
 3. Oblique

Désagrégation
 0. Non désagrégée
 1. Peu désagrégée
 2. Désagrégée
 3. Très désagrégée

Altération
 0. Non altérée
 1. Peu altérée
 2. Altérée
 3. Très altérée

Hydrologie

Régime 5 Régime Submersion
 0 Appareillement jamais submergé
 1 Appareillement saisonnier
 2 Submergé chaque jour
 3 Submergé en permanence

Régime Hydrique
 1 Sature en permanence
 2 Sature chaque jour
 3 Sature de manière saisonnière
 4 Humide en permanence
 5 Sec de manière saisonnière
 6 Continuellement sec

Excès d'eau
 0 Sans excès d'eau
 1 Nappe pérenne temporaire
 2 Nappe pérenne permanente
 3 Nappe (souterraine) libre
 4 Nappe (souterraine) captive
 5 Submersion (débordements, mares)
 6 Resurgences sources et sources
 7 Stagnation de surface

Origine
 1 Non-identifiée
 2 Pluie
 3 Pluie des roches
 4 Addition d'eau d'origine externe
 5 Eau essentiellement d'origine externe

Drainage naturel
 1 Drainage excessif
 2 Drainage favorable
 3 Drainage modéré
 4 Drainage important
 5 Drainage excessif
 6 Drainage assez pauvre
 7 Drainage pauvre
 8 Drainage très pauvre
 9 Submergé

Profondeur actuelle de la nappe (cm) _____ Niveau max supposé de la nappe (cm) _____

Geomorphologie

Code forme
 (voir glossaire)
 Plateau
 Vallon

Pente (en %) Exposition

Morphologie locale
 1 Sur une bosse
 2 Dans un creux
 3 Sur une pente régulière
 4 Sur un replat

Situation dans le versant
 1 Au bas du versant
 2 Au tiers inférieur du versant
 3 Au mi-hauteur du versant
 4 Au tiers supérieur du versant
 5 Au sommet du versant

Situation / plantation
 1. Entre deux rangées d'arbres
 2. Sur une rangée d'arbres
 3. Près d'un arbre

Situation / parcelle
 1. Près de la limite de la parcelle
 2. Au centre de la parcelle
 3. Au tiers inférieur de la parcelle
 4. Au tiers de la parcelle

Erosion

- 0 Non érosion hitrice
 1 Hitaru
 2 Erosion napp
 3 Erosion éolienne
 4 Erosion oméga (profondeur < 5cm)
 5 Erosion oméga (profondeur > 5cm)
 6 Débris climatiques (sables, graviers, cailloux...)
 7 Débris climatiques fins (limons, argiles)

Végétation

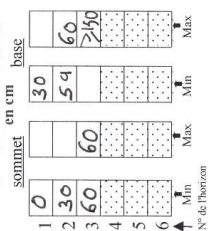
de

n°profil **F4**

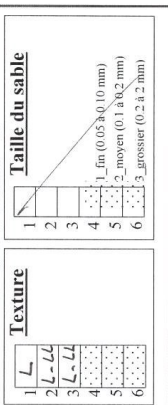
Etude **NITRAEP**

Matières Organiques

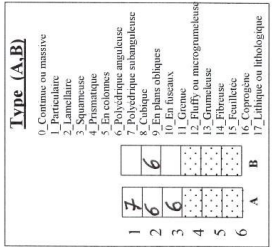
Profondeurs



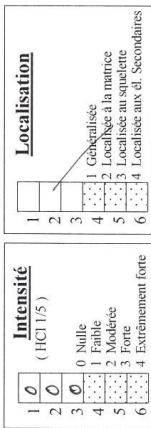
Texture



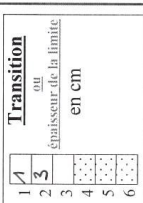
Structures



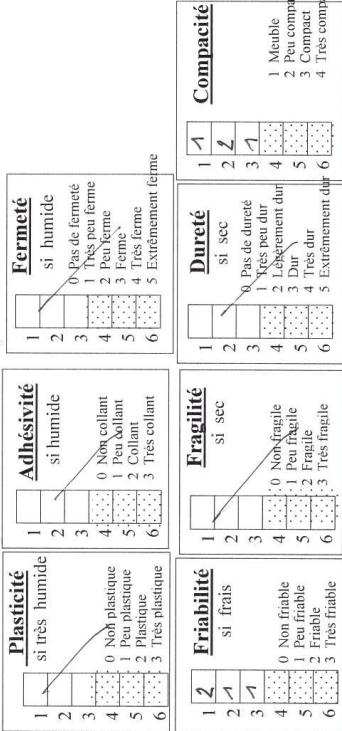
Effervescence



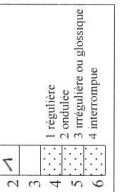
Limites



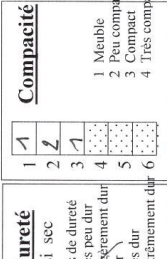
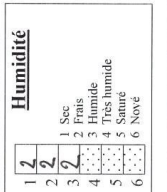
Propriétés Mécaniques



Régularité



Humidité



n° profil **F4** Etude **NITRAEP**

3

Taches

A = Oxydation B = Réduction C = Dégénération ou autres *

Abondance en surface (A,B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Peu de taches
2. Très peu nombreuses (< 2 %)
3. Peu nombreuses (2 à 5 %)
4. Assez nombreuses (5 à 15 %)
5. Nombreuses (15 à 40 %)
6. Très nombreuses (40 à 80 %)
C. Dominantes (plus de 80 %)

Dimension (A,B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Extrêmement fines (< 1 mm)
2. Très fines (1 à 2 mm)
3. Fines (2 à 6 mm)
4. Nettes (2 à 0,5 mm)
5. Grosses (20 à 60 mm)
6. Très grosses (> 60 mm)

Contraste (A,B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Peu contrastées
2. Contrastées
3. Très contrastées

Netteté des limites (A,B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Peu nettes (> 2 mm)
2. Nettes (2 à 0,5 mm)
3. Très nettes (< 0,5 mm)

Abondance

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

0. Absentes
1. Peu nombreuses
2. Nombreuses
3. Très nombreuses

Nature

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Coquilles
2. Fumelles
3. Feuilles
4. Fibres décomposées
5. Galeries (de rongeurs)
6. Ketovues
7. Mammifères
8. Mycélium et amas
9. Charbon de bois
10. Sous-solage
11. Fumier
12. Sphères
13. Restes de racines, oniferaux
14. Traces de drainage
15. Autres traces d'activité

Traces d'activités

* nature : Désagregation (LL)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

Revêtements

Nature (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

0. Pas de revêtement
1. Revêtements
2. Argiles
3. Argiles avec squeuoydes
4. Organo-argiles
5. Autres types

Localisation (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Associés aux vides
2. Associés aux argiles
3. Sur les faces horizontales
4. Sur les faces verticales
5. Sur le squelette

Salinité

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

0. Non salé (0 à mS/cm)
1. Légèrement salé (2 à 4 mS/cm)
2. Moyennement salé (4 à 8 mS/cm)
3. Salé (8 à 16 mS/cm)
4. Très salé (> 16 mS/cm)

Aspect

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

0. Pas de particulaire
1. Faces de glissement
2. Revêtements non individualisés
3. Faces lisses non identifiées

Couleur

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

Forme (A,B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Irrégulières
2. Arrondies
3. En tranches ou bandes verticales
4. En tranches ou bandes horizontales
5. En tranches ou bandes obliques
6. En tranches ou bandes orthogonales
7. En tranches quelconques

Distribution (A,B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Dans la matrice
2. Sur les faces des agrégats
3. Autour des pores
4. Autour des agrégats grossiers
5. Autour des éléments grossiers
6. En remplissage de fissures
7. Sans relation avec les autres caractères

Couleur (A,B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

Localisation (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Associés aux vides
2. Associés aux argiles
3. Sur les faces horizontales
4. Sur les faces verticales
5. Sur le squelette

Recouvrement (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Très peu nombreux (< 5 % de recouvrement)
2. Peu nombreux (5 à 25 % de recouvrement)
3. Nombreux (25 à 50 % de recouvrement)
4. Très nombreux (50 à 75 % de recouvrement)
5. Généralisé (> à 75 % de recouvrement)

Epaisseur (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Fins (< à 0,05 mm)
2. Moyens (0,05 à 0,5 mm)
3. Epais (> à 0,5 mm)

Couleur

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

n°profil **F4** Etude **NITRAEAP**

Cristaux

Abondance en surface		Nature	
1	0 Pas de cristaux	1	Non identifié
2	1 Très peu nombreux (< 2%)	2	1 Non identifié
3	2 Peu nombreux (2 à 4%)	3	2 Carbonate de calcium
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)	4	3 Gypse
5	4 Nombreux (15 à 40%)	5	4 NiCl
6	5 Très nombreux (40 à 60%)	6	5 Jarosite
	6 Dominants (plus de 60%)		

Nodules / Concrétions

Abondance		Nature	
1	0 Pas de nodules	1	Non identifié
2	1 Très peu nombreux (< 2%)	2	1 Siliceuse
3	2 Peu nombreux (2 à 4%)	3	2 Carbonate et siliceuse
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)	4	3 Ferrique
5	4 Nombreux (15 à 40%)	5	4 Ferromanganésique
6	5 Très nombreux (40 à 60%)	6	5 Alumineuse
	6 Dominants (plus de 60%)		9 Autre

Ciments

Nature		Épaisseur	
1	0 Aucune	1	1 Irregular
2	1 Amellaire	2	2 Moyennement épais
3	2 Viculaire	3	3 Épais (> 50 mm)
4	3 Psittacique		
5	4 Nodulaire		
6			

Racines

Abondance		Localisation	
1	0 Pas de racine	1	1 dans la masse
2	1 Très peu nombreuses (< 5/dm²)	2	2 à la surface
3	2 Peu nombreuses (5 à 10/dm²)	3	3 entre les agrégats
4	3 Nombreuses (10 à 20/dm²)	4	4 dans les fissures
5	4 Très nombreuses (20 à 30/dm²)	5	5 dans les chenaux
6		6	6 évitant les zones compactes

Fentes

Abondance		Disposition		Espacement (cm)	
1	0 Pas de fentes visibles	1	1 0 pas de fentes	1	1 1 débutant dans l'horizon
2	1 Peu nombreuses (1-50/dm²)	2	2 traversant l'horizon	2	2 2 traversant l'horizon
3	2 Assez nombreuses (50-200)	3	3 se terminant dans l'horizon	3	3 3 se terminant dans l'horizon
4	3 Nombreux (> 200/dm²)			4	4 quelconque
5				5	5 quelconque
6				6	6 quelconque

Conduits de vers

Densité		Orientation	
1	1 0 pas de conduits	1	1 verticale
2	2 peu nombreux (1-3/dm²)	2	2 horizontale
3	3 nombreux (3-5/dm²)	3	3 oblique
4	4 très nombreux (> 5/dm²)	4	4 quelconque
5			
6			

Pores de l'agrégat

Abondance		Dimensions	
1	0 Pas de pores visibles	1	1 très fins (d < 0,5 mm)
2	1 Peu nombreux (1-50/dm²)	2	2 fins (0,5-2 mm)
3	2 Assez nombreux (50-200)	3	3 moyens (2-5 mm)
4	3 Nombreux (> 200/dm²)	4	4 larges (d > 5 mm)
5			
6			

Forme

1	1 normales
2	2 normales
3	3 normales
4	4 en fil de fer
5	5 aplatis
6	6 changement de section

Aspect

1	0 Ni colmatés ni revêtus
2	1 Colmatés
3	2 Revêtus
4	
5	
6	

Pénétration

1	0 non déviés
2	1 gènes par un obstacle de nature chimique
3	2 gènes par un obstacle de nature chimique
4	3 gènes par un obstacle de nature chimique
5	4 gènes par un obstacle de nature chimique
6	5 gènes par un obstacle de nature chimique

État sanitaire

1	1 Saines
2	2 Necrosées
3	3 Pourries
4	4 Gaucies de rouille
5	
6	

Dimensions

1	1 très fines (< 0,5 mm)
2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 très fines (< 0,5 mm)
6	6 très grosses (> 20 mm)

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

5

N° profil Etude

Schéma du profil

Horizon Laboué LA

Horizon d'accumulation Dt

Horizon structural S

Éléments grossiers

<p>Abondance % volume</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6							<p>% EG (A)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6							<p>% EG (B)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6							<p>Nature (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>Silice</td><td>Silice</td><td>Silice</td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	Silice	Silice	Silice			
1	2	3	4	5	6																																														
1	2	3	4	5	6																																														
1	2	3	4	5	6																																														
1	2	3	4	5	6																																														
Silice	Silice	Silice																																																	
<p>Forme (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td><td>6</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	6	6	6	6	6	6	<p>Taille (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	1	1	1	1	1	1	<p>Réaction (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6							<p>Code de l'horizon</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>LA</td><td>Bt</td><td>S</td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	LA	Bt	S			
1	2	3	4	5	6																																														
6	6	6	6	6	6																																														
1	2	3	4	5	6																																														
1	1	1	1	1	1																																														
1	2	3	4	5	6																																														
1	2	3	4	5	6																																														
LA	Bt	S																																																	

Type d'horizon

1	2	3	4	5	6

Type d'horizon H

1	2	3	4	5	6

Type d'horizon O

1	2	3	4	5	6

Commentaires : sur les différents horizons

1

2

3

4

5

6

Annexe 5 : Description Donesol de la fosse 5

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

n°profil Etude Auteur Date Chargé d'étude

Longitude Latitude Commune

Antécédents climatiques

Durée 1_ les jours précédents
2_ les semaines précédentes

Nature 1_ pluie
2_ neige
3_ humidité
4_ temps ensoleillé
5_ temps sec
6_ brouillard
7_ vent
8_ vent
9_ temps variable

Intensité 1_ densité faible
2_ densité moyenne
3_ densité forte

Géologie

Organisation Géologique

1 Profil monolithique
2 Profil battant
3 Profil polythique

Nom roches dominantes:

Etages géologiques:

Classe matériau

1. Roches ou matériaux non identifiés
2. Roches cristallines grenues
3. Roches volcaniques massives
4. Roches volcaniques effluves
5. Roches métamorphiques
6. Roches sédimentaires cohérentes riches en carbonates et / ou magnésite
7. Roches sédimentaires cohérentes calcaires
8. Roches sédimentaires cohérentes silico-alumineuses
9. Roches sédimentaires friables
10. Roches phosfatées
11. Roches sédimentaires ferrifères et alumineuses
12. Roches sédimentaires carbonées
13. Roches sédimentaires meubles
14. Roches sédimentaires meubles carbonatées
99. Autres roches

Hydrologie

Régime Hydroïque 1 Sursé en permanence
2 Sursé chaque jour
3 Sursé de manière saisonnière
4 Humide en permanence
5 Sec de manière saisonnière
6 Continuellement sec

Régime Submersion 0 Apparement, jamais submergé
1 Apparement, rarement saisonnière
2 Submergé chaque jour
3 Submergé en permanence

Excès d'eau 0 Sans excès d'eau
1 Nappe perçue temporaire
2 Nappe en captivité libre
3 Nappe (souterraine) captive
4 Submersion (débordements, mares)
5 Submersion sources et sources
6 Ressurgences sources et sources
7 Stagnation de surface

Origine excès eau 1 Non identifiée
2 Pluie
3 Vent des rivières
4 Addition d'eau d'origine externe
5 Eau essentiellement d'origine externe

Drainage naturel 1 Drainage excessif
2 Drainage favorable
3 Drainage modéré
4 Drainage imparfait
5 Drainage assez bon
6 Drainage assez pauvre
7 Drainage pauvre
8 Drainage très pauvre
9 Submergé

Profondeur actuelle de la nappe (cm) Niveau max. supposé de la nappe (cm)

Geomorphologie

Code forme Exposition

Pente (en %)

Morphologie locale 1 Sur une bosse
2 Dans un creux
3 Sur une pente régulière
4 Sur un replat

Situation dans le versant 1 Au bas du versant
2 Au tiers inférieur du versant
3 A mi-hauteur du versant
4 Au tiers supérieur du versant
5 Au sommet du versant

Situation / plantation 1 Entre deux rangées d'arbres
2 Sur une rangée d'arbres
3 Près d'un arbre

Situation / parcelle 1 Pres de la limite de la parcelle
2 Au centre de la parcelle
3 En bord de la parcelle
4 Au bas de la parcelle

Végétation

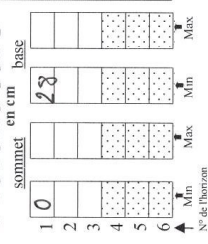
0 Non recensé
1 Herbe
2 Erosion nette
3 Erosion forte
4 Erosion légère (profondeur < 20 cm)
5 Erosion moyenne (profondeur > 20 cm)
6 Dips de matériaux grossiers (shales, gaux, calix...)
7 Dips de matériaux fins (limon, argiles)

Erosion

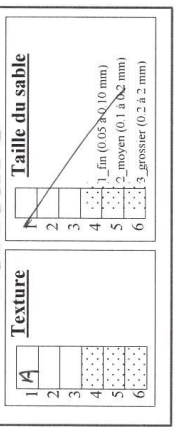
0 Non recensé
1 Herbe
2 Erosion nette
3 Erosion forte
4 Erosion légère (profondeur < 20 cm)
5 Erosion moyenne (profondeur > 20 cm)
6 Dips de matériaux grossiers (shales, gaux, calix...)
7 Dips de matériaux fins (limon, argiles)

n°profil **F5** Etude **NITRAEP**

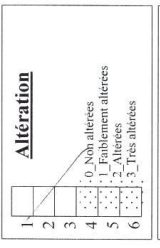
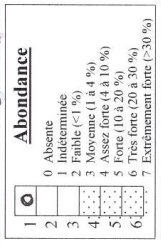
Profondeurs



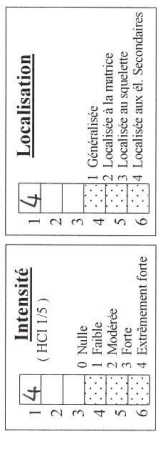
Texture



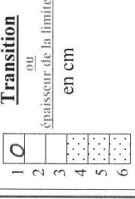
Matières Organiques



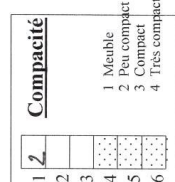
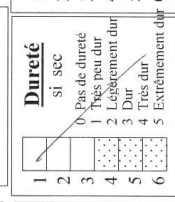
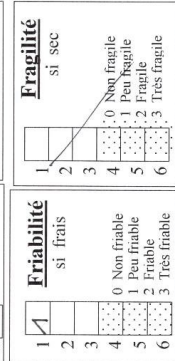
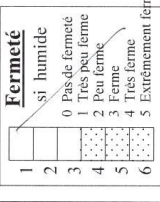
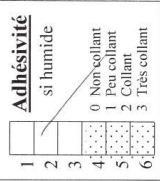
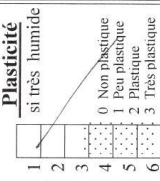
Effervescence



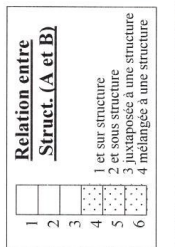
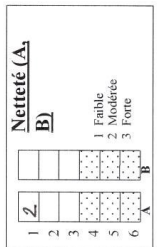
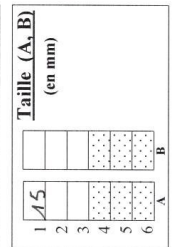
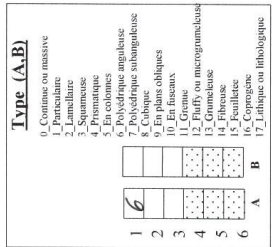
Limites



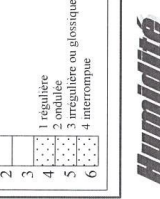
Propriétés Mécaniques



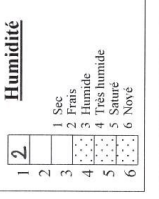
Structures



Régularité



Humidité



n° profil **F5** Etude **NITRAEP** **3**

Couleur de l'horizon
 1. *brun foncé*
 2. *brun*
 3.
 4.
 5.
 6.

Abondance en surface (A,B et C)
 0. Peu de taches
 1. Très nombreuses (< 2 %)
 2. Peu nombreuses (2 à 5 %)
 3. Assez nombreuses (5 à 15 %)
 4. Nombreuses (15 à 40 %)
 5. Très nombreuses (40 à 80 %)
 6. Dominantes (plus de 80 %)

Dimension (A,B et C)
 1. Extrêmement fines (< 1 mm)
 2. Très fines (1 à 2 mm)
 3. Fines (2 à 6 mm)
 4. Moyennes (6 à 20 mm)
 5. Grosses (20 à 60 mm)
 6. Très grosses (> 60 mm)

Netteté des limites (A,B et C)
 1. Peu nettes (> 2 mm)
 2. Nettes (2 à 0,5 mm)
 3. Très nettes (< 0,5 mm)

Contraste (A,B et C)
 1. Peu contrastés
 2. Contrastés
 3. Très contrastés

Distribution (A,B et C)
 1. Dans la matrice
 2. Sur les faces des agrégats
 3. Autour des pores
 4. Autour des filaments
 5. Autour des éléments grossiers
 6. En remplissage de fissures
 7. Sans relation avec les autres caractères

Forme (A,B et C)
 1. Irrégulières
 2. Arrondies
 3. En traînées ou bandes verticales
 4. En traînées ou bandes obliques
 5. En traînées ou bandes orthogonales
 6. En traînées quelconques

Couleur (A,B et C)
 1.
 2.
 3.
 4.
 5.
 6.

Salinité
 0. Non salé (0 à mS/cm)
 1. Légèrement salé (2 à 4 mS/cm)
 2. Moyennement salé (4 à 8 mS/cm)
 3. Salé (8 à 16 mS/cm)
 4. Très salé (> 16 mS/cm)

Localisation (A et B)
 1. Associés aux sables
 2. Associés aux argiles
 3. Sur les faces horizontales
 4. Sur les faces verticales
 5. Sur le squelette

Nature (A et B)
 0. Pas de revêtement
 1. Identifiés
 2. Archaïques avec squeuoyés
 3. Organo-argiles
 4. Organo-sables
 5. Autres types

Recouvrement (A et B)
 1. Très peu nombreux (< 5 % de recouvrement)
 2. Peu nombreux (5 à 25 % de recouvrement)
 3. Nombreux (25 à 50 % de recouvrement)
 4. Très nombreux (50 à 75 % de recouvrement)
 5. Généralisés (> 75 % de recouvrement)

Epaisseur (A et B)
 1. Fins (< 0,05 mm)
 2. Moyens (0,05 à 0,5 mm)
 3. Epais (> 0,5 mm)

Aspect
 0. Pas de particulaire
 1. Revêtement pour individualiser
 2. Revêtement pour individualiser
 3. Faces lisses non identifiées

Couleur
 1. *brun foncé*
 2. *brun*
 3.
 4.
 5.
 6.

Abondance
 0. Absentes
 1. Peu nombreuses
 2. Nombreuses
 3. Très nombreuses

Nature
 1. Coquilles
 2. Turbécules
 3. Charbon de bois
 4. Feuilles décomposées
 5. Galeries (de rongeurs)
 6. Kérovènes
 7. Acétylène et amas
 8. Charbon de bois
 9. Charbon de bois
 10. Sous-solage
 11. Fumier
 12. Sphères vertes
 13. Résidus de récolte, enfumés
 14. Traces de drainage
 15. Autres traces d'activité

Traces d'activités
 * nature : _____

Traces d'activités

Revêtements

Faces

Abondance en surface (A,B et C)

Dimension (A,B et C)

Netteté des limites (A,B et C)

Contraste (A,B et C)

Distribution (A,B et C)

Forme (A,B et C)

Couleur (A,B et C)

Salinité

Localisation (A et B)

Nature (A et B)

Recouvrement (A et B)

Epaisseur (A et B)

Aspect

Couleur

Abondance

Nature

Traces d'activités

Faces

Abondance en surface (A,B et C)

Dimension (A,B et C)

Netteté des limites (A,B et C)

Contraste (A,B et C)

Distribution (A,B et C)

Forme (A,B et C)

Couleur (A,B et C)

Salinité

Localisation (A et B)

Nature (A et B)

Recouvrement (A et B)

Epaisseur (A et B)

Aspect

Couleur

Abondance

Nature

Traces d'activités

Faces

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

n°profil **f5** Etude **NITRAEP**

Cristaux

Abondance en surface		Nature	
1	0 Pas de cristaux	1	Non identifié
2	1 Très peu nombreux (< 2%)	2	Chaux
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)	3	Carbonate de calcium
4	3 Peu nombreux (5 à 15%)	4	Cypris
5	4 Nombreux (15 à 40%)	5	NaCl
6	5 Assez nombreux (40 à 60%)	6	Jarosite
	6 Dominants (plus de 60%)		

Nodules / Concrétions

Abondance		Nature	
1	0 Pas de nodules	1	Non identifié
2	1 Très peu nombreux (< 2%)	2	Siliceuse
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)	3	Carbonate et siliceuse
4	3 Peu nombreux (5 à 15%)	4	Permanganée
5	4 Nombreux (15 à 40%)	5	Ferromanganée
6	5 Assez nombreux (40 à 60%)	6	Alumineuse
	6 Dominants (plus de 60%)		Autre

Ciments

Nature		Forme	
1	0 Non identifié	1	1 Arondis
2	1 Non identifié	2	Allongés
3	2 Carbonatés	3	Aplatis
4	3 Siliceux et siliceux	4	Iréguliers
5	4 Ferrugineux		
6	5 Sésuovivienne		
	6 Humifère		

Dimensions		Durété	
1	1 Extrêmement fins (< 2 mm)	1	1 Très tendres
2	2 Très fins (2 à 5 mm)	2	Tendres
3	3 Fins (5 à 10 mm)	3	Durs
4	4 Moyens (10 à 20 mm)	4	Très durs
5	5 Gros (20 à 60 mm)		
6	6 Très gros (> 60 mm)		

Structure		Régularité	
1	0 Aucune	1	1 Irréguliers
2	1 Lamellaire	2	Réguliers
3	2 Tubulaire		
4	3 Vesiculaire		
5	4 Psolittique		
6	5 Nodulaire		

Pores de l'agrégat

Abondance		Dimensions	
1	1	1	1 très fins (d < 0,5 mm)
2	2	2	2 fins (0,5 - 2 mm)
3	3	3	3 moyens (2 - 5 mm)
4	4	4	4 assez nombreux (50-200)
5	5	5	5 nombreux (> 200/dm ²)
6	6	6	6 larges (d > 5 mm)

Fentes

Disposition		Espacement (cm)	
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6

Conduits de vers

Densité		Orientation	
1	1	1	1 verticale
2	2	2	2 horizontale
3	3	3	3 oblique
4	4	4	4 quelconque
5	5		
6	6		

Racines

Abondance		Localisation	
1	1	1	1 dans la masse
2	2	2	2 dans les agrégats
3	3	3	3 dans les fissures
4	4	4	4 dans les chenaux
5	5	5	5 dans les chenaux
6	6	6	6 évitant les zones compactes

Etat sanitaire

Forme		Dimensions	
1	1 normales	1	1 très fines (< 0,5 mm)
2	2 boursouflées	2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 en fil de fer	3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 aplatis	4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 aplatis	5	5 très grosses (> 20 mm)
6	6 changement de section		

Porosité Globale

Pénétration		Aspect	
1	1	1	1 non identifié
2	2	2	2 non poreux (< 2%)
3	3	3	3 peu poreux (2 à 5%)
4	4	4	4 moyennement poreux
5	5	5	5 poreux (15 à 40%)
6	6	6	6 très poreux (> 40%)

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

N° profil Etude

5

Schéma du profil

Eléments grossiers

<p>Abondance % volume</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>60</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	60	2		3		4		5		6		<p>% EG (A)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>45</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	45	2		3		4		5		6		<p>% EG (B)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>15</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	15	2		3		4		5		6		<p>Nature (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>S</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td>2</td><td></td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>3</td><td></td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td>4</td><td></td><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td>5</td><td></td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td>6</td><td></td><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	0	1	S	1	0	2		2		2		3		3		3		4		4		4		5		5		5		6		6		6	
1	60																																																																										
2																																																																											
3																																																																											
4																																																																											
5																																																																											
6																																																																											
1	45																																																																										
2																																																																											
3																																																																											
4																																																																											
5																																																																											
6																																																																											
1	15																																																																										
2																																																																											
3																																																																											
4																																																																											
5																																																																											
6																																																																											
1	0	1	S	1	0																																																																						
2		2		2																																																																							
3		3		3																																																																							
4		4		4																																																																							
5		5		5																																																																							
6		6		6																																																																							

<p>Forme (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	8	2		3		4		5		6		<p>Taille (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	1	2		3		4		5		6	
1	8																								
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
1	1																								
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									

<p>Transformation (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	0	2		3		4		5		6		<p>Orientation globale (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	4	2		3		4		5		6	
1	0																								
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
1	4																								
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									

<p>Réaction (A et B)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	3	2		3		4		5		6		<p>Type d'horizon H</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1		2		3		4		5		6	
1	3																								
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									

<p>Type d'horizon O</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1		2		3		4		5		6		<p>Type d'horizon</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1		2		3		4		5		6	
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									

Code de l'horizon

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Commentaires : sur les différents horizons

1

2

3

4

5

6

LA horizon laboué

C cuir

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

6

N° profil Etude

Profil synthétique

★ Cette case est à cocher dans le cas d'une discontinuité observée dans le profil (pour la variable en question).

Code classification WRB Sequence Horizons

Nom

Charge E.G. Sans charge (moins de 5 % d'el. Gros.)

Texture Sablense Sableuse

Limonneuse Argileuse

Equilibrée

Couleur Rouge Rouge-brun

Brun-rouge Brun

Brun-jaune Jaune

Jaune-vert Vert

Gris Noir

Blanc

Discontinuité majeure

Profondeur (en cm) Conséquence de la discontinuité Obstacle important à la pénétration de l'eau

Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm Obstacle important à la pénétration des racines

Obstacle important au travail du sol

Artificialisation Profil artificiellement tronqué

Profil recouvert d'une couche allochtone

Profil artificiel reconstitué de manière à reproduire le sol naturel

Profil reconstitué de manière différente du sol naturel

Intérêt description Profil très intéressant

Profil mouvementé intéressant

Profil peu intéressant

Triangle de texture Pas de diagramme triangulaire

Triangle CCSBM (Belgique)

Triangle USDA, FAO, IRAT

Triangle carte des sols de l'AINSE

Triangle GLEPPA

Triangle OBSTOM

Triangle OBSTOM

Triangle SOGREAH

Permeabilité Imperméable (< 0,036 cm/h)

Peu perméable (0,036 à 0,36 cm/h)

Modérément perméable (0,36 à 3,6 cm/h)

Très perméable (> 3,6 cm/h)

Effervescence Nulle

Faible

Modérée

Forte

Extrêmement forte

Composité Meuble

Pen compact

Compact

Très compact

Structure Non structuré

Pen structuré

Structure

Fortement structuré

Salinité Non salé (0 à ns/cm)

Légèrement salé (2 à 4 ms/cm)

Moyennement salé (4 à 8 ms/cm)

Salé (8 à 16 ms/cm)

Très salé (> 16 ms/cm)

Racines peu de racines

verticales régulières

irrégulières

nombreuses racines

très nombreuses racines

Distribution Racines verticale régulière

irrégulière

sous-superficielle

Humus Mail

Hydromill

Moder

Moder

Moder

Hydromor

Ammor

Tourbe

Différenciations (4 types possibles)

Non différencié

Pen différencié

Différencié par la texture

Différencié par la charge en éléments grossiers

Différencié par l'effervescence

Différencié par la couleur

Différencié par la perméabilité

Différencié par la composition

Différencié par la perméabilité

Différencié par la nature du matériau

Différencié par le drainage

Différencié par les accumulations

Différencié par le pH

Différencié par les racines

Différencié par les faciès culturaux

Arrêt description Horizon C atterré

Couche M, R ou D atterré

Non atterré

Autre atterré

Autre atterré

Commentaires *En complément de l'analyse sur le vase, il convient de constater que le sol est un mélange de matériaux fins et grossiers, mais pas de sable. Néanmoins...*

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

Annexe 6 : Description Donesol de la fosse 6

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

n° profil Etude Auteur Date Chargé d'étude 1

Longitude Commune

Latitude

Antécédents climatiques

Durée 1_ les jours précédents
 2_ les semaines précédentes

Nature 1_ pluie
 2_ neige
 3_ humidité
 4_ temps ensoleillé
 5_ temps sec
 6_ brouillard
 7_ neige
 8_ vent
 9_ temps variable

Intensité 1_ d'intensité faible
 2_ d'intensité moyenne
 3_ d'intensité forte

Végétation

Blé

Erosion

0 Non érosion totale

1 Béton
 2 Erosion nulle
 3 Erosion faible
 4 Erosion légère (profondeur < 5 cm)
 5 Erosion moyenne (profondeur > 5 cm)
 6 Débris de matériaux fins (sables, graviers, cailloux...)
 7 Débris de matériaux fins (limons, argiles)

Géologie

Organisation Géologique

1 Profil monolithique
 2 Profil hétérogène
 3 Profil polythique

Nom roches dominantes:

Etages géologiques:

Classe matériau

1 Roches ou matériaux non identifiés
 2 Roches cristallines ignées
 3 Roches cristallines métamorphiques
 4 Roches volcaniques porphyritiques
 5 Roches métamorphiques
 6 Roches sédimentaires cohérentes riches en carbonates et / ou magnésite
 7 Roches sédimentaires cohérentes calcaires
 8 Roches sédimentaires cohérentes silico-alumineuses
 9 Roches sédimentaires argileuses
 10 Roches phosfolites
 11 Roches sédimentaires ferrifères et aluminées
 12 Roches sédimentaires carbonées
 13 Roches sédimentaires meubles
 14 Roches sédimentaires meubles carbonatées
 99 Autres roches

Résistance

1 Peu résistante
 2 Résistante
 3 Très résistante

Litage

1 Horizontal
 2 Vertical
 3 Oblique

Désagrégation

0 Non désagrégée
 1 Peu désagrégée
 2 Désagrégée
 3 Très désagrégée

Altération

0 Non altérée
 1 Peu altérée
 2 Altérée
 3 Très altérée

Hydrologie

Régime Hydroïque 5

1 Saturé en permanence
 2 Saturé chaque jour
 3 Saturé de manière saisonnière
 4 Humide en permanence
 5 Sec de manière saisonnière
 6 Complètement sec

Régime Submersion 0

0 Apparement jamais submergé
 1 Apparement submergé saisonnière
 2 Submergé chaque jour
 3 Submergé en permanence

Excès d'eau

0 Sans excès d'eau
 1 Excès d'eau temporaire
 2 Inondations
 3 Nappe (souterraine) libre
 4 Nappe (souterraine) captive
 5 Submersion (débordements, mares)
 6 Résurgences sources et sources
 7 Stagnation de surface

Origine excès eau

1 Non identifiée
 2 Pluie
 3 Pluie des roches
 4 Addition d'eau d'origine externe
 5 Eau essentiellement d'origine externe

Drainage naturel

1 Drainage excessif
 2 Drainage favorable
 3 Drainage modéré
 4 Drainage important
 5 Drainage très important
 6 Drainage assez pauvre
 7 Drainage pauvre
 8 Drainage très pauvre
 9 Submergé

Profondeur actuelle de la nappe (cm) Niveau max supposé de la nappe (cm)

Geomorphologie

Code forme Exposition

Morphologie locale

1 Sur une bosse
 2 Dans un creux
 3 Sur une pente régulière
 4 Sur un replat

Situation dans le versant

1 Au bas du versant
 2 Au tiers inférieur du versant
 3 A mi-hauteur du versant
 4 Au tiers supérieur du versant
 5 Au sommet du versant

Situation / plantation

1 Entre deux rangées d'arbres
 2 Sur une rangée d'arbres
 3 Près d'un arbre

Situation / parcelle

1 Près de la limite de la parcelle
 2 Au centre de la parcelle
 3 Au tiers inférieur du versant
 4 Au bas de la parcelle

n°profil **F6** Etude **NITRAEP**

Profondeurs

1	0	30	40	55	88	100	120	135	140	Mix
2	30	40	55	88	100	120	135	140	Mix	
3	40	55	88	100	120	135	140	Mix		
4	55	88	100	120	135	140	Mix			
5	88	100	120	135	140	Mix				
6	100	120	135	140	Mix					

Texture

1	IAL	1	1
2	2AL	2	1
3	3AA	3	1
4	4AA	4	1
5	5A	5	1
6	6(A)	6	1

Matières Organiques

Abondance

0 Absente
1 Indéterminée
2 Moyenne (1 à 4 %)
3 Assez forte (4 à 10 %)
4 Forte (10 à 20 %)
5 Très forte (20 à 30 %)
6 Extrêmement forte (>30 %)

Altération

1 Non altérée
2 Faiblement altérées
3 Altérées
4 Très altérées

Structures

Type (A,B)

0 Continue ou massive
1 Percolaire
2 Lameulaire
3 Squameuse
4 En coque
5 En croûte
6 Polycroûte angulaire
7 Polycroûte subangulaire
8 Colonne
9 Fines obliques
10 Fortes obliques
11 Gréseuse
12 Purty ou microtrunculeuse
13 Grumeleuse
14 Fongique
15 Filiformes
16 Coprogrise
17 Lithique ou lithologique

Taille (A, B) (en mm)

1 15
2 20
3 30
4 40
5 50
6 A

Limites

Transition
ou
épaisseur de la limite
en cm

1 2
2 3
3 5
4 1
5 0,5
6 0

Effervescence

Intensité
(HCl 1/5)

1 1
2 2
3 0
4 1
5 2
6 4

Localisation

1 Généralisée
2 Localisée à la matrice
3 Localisée au squelette
4 Localisée aux él. Secondaires

Fragmentation

1 Non fragmentées
2 Peu fragmentées
3 Très fragmentées
4 Restes invisibles

Propriétés Mécaniques

Plasticité
si très humide

1 1
2 2
3 3
4 4
5 5
6 6

Adhésivité
si humide

1 1
2 2
3 3
4 4
5 5
6 6

Fermeté
si humide

1 1
2 2
3 3
4 4
5 5
6 6

Régularité

1 1
2 2
3 3
4 4
5 4
6 4

Humidité

1 2
2 2
3 2
4 2
5 2
6 2

Compacité

1 Meuble
2 Peu compact
3 Compact
4 Très compact

Dureté
si sec

1 1
2 2
3 3
4 3
5 4
6 4

Fragilité
si sec

1 1
2 2
3 3
4 0
5 1
6 3

Friabilité
si frais

1 2
2 2
3 0
4 0
5 1
6 3

Netteté (A, B)

1 2
2 1
3 3
4 3
5 3
6 A

Relation entre Struct. (A et B)

1 1
2 1
3 1
4 1
5 2
6 4

n° profil **F6** Etude **NITRAEP** **3**

Couleur

de l'horizon
 1 **FA**
 2 **FA**
 3 **FA**
 4 **FA**
 5 **FA**
 6 **FA**

Abondance en surface (A,B et C)

0. Peu de taches
 1. Peu nombreuses (< 2 %)
 2. Peu nombreuses (2 à 5 %)
 3. Assez nombreuses (5 à 15 %)
 4. Nombreuses (15 à 40 %)
 5. Très nombreuses (40 à 80 %)
 6. Dominantes (plus de 80 %)

Dimension (A,B et C)

1. Extrêmement fines (< 1 mm)
 2. Très fines (1 à 2 mm)
 3. Fines (2 à 6 mm)
 4. Moyennes (6 à 20 mm)
 5. Grosses (20 à 60 mm)
 6. Très grosses (> 60 mm)

Netteté des limites (A,B et C)

1. Peu nettes (> 2 mm)
 2. Nettes (2 à 0,5 mm)
 3. Très nettes (< 0,5 mm)

Contraste (A,B et C)

1. Peu contrastées
 2. Contrastées
 3. Très contrastées

Dégradation ou autres *
 A = Oxydation B = Réduction C = Dégradation ou autres *

Couleur (A,B et C)

1 **FA**
 2 **FA**
 3 **FA**
 4 **FA**
 5 **FA**
 6 **FA**

Forme (A,B et C)

1. Irréguliers
 2. Arrondies
 3. En rainures ou bandes verticales
 4. En rainures ou bandes obliques
 5. En rainures ou bandes orthogonales
 6. En rainures quelconques

Distribution (A,B et C)

1. Dans la matrice
 2. Sur les faces des agrégats
 3. Autour des pores
 4. Autour des éléments grossiers
 5. Autour des éléments fins
 6. En remplissage de fissures
 7. Sans relation avec les autres caractères

Nature (A et B)

1. Peu de revêtements
 2. Non identifiés
 3. Argiles avec sesquioxides
 4. Organo-argiles
 5. Autres types

Localisation (A et B)

1. Associés aux vides
 2. Sur les faces horizontales
 3. Sur les faces verticales
 4. Sur les faces verticales
 5. Sur le squelette

Recoûtement (A et B)

1. Très peu nombreux (< 5 % de recoûtement)
 2. Peu nombreux (5 à 25 % de recoûtement)
 3. Nombreux (25 à 50 % de recoûtement)
 4. Très nombreux (50 à 75 % de recoûtement)
 5. Généralisé (> à 75 % de recoûtement)

Epaisseur (A et B)

1. Très fins (< 4 0,05 mm)
 2. Moyens (0,05 à 0,5 mm)
 3. Epais (> à 0,5 mm)

Salinité

0. Non salé (0 à mS/cm)
 1. Légèrement salé (2 à 4 mS/cm)
 2. Moyennement salé (4 à 8 mS/cm)
 3. Salé (8 à 16 mS/cm)
 4. Très salé (> 16 mS/cm)

Aspect

0. Pas de particularité
 1. Faces de glissement
 2. Recouvrement bien individualisés
 3. Faces lumineuses non identifiées

Couleur

1 **Brun**
 2 **Brun**
 3 **Brun**
 4 **Brun**
 5 **Brun**
 6 **Brun**

Abondance

1. A
 2. 0
 3. 0
 4. 0
 5. 0
 6. 0

0. Absentes
 1. Peu nombreuses
 2. Nombreuses
 3. Très nombreuses

Nature

1. A
 2. 0
 3. 0
 4. 0
 5. 0
 6. 0

1. Coquilles
 2. Turbules
 3. Fibres
 4. Feuilles
 5. Galeries (de rongeurs)
 6. Kerovives
 7. Mycélium
 8. Mycélium et amas
 9. Charbon de bois
 10. Sous-solage
 11. Fumier
 12. Matière végétale
 13. Résidus de récolte enfouis
 14. Tracé de drainage
 15. Autres traces d'activité

Traces d'activités

* nature : _____

Saisie des horizons du profil

(compatible DONESOL 2)

n° profil

f6

Etude NITRAEP

Cristaux

Abondance en surface	
1	0 Pas de cristaux
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 60%)
	6 Dominants (plus de 60%)

Dimensions	
1	1 Extrêmement fins
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 5 mm)
4	4 Moyens (5 à 15 mm)
5	5 Gros (15 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

Nature	
1	1 Non identifiée
2	2 Carbonate de calcium
3	3 Gypse
4	4 NaCl
5	5 Juscarite
6	6 Autre

Nodules / Concrétions

Abondance	
1	0 Pas de nodules
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 60%)
	6 Dominants (plus de 60%)

Nature	
1	1 Non identifiée
2	2 Carbonate
3	3 Siliceuse
4	4 Ferreuse
5	5 Ferromanganésienne
6	6 Autre

Durété	
1	1 Tendres
2	2 Durs

Ciments

Dimensions	
1	1 Extrêmement fins (< 0,2 mm)
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 6 mm)
4	4 Moyens (6 à 20 mm)
5	5 Gros (20 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

Forme	
1	1 Arrondis
2	2 Allongés
3	3 Aplatis
4	4 Iréguliers
5	5 Nodules
6	6 Concrétions peu indurées

Type	
1	1 Nodules peu indurés
2	2 Nodules
3	3 Concrétions peu indurées
4	4 Concrétions

Épaisseurs

Nature	
1	0 Pas de cristaux
2	1 Non identifiée
3	2 Siliceuse
4	3 Carbonate et siliceuse
5	4 Ferreuse
6	5 Ferromanganésienne
7	6 Humineuse
8	7 Autre
9	8 Autre

Durété	
1	1 Très tendres
2	2 Tendres
3	3 Durs
4	4 Très durs

Structure

1	0 Aucune
2	1 Lamellaire
3	2 Vésiculaire
4	3 Psédothique
5	4 Nodulaire
6	5 Autre

Régularité

1	1 Uniforme
2	2 Régulière
3	3 Moyennement épaisse
4	4 Épaisse
5	5 Très épaisse
6	6 Nodulaire

Contact

1	0 Pas de modification de la texture
2	1 Concentration non identifiée
3	2 Descoloration carbonée
4	3 Concentration siliceuse
5	4 Concentration humineuse
6	5 Concentration organique
7	6 Concentration saline

Racines

Abondance	
1	0 Pas de racines
2	1 Très peu nombreuses (< 5/dm ²)
3	2 Peu nombreuses (5 à 10/dm ²)
4	3 Assez nombreuses (10 à 20/dm ²)
5	4 Nombreuses (20 à 30/dm ²)
6	5 Très nombreuses (> 30/dm ²)

Localisation	
1	1 dans la masse
2	2 dans les agrégats
3	3 entre les agrégats
4	4 dans les chaux
5	5 dans les chaux
6	6 évitant les zones compactes

Orientation

1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

État sanitaire

1	1 Saines
2	2 Nécessaires
3	3 Pourries
4	4 Gammes de rouille

Dimensions

1	1 très fines (< 0,5 mm)
2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 très grosses (> 20 mm)

Forme

1	1 normales
2	2 tourmentées
3	3 en arête de poisson
4	4 en arête de fer
5	5 aplatis
6	6 changement de section

Pénétration

1	0 non dévissés
2	1 gâchés par un obstacle de nature physique
3	2 gâchés par un obstacle chimique
4	3 gâchés par un obstacle chimique

Pores de l'agrégat

Abondance	
1	0 pas de pores visibles
2	1 peu nombreux (1-50/dm ²)
3	2 assez nombreux (50-200/dm ²)
4	3 nombreux (> 200/dm ²)

Dimensions	
1	1 très fins (d < 0,5 mm)
2	2 fins (0,5-2 mm)
3	3 moyens (2-5 mm)
4	4 larges (d > 5 mm)

Fentes

Disposition	
1	1 pas de fentes
2	2 fentes horizontales
3	3 fentes verticales
4	4 fentes obliques
5	5 fentes quelconques
6	6 fentes quelconques se terminant dans l'horizon

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Conduits de vers

Densité	
1	0 pas de conduits
2	1 peu nombreux (1-3/dm ²)
3	2 nombreux (3-5/dm ²)
4	3 très nombreux (> 5/dm ²)

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Aspect

1	0 Ni colonnes ni revêtements
2	1 Colonnes
3	2 Revêtements

Porosité Globale

1	0 non identifiée
2	1 non poreux (< 2%)
3	2 peu poreux (2 à 5%)
4	3 moyennement poreux
5	4 poreux (15 à 40%)
6	5 très poreux (> 40%)

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

N° profil Etude 5

Eléments grossiers

Schéma du profil

Voir schéma ci-après

Abondance % volume

1	40
2	40
3	20
4	X
5	X
6	0

% EG (A)

1	40
2	40
3	20
4	X
5	X
6	0

% EG (B)

1	X
2	X
3	X
4	X
5	X
6	0

Nature (A et B)

1	S
2	S
3	S
4	S
5	S
6	S

Réaction (A et B)

1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

Forme (A et B)

1	6
2	6
3	6
4	X
5	X
6	A

Taille (A et B)

1	2
2	2
3	2
4	2
5	2
6	A

Orientation globale (A et B)

1	
2	
3	
4	4
5	
6	

Transformation (A et B)

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Type d'horizon H

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Type d'horizon O

1	
2	
3	
4	
5	
6	

Code de l'horizon

1	LA
2	S
3	S
4	S
5	S
6	S

Commentaires : sur les différents horizons

1

2

3

4

5

6

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

STIPA 2000 - U.M.R. Sol et Environnement - INRA Montpellier

Labouré
Structural
Spécification de la couche



Annexe 7 : Description Donesol de la fosse 7

n°profil **F7**

Etude **NITRAEP**

2

Profondeurs

sommet		en cm		base	
1	0	30	36	38	38
2	30	38	70	74	74
3	36	38	85	91	91
4	70	74	108	114	114
5	85	91	114	140	140
6	108	114			

Min Max Min Max

Texture

Texture		Taille du sable	
1	L	1	
2	L-Lq	2	
3	A	3	
4	A-S	4	
5	A-La	5	
6	Sa	6	

1 fin (0,05 à 0,10 mm)
2 moyen (0,1 à 0,2 mm)
3 grossier (0,2 à 2 mm)

Matières Organiques

Abondance	
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

0 Absente
1 Indéterminée
2 Faible (< 1 %)
3 Faible (1 à 4 %)
4 Assez forte (4 à 10 %)
5 Forte (10 à 20 %)
6 Très forte (20 à 30 %)
7 Extrêmement forte (>30 %)

Altération	
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

0 Non altérée
1 Faiblement altérée
2 Altérée
3 Très altérée

Fragmentation	
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0

0 Non fragmentés
1 Peu fragmentés
2 Très fragmentés
3 Très fragmentés
4 Restes invisibles

Structures

Type (A,B)	
1	7
2	6
3	6
4	6
5	6
6	6

0 Continue ou massive
1 Poreuse
2 Lamellaire
3 Squameuse
4 Prismatic
5 en colonnes
6 Polyédrique
7 Polyédrique subangulaire
8 Cubique
9 En plans-obliques
10 En mosaïques
11 Floculée
12 Purifiée en microgranules
13 Granuleuse
14 Fibreuse
15 Fongique
16 Fongique
17 Lithique ou lithologique

Taille (A, B) (en mm)	
1	20
2	30
3	40/50
4	40/100
5	<10
6	40/50

Netteté (A, B)	
1	2
2	3
3	3
4	2
5	2
6	2

1 Faible
2 Modérée
3 Forte

Relation entre Struct. (A et B)	
1	
2	
3	
4	
5	
6	2

1 et sur structure
2 et sous structure
3 juxtaposée à une structure
4 mélangée à une structure

Compacité	
1	1
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

1 Meuble
2 Peu compact
3 Compact
4 Très compact

Dureté	
1	1
2	1
3	2
4	4
5	4
6	4

0 Pas de dureté
1 Très peu dur
2 Légèrement dur
3 Dur
4 Très dur
5 Extrêmement dur

Fermeté	
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Pas de fermeté
1 Très peu ferme
2 Peu ferme
3 Ferme
4 Très ferme
5 Extrêmement ferme

Effervescence

Intensité (HCl 11,5)	
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2
6	2

0 Nulle
1 Faible
2 Modérée
3 Forte
4 Extrêmement forte

Localisation	
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

1 Généralisée
2 Localisée à la matrice
3 Localisée au squelette
4 Localisée aux él. Secondaires

Propriétés Mécaniques

Adhésivité	
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non collant
1 Peu collant
2 Collant
3 Très collant

Plasticité	
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non plastique
1 Peu plastique
2 Plastique
3 Très plastique

Friabilité	
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

0 Non friable
1 Peu friable
2 Friable
3 Très friable

Transition ou épaisseur de la limite en cm	
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

Régularité	
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1

1 régulière
2 irrégulière
3 irrégulière ou glossique
4 interrompue

Humidité	
1	2
2	1
3	2
4	3
5	3
6	4

1 Sec
2 Frais
3 Humide
4 Très humide
5 Saturé
6 Noyé

n°profil **F7** Etude **NITRAEP** 3

Taches

A = Oxydation B = Réduction C = Dégradation ou autres *

Couleur de l'horizon

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Peu de taches
2. Peu nombreuses (< 2%)
3. Peu nombreuses (2 à 5%)
4. Assez nombreuses (5 à 15%)
5. Nombreuses (15 à 40%)
6. Très nombreuses (40 à 80%)
7. Dominantes (plus de 80%)

Abondance en surface (A, B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Extrêmement fines (< 1 mm)
2. Très fines (1 à 2 mm)
3. Fines (2 à 6 mm)
4. Moyennes (6 à 20 mm)
5. Grosses (20 à 60 mm)
6. Très grosses (> 60 mm)

Netteté des limites (A, B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Peu nettes (> 2 mm)
2. Nettes (2 à 0,5 mm)
3. Très nettes (< 0,5 mm)

Contraste (A, B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Peu contrastées
2. Contrastées
3. Très contrastées

* nature : _____

Traces d'activités

Distribution (A, B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Dans la matrice
2. Sur les faces des agrégats
3. Autour des pores
4. Autour des racines
5. En empilage de fineses
6. En empilage de fineses
7. Sans relation avec les autres caractères

Forme (A, B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Irréguliers
2. Arrondies
3. En traînes ou bandes
4. En traînes ou bandes verticales
5. En traînes ou bandes obliques
6. En traînes ou bandes orthogonales
7. En traînes pseudo-circulaires

Couleur (A, B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Ocre
2. Ocre
3. Ocre
4. Ocre
5. Ocre
6. Ocre

Couleur (A, B et C)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Ocre
2. Ocre
3. Ocre
4. Ocre
5. Ocre
6. Ocre

* nature : _____

Revêtements

Nature (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Très fins
2. Non-chemises
3. Appliqués
4. Non-chemises
5. Organiques
6. Autres types

Localisation (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Associés aux vides
2. Sur les faces horizontales
3. Sur les faces horizontales
4. Sur les faces verticales
5. Sur le squelette

Salinité

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

0. Non salé (0 à mS/cm)
1. Légèrement salé (2 à 4 mS/cm)
2. Moyennement salé (4 à 8 mS/cm)
3. Salé (8 à 16 mS/cm)
4. Très salé (> 16 mS/cm)

Épaisseur (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Fins (< 0,05 mm)
2. Moyens (0,05 à 0,5 mm)
3. Epais (> 0,5 mm)

Recouvrement (A et B)

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Très peu nombreux (< 5% de recouvrement)
2. Peu nombreux (5 à 25% de recouvrement)
3. Nombreux (25 à 50% de recouvrement)
4. Très nombreux (50 à 75% de recouvrement)
5. Généralisé (> 75% de recouvrement)

Aspect

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

0. Pas de particulate
1. Faces de particulate
2. Revêtements bien identifiables
3. Faces lissantes non identifiables

Couleur

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

Abondance

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

0. Absentes
1. Peu nombreuses
2. Nombreuses
3. Très nombreuses

Nature

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

1. Coquilles
2. Turbines
3. Restes de végétaux
4. Restes de débris
5. Galeries de rongeurs
6. Xenosomes
7. Nématodes
8. Charbon de bois
9. Surs-sèche
10. Feuilles
11. Feuilles
12. Restes de végétaux
13. Restes de végétaux
14. Traces de drainage
15. Autres fineses caractéristiques

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

n° profil **F7** Etude **NITRAEAP**

Cristaux

Abondance en surface	
1	0 Pas de cristaux
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Modérément nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 60%)
6	6 Dominants (plus de 60%)

Dimensions	
1	1 Extrêmement fins
2	2 Très fins (1 à 2 nm)
3	3 Fins (2 à 8 nm)
4	4 Moyens (8 à 75 nm)
5	5 Gros (75 à 200 nm)
6	6 Très gros (> 200 nm)

Nature	
1	1 Non identifiée
2	2 Siliceuse
3	3 Carbonatée et siliceuse
4	4 Ferrique
5	5 Ferromagnésique
6	6 Alumineuse
6	7 Ferromagnésique
6	8 Alumineuse
6	9 Autre

Abondance	
1	0 Pas de nodules
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Modérément nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 60%)
6	6 Dominants (plus de 60%)

Nodules / Concrétions

Nature	
1	1 Non identifiée
2	2 Siliceuse
3	3 Carbonatée et siliceuse
4	4 Ferrique
5	5 Ferromagnésique
6	6 Alumineuse
6	7 Ferromagnésique
6	8 Alumineuse
6	9 Autre

Dureté	
1	1 Nodule peu indurés
2	2 Nodules
3	3 Concrétions peu indurées
4	4 Concrétions

Forme	
1	1 Extrêmement fins (< 1 nm)
2	2 Très fins (1 à 2 nm)
3	3 Fins (2 à 6 nm)
4	4 Moyens (6 à 20 nm)
5	5 Gros (20 à 80 nm)
6	6 Très gros (> 80 nm)

Nature	
1	0 Aucun
2	1 Lamellaire
3	2 Vésiculaire
4	3 Psilothique
5	4 Nodulaire

Structure	
1	1 Non identifiée
2	2 Non identifiée
3	3 Non identifiée
4	4 Non identifiée
5	5 Non identifiée
6	6 Non identifiée

Racines

Abondance	
1	0 Pas de racine
2	1 Très peu nombreuses (< 5 dm)
3	2 Peu nombreuses (5 à 20 dm)
4	3 Nombreuses (20 à 40 dm)
5	4 Très nombreuses (40 à 60 dm)
6	5 Très nombreuses (> 60 dm)

Localisation	
1	1 dans la masse
2	2 dans les agrégats
3	3 dans les fissures
4	4 dans les chenaux
5	5 dans les zones compactes
6	6 évitant les zones compactes

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Etat sanitaire	
1	1 Saines
2	2 Nécessaires
3	3 Pourries
4	4 Gairesses de rouille

Dimensions	
1	1 Très fines (< 0,5 mm)
2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 très grosses (> 20 mm)

Pores de l'agrégat

Abondance	
1	0 pas de pores visibles
2	1 peu nombreux (1-50/dm ²)
3	2 assez nombreux (50-200)
4	3 nombreux (> 200/dm ²)

Dimensions	
1	1 très fins (d < 0,5 mm)
2	2 fins (0,5-2 mm)
3	3 moyens (2-5 mm)
4	4 larges (d > 5 mm)

Fentes

Disposition	
1	0 pas de fentes
2	1 débarrassées, Porozon
3	2 traversant l'horizon
4	3 se terminant dans l'horizon

Espacement (cm)	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Largeur (en mm)	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Conduits de vers

Densité	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Forme	
1	1 normales
2	2 tourmentées
3	3 en fil de fer
4	4 aplatis
5	5 changement de section

Aspect	
1	0 NI colmatés ni revêtus
2	1 Colmatés
3	2 Revêtus

Porosité Globale

Pénétration	
1	0 non déviés
2	1 lignes par un obstacle de nature physique
3	2 lignes par un obstacle de nature chimique
4	3 lignes par un obstacle de nature chimique
5	4 lignes par un obstacle de nature chimique
6	5 lignes par un obstacle de nature chimique

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

N° profil **F 7** Etude **NITRAEP**

5

Schéma du profil

Eléments grossiers

Abondance % volume		% EG (A)		% EG (B)	
1	2	1	4	1	4
2	1	2	1	2	1
3	1	3	1	3	1
4	1	4	1	4	1
5	1	5	1	5	1
6	1	6	1	6	1

Forme (A et B)		Taille (A et B)		Réaction (A et B)	
1	6	1	1	1	1
2	6	2	1	2	1
3	1	3	1	3	1
4	1	4	1	4	1
5	1	5	1	5	1
6	1	6	1	6	1

Transformation (A et B)		Orientation globale (A et B)	
1	0	1	4
2	0	2	4
3	1	3	1
4	1	4	1
5	0	5	1
6	0	6	1

Nature (A et B)		Type d'horizon H	
1	1	1	1
2	1	2	1
3	1	3	1
4	1	4	1
5	1	5	1
6	1	6	1

Type d'horizon O		Code de l'horizon	
1	1	k	LA
2	1	2	L
3	1	3	Sg
4	1	4	
5	1	5	
6	1	6	

Commentaires : sur les différents horizons

1

2

3

4

5

6

STIPA 2000 - U.M.R. Sol et Environnement - INRA Montpellier

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

Saisie de l'environnement du profil (compatible DONESOL 2)

6

N° profil Etude

*** Cette case est à cocher dans le cas d'une discontinuité observée dans le profil (pour la variable en question).**

Code classification WRB Séquence Horizons

Nom

Charge E.G. Sans charge (moins de 5 % d'el. Gros.)

Texture 1 Sabileuse 2 Limoneuse 3 Argileuse 4 Equilibrée

Couleur 1 Rouge 2 Rouge-brun 3 Brun-rouge 4 Brun 5 Brun-jaune 6 Jaune 7 Jaune-vert 8 Vert 9 Bleu 10 Gris 11 Noir 12 Blanc

Perméabilité 1 Imperméable (< 0,036 cm/h) 2 Peu perméable (0,036 à 0,36 cm/h) 3 Modérément perméable (0,36 à 3,6 cm/h) 4 Perméable (3,6 à 36 cm/h) 5 Très perméable (> 36 cm/h)

Structure 0 Non structurée 1 Peu structurée 2 Structure 3 Fortement structurée

Compacité 1 Meuble 2 Peu compact 3 Compact 4 Excessivement forte

Effervescence 0 Nulle 1 Faible 2 Modérée 3 Forte 4 Excessivement forte

Humus 1 Mail 2 Hydromul 3 Solide 4 Mésomol 5 Mor 6 Hydromor 7 Ammor 8 Tourbe

Racines 0 pas de racines 1 verticale régulière 2 peu de racines 3 irrégulière 4 nombreuses racines 5 très nombreuses racines

Distribution Racines 1 régulière 2 irrégulière 3 sub-superficielle

Salinité 0 Non salé (0 à 4 mS/cm) 1 Légèrement salé (4 à 8 mS/cm) 2 Moyennement salé (8 à 16 mS/cm) 3 Salé (16 à 32 mS/cm) 4 Très salé (> 32 mS/cm)

Différenciations (4 types possibles) 0 Non différencié 1 Peu différencié 2 Différencié par la texture 3 Différencié par la charge en éléments grossiers 4 Différencié par l'effervescence 5 Différencié par la salure 6 Différencié par la structure 7 Différencié par la compacité 8 Différencié par la perméabilité 9 Différencié par la nature du matériau 10 Différencié par le drainage 11 Différencié par le pH 12 Différencié par les accumulations 13 Différencié par les racines 14 Différencié par les faciès culturaux 15 Différencié par les faciès culturaux

Profondeur (en cm) Conséquence de la discontinuité 1 Obstacle important à la pénétration de l'eau 2 Obstacle important à la pénétration des racines 3 Obstacle important au travail du sol 4 Obstacle important à la remontée capillaire

Profondeur de la couche (M, R ou D) en cm

Artificialisation 1 Profil artificiellement tronqué 2 Profil recouvert d'une couche allochtone 3 Profil artificiel reconstruit de manière à reproduire le sol naturel 4 Profil reconstruit de manière différente du sol naturel

Intérêt description 1 Profil très intéressant 2 Profil moyennement intéressant 3 Profil peu intéressant 4 Analyse agronomique

Type profil 1 Profil fictif 2 Profil vrai 3 Sondage 4 Analyse agronomique

Triangle de texture 1 Pas de diagramme triangulaire 2 Triangle CCSBM (Belgique) 3 Triangle USDA, FAO, IRAT 4 Triangle carte des sols de l'ALSNE 5 Triangle EPFA 6 Triangle U.S. 7 Triangle ORSTOM 8 Triangle SOGREAH

Arrêt description 1 Horizon C atémé 2 Couche M, R ou D atémé 3 Nappe atémée 4 Profil artificiellement tronqué 5 Autre contrainte

Commentaires

sur le profil :

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

Annexe 8 : Description Donesol de la fosse 8

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

n° profil 78

Etude NITRAEAP

Profondeurs

1	30	30							
2	70	83							
3	83	110							
4	110								
5	140								
6									

↑ N° de l'horizon Min Max Min Max

Texture

1	L								
2	L								
3	L								
4	L								
5	L								
6	L								

si silice si silice

Taille du sable

1. fin (0,05 à 0,10 mm)
2. moyen (0,1 à 0,2 mm)
3. grossier (0,2 à 2 mm)

Matières Organiques

Abondance

1 3
2 3
3 3
4 3
5 3
6 3

Altération

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

Fragmentation

1 2
2 2
3 2
4 2
5 2
6 2

Structures

Type (A,B)

0 Continue ou massive
1 Punctaire
2 Lamellaire
3 Prismaïque
4 En colonnes
5 Polyédrique anguleuse
6 Polyédrique subanguleuse
7 En plaques
8 En plaques obliques
9 En finesaux
10 En finesaux
11 Grume
12 Pluffy ou microgrammeuses
13 Grume
14 Fibrilleuse
15 Feuilletée
16 Coprinée
17 Librique ou librologique

Taille (A, B) (en mm)

1 10-20
2 10-20
3 10-20
4 10-20
5 10-20
6 10-20

Netteté (A, B)

1 2
2 2
3 2
4 2
5 2
6 2

Relation entre Struct. (A et B)

1 et sur structure
2 et sous structure
3 juxtaposée à une structure
4 inclinaée à une structure

Efflorescence

Intensité (HCl 1/5)

1 0
2 0
3 0
4 1
5 2
6 3

Localisation

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

0 Nulle
1 Faible
2 Modérée
3 Forte
4 Extrêmement forte

1 Généralisée
2 Localisée à la matrice
3 Localisée au squelette
4 Localisée aux cl. Secondaires

Limites

Transition ou épaisseur de la limite en cm

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

Régularité

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

1 régulière
2 ondulée
3 irrégulière ou glossique
4 interrompue

Propriétés Mécaniques

Plasticité si très humide

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

Adhésivité si humide

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

Fermeté

si humide
0 Pas de fermeté
1 Très peu ferme
2 Peu ferme
3 Ferme
4 Très ferme
5 Extrêmement ferme

Durété si sec

0 Pas de dureté
1 Très peu dur
2 Légèrement dur
3 Dur
4 Très dur
5 Extrêmement dur

Fragilité si sec

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

0 Non fragile
1 Peu fragile
2 Fragile
3 Très fragile

Friabilité si frais

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

0 Non friable
1 Peu friable
2 Friable
3 Très friable

Compacité

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

1 Meuble
2 Peu compact
3 Compact
4 Très compact

Humidité

Humidité

1 1
2 1
3 1
4 1
5 1
6 1

1 Sec
2 Frais
3 Humide
4 Très humide
5 Saturé
6 Noyé

STPA 2000 - U.M.R. Sol et Environnement - INRA Montpellier

n° profil **f 8**

Etude **NITRAEP**

Taches

Couleur de l'horizon

1	0	1	2	3	4	5	6

Abondance en surface (A,B et C)

1	0	1	2	3	4	5	6

Dimension (A,B et C)

1	0	1	2	3	4	5	6

Netteté des limites (A,B et C)

1	0	1	2	3	4	5	6

Contraste (A,B et C)

1	0	1	2	3	4	5	6

* nature : _____

A = Oxydation B = Réduction C = Dégénération ou autres *

1	0	1	2	3	4	5	6

Distribution (A,B et C)

1	0	1	2	3	4	5	6

Forme (A,B et C)

1	0	1	2	3	4	5	6

Couleur (A,B et C)

1	0	1	2	3	4	5	6

Salinité

1	0	1	2	3	4	5	6

Localisation (A et B)

1	0	1	2	3	4	5	6

Nature (A et B)

1	0	1	2	3	4	5	6

Recouvrement (A et B)

1	0	1	2	3	4	5	6

Revêtements

Nature (A et B)

1	0	1	2	3	4	5	6

Localisation (A et B)

1	0	1	2	3	4	5	6

Salinité

1	0	1	2	3	4	5	6

Aspect

1	0	1	2	3	4	5	6

Faces

1	0	1	2	3	4	5	6

Couleur

1	0	1	2	3	4	5	6

Traces d'activités

1	0	1	2	3	4	5	6

1	0	1	2	3	4	5	6

Abondance

1	0	1	2	3	4	5	6

Nature

1	0	1	2	3	4	5	6

Aspect

1	0	1	2	3	4	5	6

Couleur

1	0	1	2	3	4	5	6

Epaisseur (A et B)

1	0	1	2	3	4	5	6

Recouvrement (A et B)

1	0	1	2	3	4	5	6

n°profil Etude NITRAEP

Cristaux

Abondance en surface

1	0 Pas de cristaux
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 60%)
6	6 Dominants (plus de 60%)

Nature

1	1 Non identifié
2	2 Carbonate de calcium
3	3 Oxyde
4	4 NaCl
5	5 Jarosite
6	6 Autre

Dimensions

1	1 Extrêmement fins
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 5 mm)
4	4 Moyens (5 à 15 mm)
5	5 Gros (15 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

nodules / Concrétions

Abondance

1	0 Pas de nodules
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 5%)
4	3 Assez nombreux (5 à 15%)
5	4 Nombreux (15 à 40%)
6	5 Très nombreux (40 à 60%)
6	6 Dominants (plus de 60%)

Nature

1	1 Non identifié
2	2 Siliceux
3	3 Carbonatés et siliceux
4	4 Serronibosés
5	5 Ferromanganeux
6	6 Alumineux
6	7 Autre

Dimensions

1	1 Extrêmement fins (< 1 mm)
2	2 Très fins (1 à 2 mm)
3	3 Fins (2 à 6 mm)
4	4 Moyens (6 à 20 mm)
5	5 Gros (20 à 60 mm)
6	6 Très gros (> 60 mm)

Forme

1	1 Arrondis
2	2 Allongés
3	3 Aplatis
4	4 Iréguliers

Type

1	1 Nodule peu indurés
2	2 Nodules
3	3 Concrétions peu indurées
4	4 Concrétions

Durété

1	1 Très tendres
2	2 Tendres
3	3 Dur
4	4 Très durs

Contact

1	0 Pas de modification de la matrice
2	1 Concentration non identifiée
3	2 Décoloration et/ou déformation
4	3 Concentration ferrugineuse
5	4 Concentration argileuse
6	5 Concentration organique
6	6 Concentration saline

Ciments

Nature

1	0 Non identifiés
2	1 Carbonatés
3	2 Siliceux et siliceux
4	3 Ferribosés
5	4 Ferromanganeux
6	5 Alumineux
6	6 Autre

Structure

1	0 Aucune
2	1 Lamellaire
3	2 Vésiculaire
4	3 Psittacique
5	4 Nodulaire

Épaisseur

1	1 Fins (< 10 mm)
2	2 Moyennement épais
3	3 Épais (> 50 mm)

Régularité

1	1 Irréguliers
2	2 Réguliers

Reines

Abondance

1	0 Pas de reines
2	1 Peu nombreuses (< 5/dm²)
3	2 Peu nombreuses (5 à 16/dm²)
4	3 Nombreuses (16 à 32/dm²)
5	4 Très nombreuses (> 32/dm²)

Localisation

1	1 dans la masse
2	2 dans les agrégats
3	3 entre les agrégats
4	4 dans les fissures
5	5 dans les chaux
6	6 évitant les zones compactes

Orientation

1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

État sanitaire

1	1 Saines
2	2 Nécrosées
3	3 Pourries
4	4 Gainées de rouille

Dimensions

1	1 très fines (< 0,5 mm)
2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 très grosses (> 20 mm)

Poros de l'agrégat

Abondance

1	0 pas de pores visibles
2	1 peu nombreux (1-50/dm²)
3	2 assez nombreux (50-200)
4	3 nombreux (> 200/dm²)

Dimensions

1	1 très fins (d < 0,5 mm)
2	2 fins (0,5 à 2 mm)
3	3 moyens (2 à 5 mm)
4	4 larges (d > 5 mm)

Disposition

1	0 pas de fines
2	1 débutant dans l'horizon
3	2 traversant l'horizon
4	3 se terminant dans l'horizon

Espace (cm)

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Largeur (en cm)

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Fentes

Disposition

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Orientation

1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Densité

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Aspect

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Concréments de vers

Orientation

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Densité

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Aspect

1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Porosité Globale

Pénétration

1	0 non identifiée
2	1 non poreux (< 2%)
3	2 peu poreux (2 à 5%)
4	3 moyennement poreux (5 à 15%)
5	4 poreux (15 à 40%)
6	5 très poreux (> 40%)

Forme

1	1 normales
2	2 tournantes
3	3 en arête de poisson
4	4 en fil de fer
5	5 aplaties
6	6 changement de section

Pénétration

1	0 non déviées
2	1 égales par un obstacle de nature chimique
3	2 égales par un obstacle de nature chimique
4	3 égales par un obstacle de nature chimique
5	4 égales par un obstacle de nature chimique
6	5 égales par un obstacle de nature chimique

n°profil Etude NITRAEP

Cristaux

Abondance en surface	
1	0 Pas de cristaux
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 15%)
4	3 Assez nombreux (15 à 40%)
5	4 Nombreux (40 à 60%)
6	5 Très nombreux (60 à 80%)
	6 Dominants (plus de 80%)

Nature	
1	1 Non identifié
2	2 Siliceux
3	3 Carbonatés et siliceux
4	4 Carbonatés et siliceux
5	5 Serronibosés
6	6 Ferromagnésiques
	7 Ferromagnésiques
	8 Alumineux
	9 Autre

Dimensions	
1	1 Extrêmement fins (< 2 nm)
2	2 Très fins (2 à 6 nm)
3	3 Fins (6 à 20 nm)
4	4 Moyens (20 à 60 nm)
5	5 Gros (60 à 200 nm)
6	6 Très gros (> 200 nm)

Abondance	
1	0 Pas de nodules
2	1 Très peu nombreux (< 2%)
3	2 Peu nombreux (2 à 15%)
4	3 Assez nombreux (15 à 40%)
5	4 Nombreux (40 à 60%)
6	5 Très nombreux (60 à 80%)
	6 Dominants (plus de 80%)

Nodules / Concrétions

Nature	
1	1 Non identifié
2	2 Siliceux
3	3 Carbonatés et siliceux
4	4 Carbonatés et siliceux
5	5 Serronibosés
6	6 Ferromagnésiques
	7 Ferromagnésiques
	8 Alumineux
	9 Autre

Durété	
1	1 Nodule peu indurés
2	2 Nodules
3	3 Concrétions peu indurées
4	4 Concrétions

Type	
1	1 Nodule peu indurés
2	2 Nodules
3	3 Concrétions peu indurées
4	4 Concrétions

Forme	
1	1 Arrondis
2	2 Allongés
3	3 Aplatis
4	4 Iréguliers

Dimensions	
1	1 Extrêmement fins (< 2 nm)
2	2 Très fins (2 à 6 nm)
3	3 Fins (6 à 20 nm)
4	4 Moyens (20 à 60 nm)
5	5 Gros (60 à 200 nm)
6	6 Très gros (> 200 nm)

Nature	
1	0 Non identifié
2	1 Carbonatés
3	2 Siliceux et siliceux
4	3 Ferromagnésiques
5	4 Serronibosés
6	5 Ferromagnésiques
	6 Alumineux
	7 Autre

Structure	
1	0 Aucune
2	1 Lamellaire
3	2 Vésiculaire
4	3 Pséudotubulaire
5	4 Nodulaire

Racines

Abondance	
1	1 0 Pas de racines
2	2 1 Peu nombreuses (< 5/dm²)
3	3 2 Peu nombreuses (5 à 16/dm²)
4	4 3 Peu nombreuses (16 à 32/dm²)
5	5 4 Très nombreuses (> 32/dm²)
6	6 5 Très nombreuses (> 32/dm²)

Localisation	
1	1 dans la masse
2	2 dans les agrégats
3	3 entre les agrégats
4	4 dans les fissures
5	5 dans les chaux
6	6 évitant les zones compactes

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Etat sanitaire	
1	1 Saines
2	2 Pourries
3	3 Nécrisées
4	4 Guainées de rouille

Dimensions	
1	1 très fines (< 0,5 mm)
2	2 fines (0,5 à 2 mm)
3	3 moyennes (2 à 5 mm)
4	4 grosses (5 à 20 mm)
5	5 très grosses (> 20 mm)

Pores de l'agrégat

Abondance	
1	1 0 pas de pores visibles
2	2 1 peu nombreux (1-50/dm²)
3	3 2 assez nombreux (50-200)
4	4 3 nombreux (> 200/dm²)
5	5 4 très nombreux (> 200/dm²)
6	6 5 très nombreux (> 200/dm²)

Dimensions	
1	1 très fins (d < 0,5 mm)
2	2 fins (0,5 à 2 mm)
3	3 moyens (2 à 5 mm)
4	4 larges (d > 5 mm)

Fontes

Disposition	
1	1 0 pas de fontes
2	2 débutant dans l'horizon
3	3 traversant l'horizon
4	4 se terminant dans l'horizon

Espacement (cm)	
1	1 1
2	2 2
3	3 3
4	4 4
5	5 5
6	6 6

Largeur (en cm)	
1	1 1
2	2 2
3	3 3
4	4 4
5	5 5
6	6 6

Concréments de vers

Densité	
1	1 1
2	2 2
3	3 3
4	4 4
5	5 5
6	6 6

Orientation	
1	1 verticale
2	2 horizontale
3	3 oblique
4	4 quelconque

Aspect	
1	1 1
2	2 2
3	3 3
4	4 4
5	5 5
6	6 6

Pores de la matrice

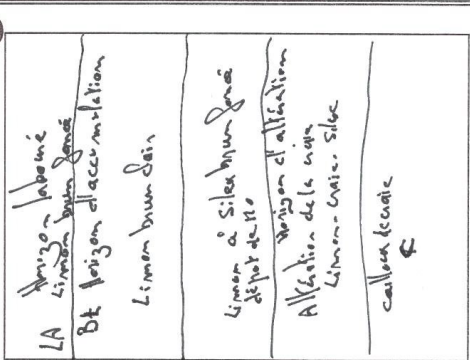
Forme	
1	1 normales
2	2 tournées
3	3 en arête de poisson
4	4 en fil de fer
5	5 apitales
6	6 changement de section

Pénétration	
1	1 0 non identifié
2	2 1 non poreux (< 2%)
3	3 2 peu poreux (2 à 5%)
4	4 3 moyennement poreux (5 à 10%)
5	5 4 moyennement poreux (10 à 40%)
6	6 5 très poreux (> 40%)

Saisie des horizons du profil (compatible DONESOL 2)

N° profil **F 8** Etude **NITRAEP**

Schéma du profil



Éléments grossiers

<p>Abondance % volume</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>30</td></tr> <tr><td>4</td><td>50</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	1	2	100	3	30	4	50	5	5	6		<p>% EG (A)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td></tr> <tr><td>5</td><td>95</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	1	2	1	3	1	4	70	5	95	6		<p>% EG (B)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td></tr> <tr><td>5</td><td>95</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	1	2	1	3	1	4	70	5	95	6	
1	1																																					
2	100																																					
3	30																																					
4	50																																					
5	5																																					
6																																						
1	1																																					
2	1																																					
3	1																																					
4	70																																					
5	95																																					
6																																						
1	1																																					
2	1																																					
3	1																																					
4	70																																					
5	95																																					
6																																						
<p>Forme (A et B)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	1	2	2	3	4	4	4	5	4	6		<p>Taille (A et B)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	2	2	2	3	1	4	3	5	3	6		<p>Orientation globale (A et B)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	4	2	4	3	2	4	2	5	2	6	
1	1																																					
2	2																																					
3	4																																					
4	4																																					
5	4																																					
6																																						
1	2																																					
2	2																																					
3	1																																					
4	3																																					
5	3																																					
6																																						
1	4																																					
2	4																																					
3	2																																					
4	2																																					
5	2																																					
6																																						
<p>Nature (A et B)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>Silex</td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>Silex</td></tr> <tr><td>4</td><td>Silex</td></tr> <tr><td>5</td><td>Silex</td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	Silex	2		3	Silex	4	Silex	5	Silex	6		<p>Réaction (A et B)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1		2		3		4		5		6		<p>Type d'horizon H</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1		2		3		4		5		6	
1	Silex																																					
2																																						
3	Silex																																					
4	Silex																																					
5	Silex																																					
6																																						
1																																						
2																																						
3																																						
4																																						
5																																						
6																																						
1																																						
2																																						
3																																						
4																																						
5																																						
6																																						
<p>Transformation (A et B)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1		2		3		4		5		6		<p>Code de l'horizon</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>LA</td></tr> <tr><td>2</td><td>Bt</td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1	LA	2	Bt	3		4		5		6		<p>Type d'horizon O</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> </table>	1		2		3		4		5		6	
1																																						
2																																						
3																																						
4																																						
5																																						
6																																						
1	LA																																					
2	Bt																																					
3																																						
4																																						
5																																						
6																																						
1																																						
2																																						
3																																						
4																																						
5																																						
6																																						

Commentaires sur les différents horizons
 1. Sol limoneux un peu jauni, argonneuse que, une silex avec laite
 2. An de pr argonneuse
 3. La silex limoneux et de sable d'argonneuse nasimulit en dessous de 20 cm
 4. Argonneuse, limoneuse, argonneuse
 5. Argonneuse, limoneuse, argonneuse
 6. Argonneuse, limoneuse, argonneuse

(version modifiée par l'INRA d'Orléans pour le RMQS, avril 2003)

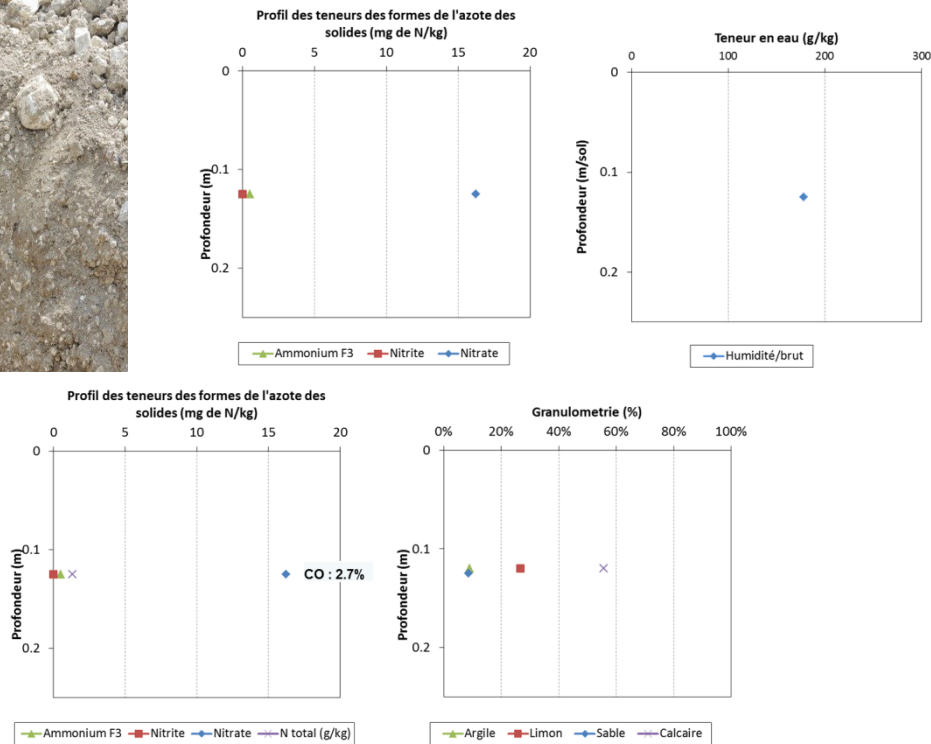
Annexe 2

Caractérisation complémentaire des sols par fosses pédologiques

UTS 1 : *RENDOSOL* limoneux sur Craie à 30cm (Fosse 3)

Sols issus de l'altération de la craie. Sols superficiels, limoneux à limono-argileux, carbonatés reposant sur la craie plus ou moins altérée.

RENDOSOL argileux calcaire graveleux issu de la craie du campanien. Concentration en nitrates très élevée, fertilisation organique relevée sur le terrain.



NB : N organique (Kjeldahl)= 1340 mg/kg de sol sec (1.34 g/kg de sol sec).

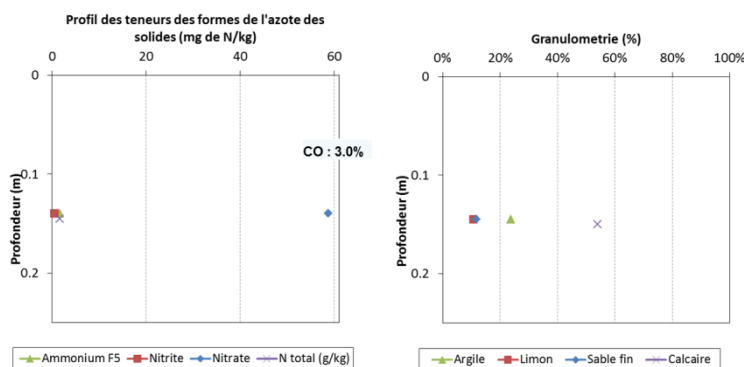
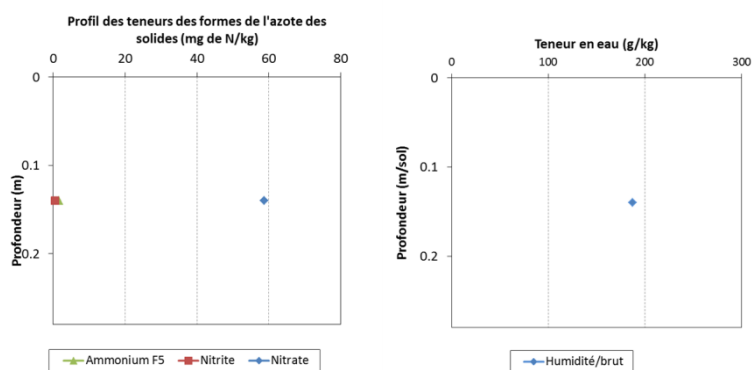
Vérification teneur en nitrates sol crayeux (prélèvement 24/07/2015), méthode de prélèvement à la tarière à main en différents points homogénéisés avant analyse.

N° échantillon	Profondeur cm	Humidité % sur sec	N-NH4 mg/kg ts	N-NO3 mg/kg ts
F3.1	0-30	16	2.9	18.8
F3.2	0-30	16	3.2	24.1

UTS2 : *RENDOSOL* argileux sur Craie à 30 cm (Fosse 5)

Sols issus de l'altération de la craie. Sols superficiels argileux ou argilo-limoneux, reposant sur la craie plus ou moins altérée.

RENDOSOL argileux calcaire graveleux issu de la craie du campanien Concentration en nitrates très élevée.



NB : N organique (Kjeldahl)= 1580 mg/kg de sol sec (1.58 g/kg de sol sec).

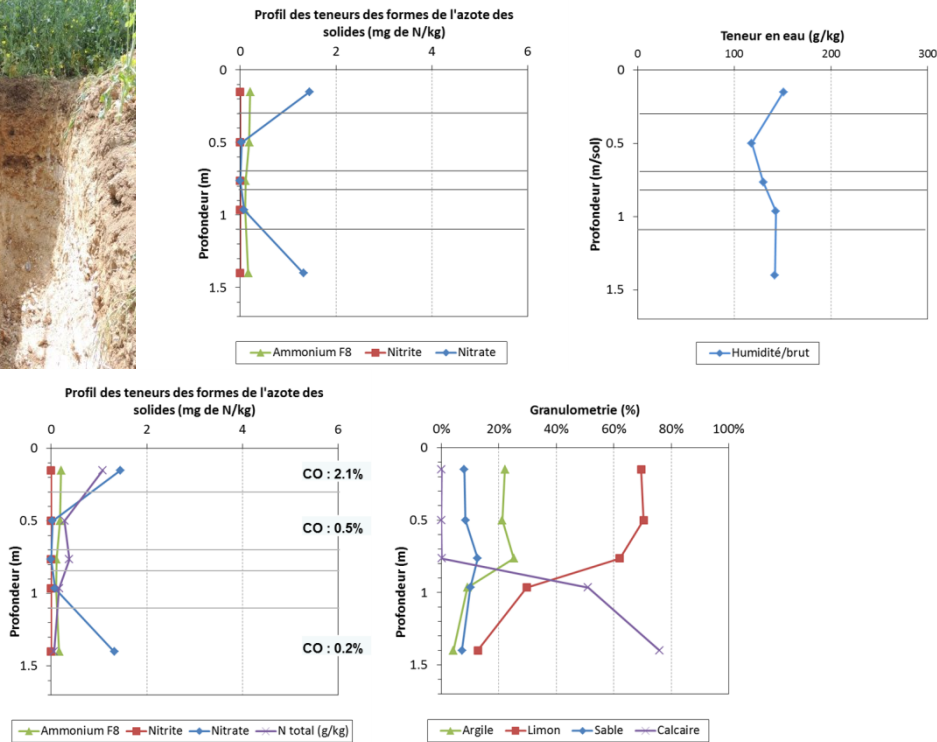
Vérification teneur en nitrates sol crayeux par analyse complémentaire (prélèvement 24/07/2015), méthode de prélèvement à la tarière à main en différents points homogénéisés avant analyse.

N° échantillon	Profondeur cm	Humidité % sur sec	N-NH4 mg/kg ts	N-NO3 mg/kg ts
F5.1	0-30	20	2.9	31.5
F5.2	0-30	19	4.4	35.3

UTS3 : COLLUVIOSOL superposé à un RENDOSOL sur Craie (Fosse 8)

Sols issus de l'altération de la craie. Sols moyennement superficiels non hydromorphes, limoneux à limono- argileux, carbonatés, reposant sur la craie plus ou moins altérée.

Colluviosol limoneux, cultivé issu de colluvion limoneuses de versant, superposé à un RENDOSOL limono-graveleux issu de la craie du Campanien.

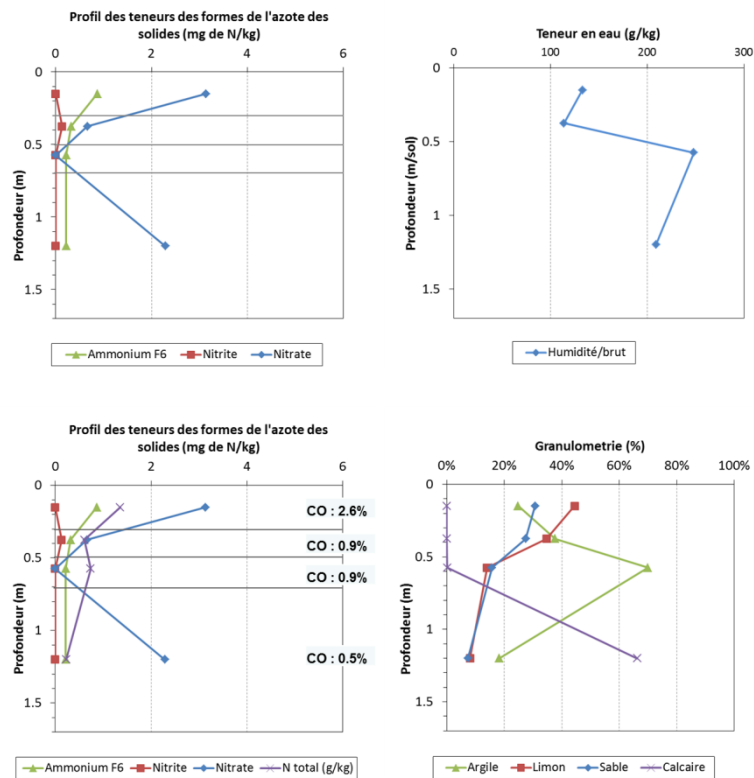


NB : **N organique (Kjeldahl) 1 = 1080 mg/kg de sol sec (1.08 g/kg de sol sec).**
N organique (Kjeldahl) 2 = 230 mg/kg de sol sec (0.23 g/kg de sol sec).
N organique (Kjeldahl) 3 = 370 mg/kg de sol sec (0.37 g/kg de sol sec).
N organique (Kjeldahl) 4 = 170 mg/kg de sol sec (0.17 g/kg de sol sec).
N organique (Kjeldahl) 5 = 60 mg/kg de sol sec (0.06 g/kg de sol sec).

UTS4 : CALCOSOL argileux sur Craie à 70 cm et poche de dissolution de la craie (Fosse 6)

Sols issus de l'altération de la craie. Sols moyennement superficiels argileux ou argilo-limoneux, reposant sur la craie plus ou moins altérée.

Modification importante de la granulométrie le long du profil. Peut expliquer l'absence de nitrates vers 50 cm. Impact visible aussi sur la teneur en eau. La présence d'une semelle de labour peut être une explication à cette distribution de concentration.

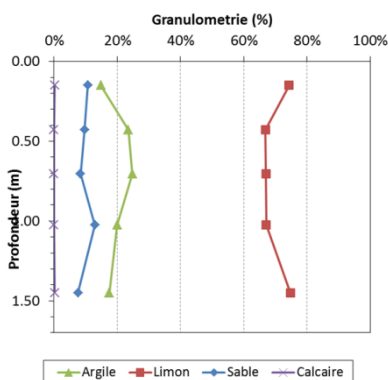
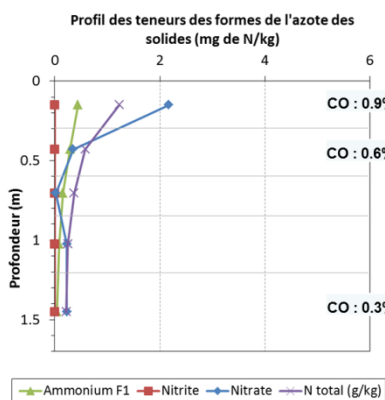
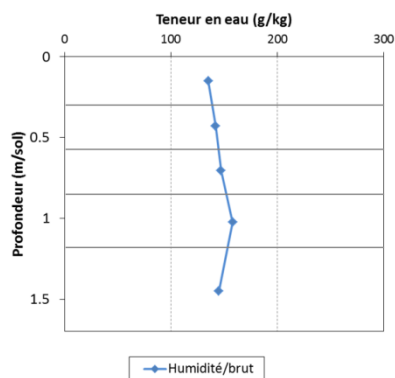
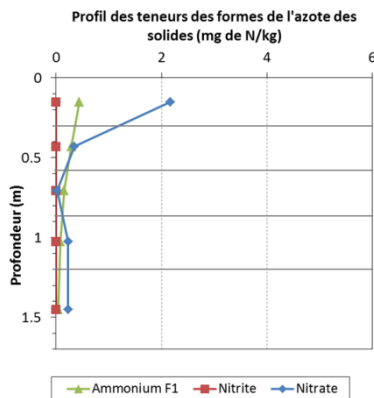


- NB :
- N organique (Kjeldahl) 1 = 1360 mg/kg de sol sec (1.36 g/kg de sol sec).**
 - N organique (Kjeldahl) 2 = 610 mg/kg de sol sec (0.61 g/kg de sol sec).**
 - N organique (Kjeldahl) 3 = 740 mg/kg de sol sec (0.74 g/kg de sol sec).**
 - N organique (Kjeldahl) 4 = 230 mg/kg de sol sec (0.23 g/kg de sol sec).**

UTS5 : NEOLUVISOL limoneux (Fosse 1)

Sols issus des limons loessiques. Limons profonds, bruns à bruns clairs, non hydromorphes à faiblement hydromorphes.

Comportement le plus classique, présence de nitrates plus importante dans le premier horizon due à la dernière fertilisation puis diminution des concentrations.



- NB : **N organique (Kjeldahl) 1 = 1230 mg/kg de sol sec (1.23 g/kg de sol sec).**
N organique (Kjeldahl) 2 = 580 mg/kg de sol sec (0.58 g/kg de sol sec).
N organique (Kjeldahl) 3 = 370 mg/kg de sol sec (0.37 g/kg de sol sec).
N organique (Kjeldahl) 4 = 250 mg/kg de sol sec (0.25 g/kg de sol sec).
N organique (Kjeldahl) 5 = 220 mg/kg de sol sec (0.22 g/kg de sol sec).

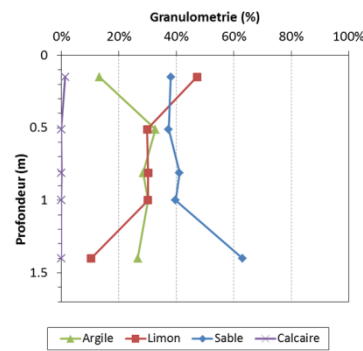
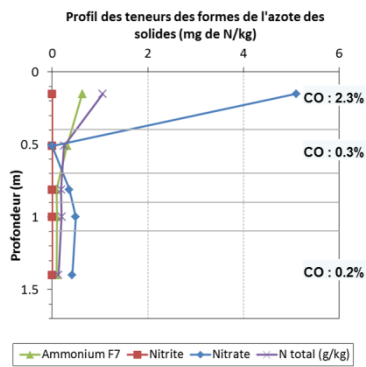
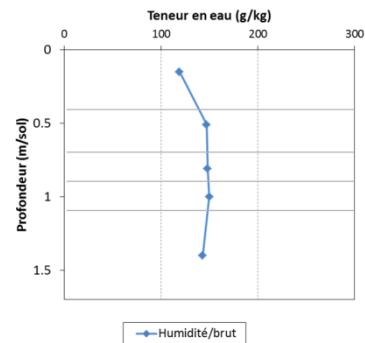
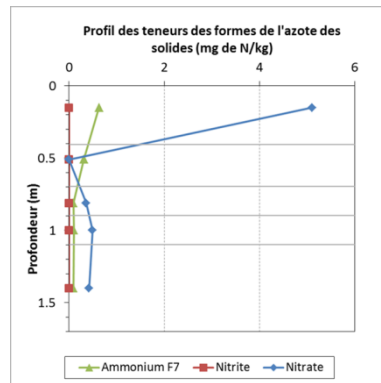
Masse volumique sèche :

N°échantillon	Masse volumique sèche g/cm ³
F1-H1	1.33
F1-H2	1.53
F1-H5	1.40

UTS6 : REDOXISOL argilo-sableux à silex (Fosse 7)

Sols issus de l'argile à silex. Sols argileux fortement hydromorphes.

Comportement le plus classique, présence de nitrates plus importante dans le premier horizon due à la dernière fertilisation puis diminution des concentrations. Absence de nitrates vers 50 cm.

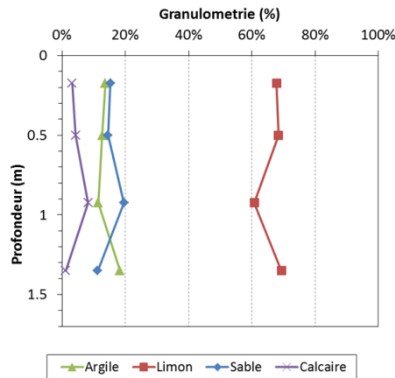
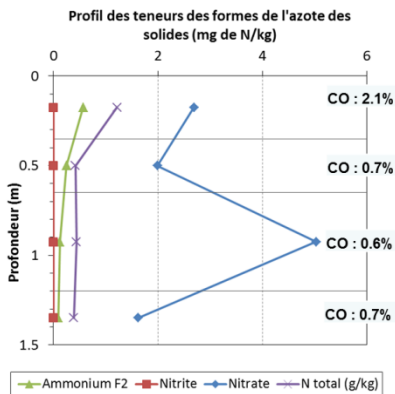
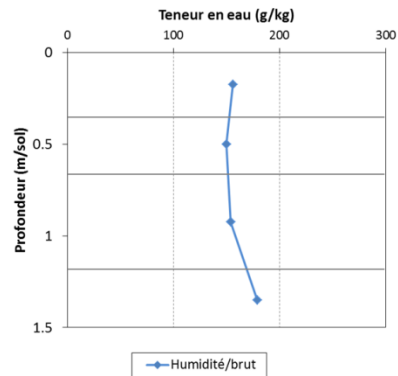
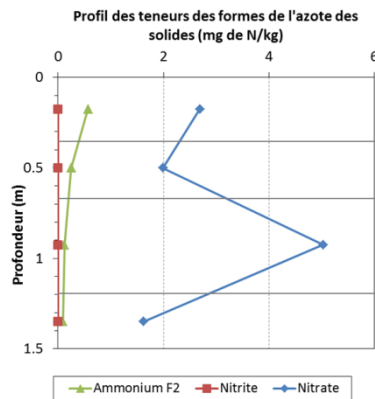


NB : N organique (Kjeldahl) 1 = 1060 mg/kg de sol sec (1.06 g/kg de sol sec).
 N organique (Kjeldahl) 2 = 250 mg/kg de sol sec (0.25 g/kg de sol sec).
 N organique (Kjeldahl) 3 = 190 mg/kg de sol sec (0.19 g/kg de sol sec).
 N organique (Kjeldahl) 4 = 200 mg/kg de sol sec (0.20 g/kg de sol sec).
 N organique (Kjeldahl) 5 = 130 mg/kg de sol sec (0.13 g/kg de sol sec).

UTS 7 : COLLUVIOSOL limoneux, fond de Talweg (Fosse 2).

Sols issus des Colluvions. Colluvions des vallées sèches. Limons bruns clairs, non hydromorphes et fortement carbonatés dès la surface.

Pics de concentration à un mètre de profondeur, accident de culture ou surfertilisation il y a 2 ou 3 ans (vitesse théorique). Concentration moyenne en nitrates relativement élevée. A noter : cet horizon correspond à un changement léger de granulométrie.

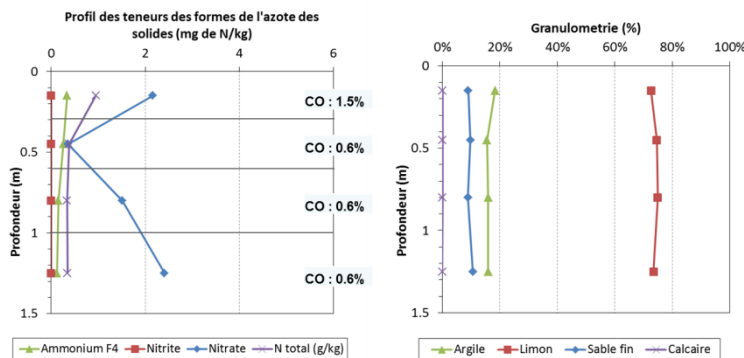
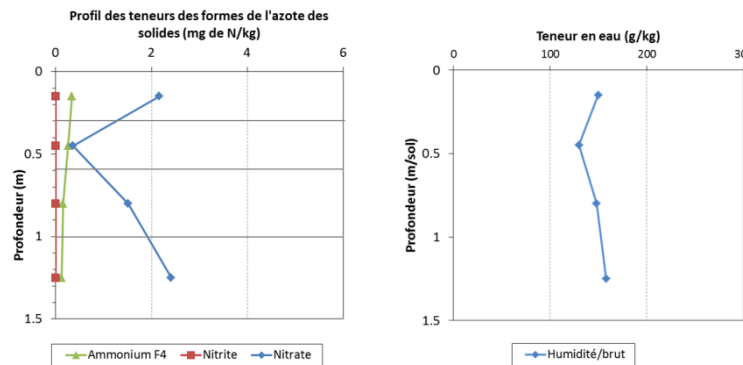


- NB :
- N organique (Kjeldahl) 1 = 1220 mg/kg de sol sec (1.22 g/kg de sol sec).**
 - N organique (Kjeldahl) 2 = 420 mg/kg de sol sec (0.42 g/kg de sol sec).**
 - N organique (Kjeldahl) 3 = 440 mg/kg de sol sec (0.44 g/kg de sol sec).**
 - N organique (Kjeldahl) 4 = 390 mg/kg de sol sec (0.39 g/kg de sol sec).**

UTS8 : COLLUVIOSOL limoneux (Fosse 4)

Sols issus des Colluvions. Colluvions des versants. Limons bruns à bruns clairs non hydromorphes, plus ou moins carbonatés (parfois non carbonatés).

Pics de concentration à un mètre de profondeur, accident de culture ou sur-fertilisation. Concentration moyenne en nitrates relativement élevée. Peut être due à une concentration en argile relativement élevée. La présence d'une semelle de labour et de culture encore en place (qui consomme l'azote arrêté par la semelle) peut être une explication à la baisse de concentration vers 50 cm.



NB : N organique (Kjeldahl) 1 = 950 mg/kg de sol sec (0.95 g/kg de sol sec).
 N organique (Kjeldahl) 2 = 340 mg/kg de sol sec (0.34 g/kg de sol sec).
 N organique (Kjeldahl) 3 = 350 mg/kg de sol sec (0.35 g/kg de sol sec).
 N organique (Kjeldahl) 4 = 350 mg/kg de sol sec (0.35 g/kg de sol sec).

Annexe 3

Données mesurées lors de la réalisation du profil ZNS sur la parcelle boisée ZS43 à Caix 3

profondeur	humidité	Ammonium	Nitrite	Nitrate	Carbone organique	Faciès *
	<i>en kg de terre sec</i>	<i>en kg de terre sec</i>	<i>en kg de terre sec</i>	<i>en kg de terre sec</i>		
m	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg	
0.5	101	1.17	< 0.1	0.67		LIMONS
1	85	0.24	< 0.1	0	2.4	
1.5	58	0.14	< 0.1	0	1.9	
2	56	0.11	< 0.1	0	1.8	
2.5	54	0.11	< 0.1	0	1.6	
3	55	0.13	< 0.1	0.06	1.5	
3.5	53	0.15	< 0.1	0	1.7	
4	72	0.16	< 0.1	0	1.6	
4.5	74	0.15	< 0.1	0		
5	113	0.14	< 0.1	0		
5.5	184	0.03	< 0.1	7.82		CRAIE
6	191	0.04	< 0.1	8.17	0.5	
6.5	185	0.02	< 0.1	7.27		
7	186	0.02	< 0.1	6.75		
7.5	170	0.11	< 0.1	5.28		
8	172	0.06	< 0.1	5.19	0.5	
8.5	163	0.03	< 0.1	3.57		
9	160	0.09	< 0.1	3.48		
9.5	181	0.04	< 0.1	4.3		
10	187	0.04	< 0.1	5.41		
10.5	176	0.1	< 0.1	6.39		
11	182	0.05	< 0.1	7.13		
11.5	202	0.04	< 0.1	6.67		
12	190	0.05	< 0.1	5.91	0.4	
12.5	167	0.16	0.114	4.48		
13	194	0.04	< 0.1	5.42		
13.5	183	0.06	< 0.1	5.28		
14	184	0.05	< 0.1	5.6	0.3	
14.5	186	0.02	< 0.1	6.08		
15	185	0.03	< 0.1	6.3		
15.5	182	0.04	< 0.1	5.6		
16	186	0.06	< 0.1	5.69	0.3	
16.5	171	0.03	< 0.1	4.1		
17	182	0.03	< 0.1	3.41		
17.5	176	0.03	< 0.1	2.86		
18	177	0.04	< 0.1	2.22	0.6	
18.5	185	0.02	< 0.1	1.86		
19	179	0.03	< 0.1	1.46		
19.5	171	0.02	< 0.1	1.85		
20	179	0.03	< 0.1	1.88		
20.5	177	0.03	< 0.1	1.93		
21	168	0.04	< 0.1	2.13		
21.5	175	0.04	< 0.1	1.98		
22	188	0.02	< 0.1	2.44	0.4	

* mesures ponctuelles

Annexe 4

Fichiers de paramètres MARTHE-MONICA utilisés pour les simulations en coupe verticale (2D) à Caix

Paramètres de nitrification et minéralisation du sol (*.minsol)

```
Fichier de Nitrification et Minéralisation des zones de sol
" #<V7.6># --- Fin du texte libre --- ; Ne pas modifier/retirer cette
ligne"Num_Zon_Sol Td_Minér_Sol Td_Nitrif_NH4 Tempér_Sol Satu_Opt_Minér Satu_Mini_Minér
At_Minér_Sol Bt_Minér_Sol Ct_Minér_Sol Satu_Opt_Nitrif Satu_Mini_Nitrif
Tempér_Opt_Nitrif Tempér_Mini_Nitrif Tempér_Maxi_Nitrif
1 255 115 10 1 0.3 6.00E-04 0.0272 0.0167 1 0.67 18 5 42
*** Fin du fichier de Nitrif. / Minéralis. des sols ***
```

Paramètres de minéralisation des engrais organiques (*.eng_org)

```
Fichier de types d'Engrais Organiques des Zones de Cultures
<< Explications sur les paramètres possibles sur 10 lignes >>
#<V7.6># --- Fin du texte libre --- ; Ne pas modifier/retirer cette ligne
Num_Typ_Engr Td_Minér %Ann_vers_Sol Nom_éventuel
1 17 10 # Prairie
*** Fin du fichier d'Engrais Organiques ***
```

Paramètres de minéralisation des résidus de récolte (*.re_reco)

```
Fichier de types de Résidus (organiques) après Récolte des Zones de Cultures
<< Explications sur les paramètres possibles sur 10 lignes >>
#<V7.6># --- Fin du texte libre --- ; Ne pas modifier/retirer cette ligne
Num_Typ_Résidu Td_Minér %Ann_vers_Sol Nom_éventuel
1 17.30 10 # Résidu C/N 60
*** Fin du fichier de Résidus après Récolte ***
```

Paramètres des cultures (*.fcult)

```
! Fichier décrivant chaque Culture
!Num Tmatu Tréco CCMax KC X1 X2 LAIMN LAIMX LAIRC Besoi D_Rac P_Rac Racin
FLETR STRS- STRS+ S_STR Bes_NO3 (Germi, Matur, Recolt, X1, X2)
!Fichier décrivant chaque Culture et les besoins en Eau et en NO3
!cultures de 1 à 26 champs adjacent à la parcelle ZS43 (partie amont)
!cultures de 31 à 57 parcelles zs43 mis en bois
!profondeur racine en centimètre et durée en jour
<< Explications sur les paramètres possibles sur 10 lignes >>
" #<V7.6># --- Fin du texte libre --- ; Ne pas modifier/retirer cette ligne"
Num T_Germin T_maturité T_récolte CC_Max KC X1_Lai X2_Lai LAI_Mini
LAI_Maxi LAI_Recolt Besoi_H2O Typ_Racin Prof_Racine Fact_Racin
Succ_FletrissStress_Min Stress_Max Seuil_Stress Bes_NO3_GermiBes_NO3_Matur
Bes_NO3_Recolt X1_Bes_NO3 X2_Bes_NO3 ! Nom
1 1 90 182 0.9 1 2 0.7 0 3.5 2.5 400 0
76 3.67 20 5 0.5 0.6 0 284.7 220 1 1
!Betterave
2 157 218 264 0.9 1 2 0.7 0 3.5 2.5 400 0
76 3.67 20 5 0.5 0.6 10 56 210 1 1
!Blé
3 1 92 132 0.9 1 2 0.7 0 3.5 2.5 400 0
76 3.67 20 5 0.5 0.6 0 30.5 152.5 1 1
!Orge
4 1 46 124 0.9 1 2 0.7 0 3.5 2.5 400 0
76 3.67 20 5 0.5 0.6 0 204.2 175 1 1
!Pomme de terre
5 156 217 263 0.9 1 2 0.7 0 3.5 2.5 400 0
76 3.67 20 5 0.5 0.6 15 63.2 237 1 1
!Blé
6 1 90 182 0.9 1 2 0.7 0 3.5 2.5 400 0
76 3.67 20 5 0.5 0.6 0 284.7 220 1 1
!Betterave
```

7	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	16	65.6	246	1	1	
!Blé												
8	1	46	124	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	204.2	175	1	1	
!Pomme de terre												
9	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	72.9	273.3	1	1	
!Blé												
10	54	90	161	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!Legume												
11	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	69.6	261	1	1	
!Blé												
12	1	90	182	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	284.7	220	1	1	
!Betterave												
13	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	68	255	1	1	
!Blé												
14	1	92	132	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	37	185	1	1	
!Orge												
15	1	46	124	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	204.2	175	1	1	
!Pomme de terre												
16	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	16	64.8	243	1	1	
!Blé												
17	1	90	182	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	284.7	220	1	1	
!Betterave												
18	157	218	264	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	75.2	282	1	1	
!Blé												
19	1	46	124	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	204.2	175	1	1	
!Pomme de terre												
20	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	68.8	258	1	1	
!Blé												
21	54	90	161	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!Legume												
22	157	218	264	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	68	255	1	1	
!Blé												
23	1	90	182	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	284.7	220	1	1	
!Betterave												
24	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	72.6	272.3	1	1	
!Blé												
25	1	92	132	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	35.5	177.5	1	1	
!Orge												
26	1	46	124	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	204.2	175	1	1	
!Pomme de terre												
31	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	15	61.6	231	1	1	
!Blé												
32	1	46	124	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	204.2	175	1	1	

Transferts de nitrates sur le bassin versant de Caix (80)

!Pomme de terre												
33	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	15	59.2	222	1	1	
!Blé												
34	1	56	91	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	10	25	1	1	
!Jachère												
35	1	90	182	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	284.7	220	1	1	
!Betterave												
36	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	16	63.2	237	1	1	
!Blé												
37	1	90	182	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	284.7	220	1	1	
!Betterave												
38	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	16	65.6	246	1	1	
!Blé												
39	1	46	124	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	204.2	175	1	1	
!Pomme de terre												
40	156	217	263	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	20	72.8	273	1	1	
!Blé												
41	121	244	346	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
42	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
43	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
44	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
45	121	244	365	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
46	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
47	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
48	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
49	121	244	365	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
50	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
51	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
52	120	243	364	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												
53	121	244	365	0.9	1	2	0.7	0	3.5	2.5	400	0
	76	3.67	20	5	0.5	0.6	0	0	0	1	1	
!boisement du SIEP												

```

54    120    243    364    0.9    1    2    0.7    0    3.5    2.5    400    0
      76    3.67    20    5    0.5    0.6    0    0    0    1    1
!boisement du SIEP
55    120    243    364    0.9    1    2    0.7    0    3.5    2.5    400    0
      76    3.67    20    5    0.5    0.6    0    0    0    1    1
!boisement du SIEP
56    120    243    364    0.9    1    2    0.7    0    3.5    2.5    400    0
      76    3.67    20    5    0.5    0.6    0    0    0    1    1
!boisement du SIEP
57    120    243    364    0.9    1    2    0.7    0    3.5    2.5    400    0
      76    3.67    20    5    0.5    0.6    0    0    0    1    1
!boisement du SIEP
*** Fin du fichier des Paramètres de Cultures      ***

```

Paramètres de rotation des cultures (*.prn)

Num Culture Zone Champs	Date	Num Culture Zone Boisée	Date
1	15/04/1991	31	25/10/1990
2	25/10/1991	32	29/04/1992
3	09/03/1993	33	25/10/1992
4	29/04/1994	34	17/07/1993
5	25/10/1994	35	15/04/1994
6	15/04/1996	36	25/10/1994
7	25/10/1996	37	15/04/1996
8	29/04/1998	38	25/10/1996
9	25/10/1998	39	29/04/1998
10	17/03/2000	40	25/10/1998
11	25/10/2000	41	01/01/2000
12	15/04/2002	42	01/01/2001
13	25/10/2002	43	01/01/2002
14	09/03/2004	44	01/01/2003
15	29/04/2005	45	01/01/2004
16	25/10/2005	46	01/01/2005
17	15/04/2007	47	01/01/2006
18	25/10/2007	48	01/01/2007
19	29/04/2009	49	01/01/2008
20	25/10/2009	50	01/01/2009
21	17/03/2011	51	01/01/2010
22	25/10/2011	52	01/01/2011
23	15/04/2013	53	01/01/2012
24	25/10/2013	54	01/01/2013
25	09/03/2015	55	01/01/2014
26	29/04/2016	56	01/01/2015
		57	01/01/2016

Paramètres généraux (*.mart)

```

*** Unités des données ***
  m/s=Unité de Perméabilité des aquifères en m/s (ou m2)
  m3/j=Unité de Débit en m3/s (ou kg/s si Gaz)
  m=Unité de Charge, Altitude, Pression en m
  mm=Unité de Hauteur Hydroclimatique (pour Pluie, ETP, Infiltration, Recharge)
  jou=Unité de Durée Hydroclimatique
  jou=Unité de Temps (des pas de temps de modèle)
  m=Unité de Coordonnées Horizontales en m

*** Contrôle de la Résolution Hydrodynamique ***
  500=Nombre maximal d'itérations pour les pas de temps suivant le pas n°0
[Régime Transitoire]
  6=Solveur =Eisenstat

*** Concentration et Trajectoires ***
  1=Calcul de la Concentration =Oui
  3=Méthode de Transport =TVD
  0=Diffusion moléculaire (m2/s)
  0=Dispersivité Longitudinale (m)
  0=Dispersivité Transversale (m)

*** Zone Non-Saturée et Multiphasique ***
  1=Calcul en Zone Non Saturée =Oui

*** Cultures, Nitrates***
  3=Cultures [0=Non ; 1=Cultures ; 2 = Nitrates ; 3 = Cultures + Nitrates]
  1=Type de Zones pour les Cultures et Nitrates =Zones de Cultures
  1=Schéma de Transpiration et Développement de la Végétation =Leachp
  1=Schéma de développement des Racines et des Prélèvements =Macro
  2=Schéma de Stress Hydrique =Macro
  5=Nombre de couches pour bilan nitrates

*** Initialisation avant calculs ***
/PERMEAB/MAILLE C= *L= *P= 1V= 6e-5;
/POROSITE/MAILLE C= *L= *P= 1V= 0.5;
/SATUR_RESI/MAILLE C= *L= *P= 1V= 0.4;
/IND_SUINTEM/MAILLE C= *L= 1P= 1V= 1;
/ZONE_METEO/MAILLE C= *L= 1P= 1V= 1;
/ZONE_GEOM/MAILLE C= *L= *P= 1V= 1;
/PARA_NON_SATU/ZONE_GEO Zon= 1; Loi_Retent= Homograph.; Succ_Reten= 0.7; Expos_Reten= 0.8; &
/PARA_NON_SATU/ZONE_GEO Loi_Perméa= Puissance(Satur); Expos_Perm= 4.1; Succ_Perméa= 0;
/ZONE_SOL/MAILLE C= 1:41 L= 1P= 1V= 1;
/ZONE_SOL/MAILLE C= 42:82 L= 1P= 1V= 2;
/ZONE_CULTUR/MAILLE C= 1:41 L= 1P= 1V= 1;
/ZONE_CULTUR/MAILLE C= 42:82 L= 1P= 1V= 2;
/DEBIT/MAILLE C= 1L= *P= *V= 9999;
/DEBIT/MAILLE C= 82L= *P= *V= 9999;
/CHARGE/MAILLE C= 1L= *P= *V= 58;
/CHARGE/MAILLE C= 82L= *P= *V= 50;
/*****/**** Fin d'Initialisation

```



Centre scientifique et technique
Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies (D3E)
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr