

MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL AUTOUR DE CAPTAGES D'EAU POTABILISABLE SENSIBLES QUALITATIVEMENT DU POINT DE VUE DU NITRATE

&

APPLICATION À SIX SITES DE LA SOCIÉTÉ WALLONNE DES EAUX

RAPPORT D'ACTIVITÉS FINAL

OCTOBRE 2015

Partie GRENERA

Ce rapport doit être cité de la manière suivante :

Bah B., Vandenberghe C., Colinet G. (2015). *Méthodologie de diagnostic environnemental autour de captages d'eau potabilisable sensibles qualitativement du point de vue nitrate & application à six sites de la Société Wallonne Des Eaux*. Rapport d'activités final. Partie GRENERA. Convention S.P.G.E. – SWDE, 149p.

Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège – Département Ingénierie des Biosystèmes (BIOSE) – Echanges Eau - Sol - Plante – Groupe de Recherche ENvironnement et Ressources Azotées (GRENeRA) (www.grenera.be)

Table des matières

1	INTRODUCTION ET PRINCIPE GÉNÉRAL	14
2	LOGIGRAMME PRINCIPAL.....	15
3	LOGIGRAMMES D’ACTIONS	17
3.1	CRITÈRES DÉCISIONNELS	17
3.2	LOGIGRAMME D’ACTIONS N1	19
3.3	LOGIGRAMME D’ACTIONS N2	22
3.4	LOGIGRAMME D’ACTIONS N3	25
3.5	PRINCIPES D’UNE PRIME APL	28
4	OUTILS.....	30
4.1	SUPERFICIE AGRICOLE UTILE	30
4.1.1	<i>La Carte d’occupation des sols de Wallonie - COSW.....</i>	<i>30</i>
4.1.2	<i>Le Système intégré de gestion et de contrôle - SIGEC.....</i>	<i>31</i>
4.1.3	<i>Comparaison entre COSW et SIGEC.....</i>	<i>32</i>
4.2	IMPACT DES SUCCESSIONS CULTURALES SUR LA LIXIVIATION DU NITRATE VERS LES EAUX SOUTERRAINES 33	
4.2.1	<i>Introduction</i>	<i>33</i>
4.2.2	<i>Evaluation du risque lié aux successions culturales.....</i>	<i>34</i>
4.2.3	<i>Production de la carte de risque pour la qualité de l’eau lié aux successions culturales 39</i>	
4.2.4	<i>Discussion et limites de l’approche</i>	<i>41</i>
4.3	APL MOYEN DE LA ZAC.....	43
4.3.1	<i>Introduction</i>	<i>43</i>
4.3.2	<i>Le contrôle APL.....</i>	<i>43</i>
4.3.3	<i>Estimation de l’APL moyen de la ZAC</i>	<i>44</i>
4.4	ASSAINISSEMENT	47
4.5	INFRASTRUCTURES DE STOCKAGE D’ENGRAIS DE FERME.....	49
4.6	SENSIBILITÉ DES SOLS À LA LIXIVIATION DU NITRATE	50
4.6.1	<i>Introduction</i>	<i>50</i>
4.6.2	<i>Expérimentation.....</i>	<i>50</i>
4.6.3	<i>Evaluation cartographique à partir de la carte des sols.....</i>	<i>62</i>
5	APPLICATION DES LOGIGRAMMES AUX SIX SITES PILOTES	75
5.1	INTRODUCTION	75
5.2	ESTIMATION DE L’APL MOYEN À L’ÉCHELLE DE LA ZONE D’ALIMENTATION DE CAPTAGE (ZAC)	76
5.3	APPLICATION DES LOGIGRAMMES D’ACTIONS À L’ÉCHELLE DES ZAC	77
5.3.1	<i>ZAC d’Arquennes.....</i>	<i>77</i>
5.3.2	<i>ZAC de Cornesse.....</i>	<i>85</i>
5.3.3	<i>ZAC de Givry</i>	<i>91</i>
5.3.4	<i>ZAC de Solre-sur-Sambre</i>	<i>98</i>
5.3.5	<i>ZAC de Waremme</i>	<i>105</i>
5.3.6	<i>ZAC de Petit Houmart</i>	<i>112</i>

5.3.7	<i>Conclusion</i>	117
5.4	ESTIMATION DU COÛT DE MISE EN ŒUVRE D'UN LOGIGRAMME D' ACTIONS	118
5.4.1	<i>Les mesures APL dans les parcelles</i>	118
5.4.2	<i>L'encadrement des agriculteurs</i>	119
5.4.3	<i>Coût global des programmes d'actions dans les ZAC pilotes</i>	119
6	CONCLUSIONS	122
7	BIBLIOGRAPHIE	124
8	ANNEXES	126
8.1	APL – PROBABILITÉ D'OCTROYER UNE PRIME À UN AGRICULTEUR.....	126
8.1.1	<i>Introduction – méthode d'estimation</i>	126
8.1.2	<i>Source de données</i>	126
8.1.3	<i>Résultats</i>	127
8.1.4	<i>Estimation budgétaire et conclusion</i>	128
8.2	APL – EXTRAPOLATION 0-30CM À 0-90CM DANS LE CADRE DE L'OCTROI D'UNE PRIME.....	129
8.2.1	<i>Introduction</i>	129
8.2.2	<i>Optimisation de la gestion des successions culturales et de l'azote</i>	129
8.2.3	<i>Réduction des coûts par une mesure unique dans le 0-30 cm</i>	130
8.2.4	<i>Synthèse et conclusion</i>	139
8.3	CODE « CULTURE » AFFECTÉ À CHAQUE CULTURE DU SIGEC (2009 – 2013), CORRESPONDANT À LA CONCATÉNATION DES CODES DES GROUPES DÉFINIS AUX TABLEAUX 1 ET 2, SUR BASE DES CRITÈRES D'ÉVALUATION « APL MESURÉ DANS LE SOL EN AUTOMNE » ET « PÉRIODE DE SEMIS ET DATE DE RÉCOLTE DES CULTURES »	140
8.4	EVALUATION DU RISQUE DE LIXIVIATION DU NITRATE LIÉ AUX TYPES DE SUCCESSIONS CULTURALES PRATIQUÉES SUR LES TERRES AGRICOLES WALLONNES ENTRE 1999 ET 2013	142
8.5	APL – EFFECTIF MINIMUM POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UNE MOYENNE À L'ÉCHELLE DE LA ZAC	143
8.5.1	<i>Méthodologie</i>	143
8.5.2	<i>Application aux six ZAC pilotes</i>	146
8.6	CONTENU DU DVD DES DIFFÉRENTS OUTILS DÉVELOPPÉS.....	147

Liste des figures

Figure 1. Logigramme d'actions N1.....	21
Figure 2. Logigramme d'actions N2.....	24
Figure 3. Logigramme d'actions N3.....	27
Figure 4. Planning des étapes et acteurs pour l'octroi d'une prime APL	28
Figure 5. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie version V2_07 (2007) (niveau 1 de la légende) ..	31
Figure 6. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, à l'échelle de la Wallonie.....	40
Figure 7. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées en Wallonie.	41
Figure 8. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, à l'échelle des Zones d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.	42
Figure 9. Distribution spatiale et conformité des parcelles contrôlées de 2007 à 2013.	43
Figure 10. Déroulement du programme d'observation.	44
Figure 11. Extrait du plan d'assainissement de Gembloux (Source : SPGE).	47
Figure 12. Localisation des parcelles en Wallonie.....	51
Figure 13. Localisation de la parcelle sablo limoneuse (Lbaz).	52
Figure 14. Localisation de la parcelle limoneuse (Aba1).	52
Figure 15. Localisation de la parcelle argileuse (Edxy).	53
Figure 16. Localisation de la texture moyenne (des 2 placettes échantillonnées) de chaque couche de sol sur le triangle des textures de la carte des sols de la Belgique.....	55
Figure 17. Pluviométrie enregistrée par la station météorologique du CARAH à Ath (novembre 2014 à avril 2015).....	57
Figure 18. Evolution du reliquat azoté dans la parcelle sablo-limoneuse.	58
Figure 19. Evolution du reliquat azoté dans la parcelle limoneuse.	58
Figure 20. Evolution du reliquat azoté dans la parcelle argileuse.	59
Figure 21. Evolution de l'humidité résiduelle dans les échantillons de la parcelle sablo-limoneuse (mois 1 = novembre, mois 6 = avril)	60
Figure 22. Evolution de l'humidité résiduelle dans les échantillons de la parcelle limoneuse (mois 1 = novembre, mois 6 = avril).....	60
Figure 23. Evolution de l'humidité résiduelle dans les échantillons de la parcelle argileuse (mois 1 = novembre, mois 6 = avril).....	61
Figure 24. Distribution de fréquence des points totaux des sigles pédologiques de la carte numérique des sols de Wallonie (CNSW).	69
Figure 25. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, à l'échelle de la Wallonie.	70
Figure 26. Diagramme en barres des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées en Wallonie.	71
Figure 27. Représentation de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, à l'échelle de la parcelle sablo-limoneuse (Lbaz).....	72

Figure 28. Représentation de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, à l'échelle de la parcelle limoneuse (Aba1).....	72
Figure 29. Représentation de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, à l'échelle de la parcelle argileuse (Edxy).....	73
Figure 30. Localisation géographique des six captages pilotes étudiés.	75
Figure 31. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC d'Arquennes. .	77
Figure 32. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.....	78
Figure 33. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).....	78
Figure 34. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes, estimées à partir du SIGEC 2013.	79
Figure 35. Evolution de l'APL moyen ($\text{kg N-NO}_3^- \text{ha}^{-1}$) pondéré par les superficies des cultures et prairies de 2005 à 2014, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.	80
Figure 36. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.	81
Figure 37. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.	82
Figure 38. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.....	83
Figure 39. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.....	84
Figure 40. Evolution de la concentration en nitrate aux prises d'eau d'Arquennes, entre juin 2006 et juin 2015.....	84
Figure 41. Etapes du logigramme N1 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Cornesse. ..	85
Figure 42. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse.....	86
Figure 43. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).....	86
Figure 44. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse, estimées à partir du SIGEC 2013.....	87
Figure 45. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.....	88
Figure 46. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.	89
Figure 47. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.....	89
Figure 48. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.	90

Figure 49. Etapes du logigramme N1 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Givry.....	91
Figure 50. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry.	92
Figure 51. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).....	92
Figure 52. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry, estimées à partir du SIGEC 2013.....	93
Figure 53. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry, correspondant au bassin de la Trouille.	94
Figure 54. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.....	95
Figure 55. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.	96
Figure 56. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.	97
Figure 57. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Solre-sur-Sambre.	98
Figure 58. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre.	99
Figure 59. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).	99
Figure 60. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre, estimées à partir du SIGEC 2013.	100
Figure 61. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre, correspondant au bassin de la Hantes.	101
Figure 62. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.....	102
Figure 63. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.	103
Figure 64. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.	104
Figure 65. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Waremme.	105
Figure 66. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme.	106
Figure 67. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).....	106

Figure 68. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme, estimées à partir du SIGEC 2013.....	107
Figure 69. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.....	108
Figure 70. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.	109
Figure 71. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.	110
Figure 72. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.	111
Figure 73. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Petit-Houmart.	112
Figure 74. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart.....	113
Figure 75. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).	113
Figure 76. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart, estimées à partir du SIGEC 2013.	114
Figure 77. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.	115
Figure 78. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Petit Houmart..	115
Figure 79. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.....	116
Figure 80. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.	117
Figure 81. Répartition du budget d'un programme d'actions en fonction des actions.....	121
Figure 82. Distribution de fréquence (cumulée) des APL moyens pondérés par exploitation suivie dans le cadre d'un contrat captage.	127
Figure 83. APL moyens annuels (min, médiane, max) des exploitations suivies dans le cadre d'un contrat captage.	127
Figure 84. Histogramme, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2011.....	132
Figure 85. Distribution cumulée, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2011.....	132
Figure 86. Relation, par classe de culture, entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm en 2011.....	133
Figure 87. Histogramme, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2012.....	135
Figure 88. Distribution cumulée, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2012.....	135
Figure 89. Relation, par classe de culture, entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm en 2012.....	136
Figure 90. Zones agro-pédologiques situées en zone vulnérable, ayant servi pour le calcul de la variabilité inter-parcellaire des données APL.....	145

Liste des tableaux

Tableau 1. Logigramme principal pour le choix du programme d'actions de restauration de la qualité de l'eau	15
Tableau 2. Lots de données utilisés pour l'élaboration de la COSW (Baltus <i>et al.</i> , 2007).	30
Tableau 3. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013.....	32
Tableau 4. Regroupement des occupations du sol sur base du critère APL.	35
Tableau 5. Regroupement des différentes cultures sur base des critères « période de semis » et « date de récolte ».....	35
Tableau 6. Code « culture » des 6 cultures les plus pratiquées de 2009 à 2013 en Wallonie, occupant 78 % de la surface agricole en 2013, en excluant les prairies.....	36
Tableau 7. Evaluation du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines lié aux successions impliquant les principales cultures pratiquées en Wallonie.....	38
Tableau 8. Surface couverte par les classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées en Wallonie.	40
Tableau 9. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.....	42
Tableau 10. Parts d'après le SIGEC 2013 des cultures contrôlées dans les masses d'eau souterraine du district de la Meuse (RWM).	45
Tableau 11. Parts d'après le SIGEC 2013 des cultures contrôlées dans les masses d'eau souterraine du district de l'Escaut (RWE).....	45
Tableau 12. Valeur moyenne de texture des différentes couches de sols échantillonnées sur deux placettes pour chaque type de sols.....	54
Tableau 13. Historique cultural des parcelles expérimentales.	55
Tableau 14. Fertilisation azotée pendant l'expérimentation.....	56
Tableau 15. Classification des classes texturales de la Carte numérique des sols de Wallonie (CNSW), pondérée par la présence éventuelle d'une variante de matériau parental.	65
Tableau 16. Définition des variantes de matériau parental.	65
Tableau 17. Classification des classes de drainage naturel de la Carte numérique des sols de Wallonie (CNSW).....	67
Tableau 18. Classification des classes de profondeur du sol de la Carte numérique des sols de Wallonie (CNSW) en fonction de leur pourcentage en éléments grossiers (adapté de Bah <i>et al.</i> , 2007).....	68
Tableau 19. Quelques statistiques globales de la distribution de fréquence des points totaux affectés aux différentes séries cartographiques de la CNSW.....	69
Tableau 20. Définition des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate.....	69
Tableau 21. Surface couverte par les classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate, à l'échelle de la Wallonie	71
Tableau 22. Superficie (ha), nombre de données « APL » disponibles au niveau des ZAC, APL moyen pondéré par les parts des cultures/prairies de 2007 à 2013 et nombre de données minimum nécessaires pour une erreur de 10 kg N NO ₃ - ha ⁻¹ au tour de la moyenne.	76

Tableau 23. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.	78
Tableau 24. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO ₃ ha ⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.	79
Tableau 25. APL moyens (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹) pondérés par les superficies des cultures et prairies, calculés sur base des données de GRENERA, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.....	80
Tableau 26. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.....	81
Tableau 27. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.....	83
Tableau 28. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse.....	85
Tableau 29. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO ₃ ha ⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse.	87
Tableau 30. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur les Zones d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.....	88
Tableau 31. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.	90
Tableau 32. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry.	91
Tableau 33. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO ₃ ha ⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry.	93
Tableau 34. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry, correspondant au bassin de la Trouille.	94
Tableau 35. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.	96
Tableau 36. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre.	98
Tableau 37. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO ₃ ha ⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre.....	100
Tableau 38. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre, correspondant au bassin de la Hantes.....	101

Tableau 39. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.	103
Tableau 40. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme.....	105
Tableau 41. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme.	107
Tableau 42. Données utilisées pour calculer le flux massique annuel d'azote à l'exutoire des captages et le flux massique potentiel domestique maximum, à l'échelle de la ZAC de Waremme.	108
Tableau 43. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.....	109
Tableau 44. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.	110
Tableau 45. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart.....	112
Tableau 46. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart.	114
Tableau 47. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation du captage (ZAC) de Petit Houmart.	114
Tableau 48. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.....	116
Tableau 49. Description des ZAC pilotes.....	120
Tableau 50. Estimation du budget global (9 années) pour les ZAC pilotes.	120
Tableau 51. Synthèse des résultats du contrôle APL 2011.....	131
Tableau 52. Relation, en 2011, par classe de culture entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm.	133
Tableau 53. Synthèse des résultats du contrôle APL 2012.....	134
Tableau 54. Relation en 2012, par classe de culture, entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm.	136
Tableau 55. Estimation du résultat APL 0-90 cm (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹), par classe de culture, à partir des équations établies en 2011 et 2012 (en rouge, les valeurs inférieures à 40 kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹).	137
Tableau 56. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en maïs sur le jeu de données complet.	137
Tableau 57. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en maïs sur le jeu de données réduit.	138
Tableau 58. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en betterave sur le jeu de données complet.	138
Tableau 59. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en betterave sur le jeu de données réduit.	138
Tableau 60. Ecart-types considérés pour le calcul de l'écart-type moyen considéré comme l'écart-type intra-parcellaire à l'échelle de la Wallonie.	144

Tableau 61. Nombre de données APL disponibles, APL moyen pondéré par les parts des cultures, écart-type inter-parcelle à l'échelle des zones agro-pédologiques et écart-type moyen pondéré global sur base des zones agro-pédologiques couvrant la zone vulnérable de Wallonie.....	145
Tableau 62. Superficie (ha), nombre de données APL disponibles, nombre de parcelles dans la ZAC, APL moyen pondéré ($\text{kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$) et Nombre de données « APL » minimum nécessaires pour l'estimation de l'APL moyen à l'échelle des six ZAC pilotes, pour une erreur maximale (précision) de $10 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ autour de la moyenne.....	146
Tableau 63. Arborescence des dossiers et contenu du DVD des données et résultats du projet.....	148

Liste des abréviations et acronymes

APL : Azote Potentiellement Lessivable : reliquat azoté mesuré dans le sol (jusque 90 cm de profondeur) à l'automne, exprimé en $\text{kg N-NO}_3^-.ha^{-1}$

CNSW : Carte Numérique des Sols de Wallonie

COSW : Carte d'Occupation des Sols de Wallonie

CSB : Carte des sols de la Belgique

DGOARNE : Direction générale opérationnelle, Agriculture Ressources naturelles et Environnement

GxABT : Gembloux Agro-Bio Tech

GRENeRA : Groupe de Recherches ENvironnement et Ressources Azotées, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège

HGE : Unité de Recherche Hydrogéologie & Géologie de l'Environnement

IRSIA : Institut pour l'encouragement et la recherche scientifique dans l'industrie et l'agriculture

PGDA : Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture, transposition de la Directive Nitrate en Région wallonne

PLI : Plan de Localisation Informatique

SAU : Superficie Agricole Utile

SIGEC : Système Intégré de Gestion Et de Contrôle

SPGE : Société Publique de Gestion de l'Eau

SPW : Service public de Wallonie

SWDE : Société Wallonne des Eaux

ULg : Université de Liège

1 INTRODUCTION ET PRINCIPE GÉNÉRAL

En Wallonie, les prélèvements d'eau souterraine représentent 383,1 millions de m³ (données 2008) pour une réserve annuellement renouvelable d'environ 550 millions de m³. La majeure partie (81 %) de cette eau souterraine captée est consacrée à l'eau de distribution (SPW-DGARNE, 2013).

L'eau distribuée doit respecter certaines normes de qualité au risque de présenter une menace pour la santé des consommateurs. Il est donc nécessaire de protéger les eaux souterraines contre les pollutions souvent d'origine anthropique. Cette protection se matérialise le plus souvent par la mise en place de périmètres/zones où sont prises certaines dispositions afin de prévenir la pollution des captages d'eau. Ces périmètres de protection sont surtout adaptés à la lutte contre les pollutions ponctuelles et accidentelles dans l'environnement proche du captage (Vernoux & Buchet, 2010).

D'autres dispositifs ou actions de protection complémentaires pour lutter plus efficacement contre les pollutions diffuses¹ (le plus souvent d'origine agricole) doivent donc être mises en œuvre. Ils consistent principalement en la mise en place de mesures de protection ou d'actions sur tout ou partie de la Zone d'Alimentation du Captage (ZAC).

La méthodologie à mettre en œuvre en vue de la détermination des actions à mener pour assurer la protection des captages d'eau vis-à-vis des pollutions diffuses se décompose en plusieurs étapes reprises ci-dessous (Vernoux *et al.*, 2011) :

1. la délimitation de la ZAC et la discrétisation spatiale de sa vulnérabilité intrinsèque.
2. l'identification des pressions s'exerçant sur le territoire (diagnostic territorial multi-pression) permettant, par croisement avec la vulnérabilité intrinsèque, de définir des zones à risques.
3. l'élaboration d'un plan d'actions visant à protéger la ZAC.

Les logigrammes présentés dans ce document traduisent cette méthodologie. Ils sont réalisés dans le cadre d'une convention entre la Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE), la Société Wallonne des Eaux (SWDE) et l'ULg-Gembloux Agro-Bio Tech (GRENeRA) et porte sur l'établissement d'une « *méthodologie de diagnostic environnemental autour de six captages d'eau potabilisable de la SWDE sensibles qualitativement du point de vue du nitrate* ». L'objectif est d'établir une méthodologie commune de diagnostic et de détermination des actions à entreprendre autour de captages en vue d'y préserver ou restaurer la qualité de l'eau, de tester la méthodologie autour de six prises d'eau pilotes et de mettre en œuvre les actions proposées sur deux ou trois sites pilotes.

Le but de ces logigrammes est donc de proposer une démarche commune de protection des captages d'eau souterraine contre les pollutions par le nitrate, tant d'origine agricole diffuse que ponctuelle².

¹ Selon l'ONEMA (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, France), on entend par « pollution diffuse » toute pollution dont l'origine ne peut être localisée en un point précis mais provient d'une surface importante. Ce type de transfert induit donc des difficultés pour identifier précisément les sources (pressions), les facteurs explicatifs des pollutions et, par voie de conséquence pour mettre en place des mesures pertinentes et efficaces autres que la réduction de l'apport (<http://www.onema.fr/IMG/pdf/Rencontres-N26.pdf>, consulté le 30/05/2014). Les nitrates et les pesticides sont les principaux polluants d'origine diffuse (Vernoux & Buchet, 2010)

² Une pollution est qualifiée de ponctuelle lorsque sa source est facilement identifiable. Les pollutions localisées se caractérisent plutôt par des contaminations bactériologiques, d'hydrocarbures ou d'autres substances telles que des solvants ou encore des métaux lourds. (Vernoux & Buchet, 2010).

2 LOGIGRAMME PRINCIPAL

Pour améliorer la qualité des eaux superficielles et souterraines, la directive européenne 91/676/CEE impose à chaque État membre de prendre une série de mesures qui visent à réduire et prévenir la contamination des eaux par le nitrate d'origine agricole (Vandenberghe & Marcoen, 2004). En Belgique, comme dans plusieurs autres pays européens, cette directive est appliquée au sein de territoires appelés zones vulnérables³ où la concentration en nitrate dans les eaux souterraines est proche de ou supérieure à 50 mg NO₃⁻ l⁻¹ ou lorsque les eaux sont eutrophisées ou menacées de l'être.

La Directive-cadre Eau (2000/60/CE) instituant un cadre communautaire pour une politique de l'eau est entrée en vigueur en 2000. Elle a été transposée dans la législation wallonne en 2004 sous la forme d'un Code de l'Eau ou livre II du Code de l'Environnement. Cette directive structure la politique de l'eau et fixe un objectif de bon état des masses d'eau à atteindre en 2015.

Pour toute prise d'eau, lorsque la concentration moyenne annuelle en nitrate est supérieure à 35 mg NO₃⁻ l⁻¹ (70 % de la potabilité de 50 mg NO₃⁻ l⁻¹) avec une tendance à la hausse, le code de l'Eau⁴ prévoit l'inversion de la tendance jusqu'à 20 mg NO₃⁻ l⁻¹. Le code stipule ainsi que « *le Ministre prend les mesures adéquates conduisant à la modification de certaines pratiques agricoles, domestiques et autres afin de réduire l'introduction de nitrate dans les eaux souterraines. Ces mesures restent d'application jusqu'à ce que les teneurs soient redescendues en dessous de 20 mg NO₃⁻ l⁻¹ et maintenues à ce niveau depuis cinq ans au moins. Il peut notamment limiter les épandages d'effluents d'élevage, de produits autorisés à être épandus à des fins agricoles et d'engrais azotés aux doses maximales autorisées en zone vulnérable...* ».

Afin d'être cohérent avec la DCE et de proposer des programmes d'actions dont la contrainte est proportionnelle à la menace/contamination, un logigramme principal (présenté sous la forme d'un tableau) est élaboré en tenant compte des 'paliers' de concentration et de la tendance de celle-ci.

Le tableau 1 présente ce logigramme principal mis au point afin d'orienter le choix du programme d'actions de restauration de la qualité de l'eau, noté N1, N2 ou N3.

Tableau 1. Logigramme principal pour le choix du programme d'actions de restauration de la qualité de l'eau

Tendance \ Concentration	↘	→	↗
> 50 mg/l	N3	N1	N1
35-50 mg/l	N3	N2	N2
20-35 mg/l			N2

La concentration (mg NO₃⁻ l⁻¹) est la moyenne des observations réalisées au cours des douze derniers mois. La tendance est évaluée sur base des observations des cinq dernières années ; le test réalisé vise à établir si la pente de la droite de régression est significativement différente de 0 (cf. rapport d'activités Géolys – HGE/ULg).

³ L'Autriche, le Danemark, la Finlande, l'Allemagne, la Hollande et le Luxembourg ont placé l'ensemble de leur territoire en zone vulnérable. Cela n'implique pas automatiquement que le seuil de 50 mg NO₃⁻ l⁻¹ soit atteint ou dépassé sur l'ensemble du territoire.

⁴ <http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeeau decret.htm>

Le programme d'action N1 est le plus contraignant en matière d'adaptation des pratiques agricoles, d'encadrement et de contrôle ; le programme N3 est le plus 'léger'.

En application du tableau 1, lorsqu'un programme d'actions est requis, la première étape de la démarche consiste en la délimitation de la ZAC. Celle-ci est définie comme la surface sur laquelle l'eau qui s'infiltré ou ruisselle alimente le captage (Vernoux *et al.*, 2007). Les actions de restauration sont menées sur cette zone. La sensibilité des sols de la ZAC est déterminée afin d'orienter ces actions. La vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère est également définie.

3 LOGIGRAMMES D' ACTIONS

3.1 Critères décisionnels

Trois logigrammes d'actions N1, N2 et N3 ont été élaborés (figures 1 à 3), respectivement du plus contraignant au plus souple à mettre en œuvre.

La construction de ces logigrammes d'actions à entreprendre sur les ZAC en vue de restaurer la qualité de l'eau se base sur six critères d'orientation :

1. la part de la Superficie Agricole Utile (SAU) dans la ZAC,
2. l'appréciation de la pression agricole sur la qualité de l'eau,
3. la conformité des APL (Azote Potentiellement Lessivable),
4. les successions culturales,
5. la présence ou non d'un assainissement des eaux usées domestiques approprié,
6. l'état des dispositifs de stockage d'engrais de ferme.

1. La part de la Superficie Agricole Utile (SAU) dans la ZAC : celle-ci est déterminée à partir des déclarations « PAC » (SIGEC – Système intégré de Gestion et de Contrôle) des agriculteurs ou sur base de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (COSW) (cf. §4.1 page 30). Lorsque la SAU est inférieure à 30 % de la superficie de la ZAC, le parti est *a priori* pris de qualifier la contamination de type ponctuelle. En effet, dans cette situation, il faudrait observer en permanence des APL supérieurs à $100 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ pour engendrer une concentration supérieure à $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, ce qui est, a priori, peu probable.

Dans le cas contraire, il s'agit *a priori* d'une contamination diffuse, sauf s'il existe une contamination ponctuelle clairement identifiée.

2. L'appréciation de la pression agricole sur la qualité de l'eau : un plafond de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ pour l'APL moyen observé à l'échelle de la ZAC a été fixé. Au-delà de cette valeur, la lixiviation de nitrate est considérée comme excessive dans la SAU de la ZAC.

Cette valeur est proposée sur base des observations réalisées à l'exutoire de lysimètres installés en plein champ depuis 2003 (Deneufbourg *et al.*, 2013) et sur les bassins versants d'Arquennes (Bah *et al.*, 2014), où une eau de qualité (teneur en nitrate inférieure à $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ avec une tendance à la baisse depuis au moins 5 ans) a été observée pour des valeurs annuelles d'APL moyen inférieures à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$.

L'APL moyen à l'échelle de la ZAC est déterminé sur base d'observations réalisées au cours des cinq dernières années pour pouvoir rencontrer un nombre suffisant de situations ; les données antérieures étant jugées peu représentatives des pratiques actuelles. La moyenne arithmétique est calculée uniquement sur base des observations « APL » dans la ZAC.

Il convient de remarquer le choix 'sociologique' qui est fait en fixant un objectif unique ($40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) quelle que soit la part du secteur agricole dans la superficie de la ZAC (entre 30 et 100%). Une alternative serait de pondérer cet objectif par cette 'part' agricole en considérant le non-agricole comme une zone de 'dilution'. A titre d'illustration, si la SAU couvrait 65% ou 90% d'une ZAC, l'objectif APL de la SAU serait de 62 ou $44 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$. Ce faisant, on pourrait considérer, sous un certain angle, qu'il y a 'distorsion de concurrence' et sous un autre angle, que le boisement (à titre d'exemple) d'une partie de la SAU est incitatif puisqu'il permet de relever le niveau de l'objectif APL. A ce stade, le parti a été pris de fixer un objectif unique, quelle que soit l'importance de la SAU dans la ZAC.

3. La conformité des APL : ce critère permet d'apprécier la performance des agriculteurs en terme de gestion de l'azote. Les valeurs observées sont comparées à des références en matière de fertilisation raisonnée. Ces références sont établies annuellement pour huit classes de cultures dans des parcelles appartenant à un réseau de fermes de référence (le Survey Surfaces Agricoles) suivi par les deux membres scientifiques (Gembloux Agro-Bio Tech et UCL) de Nitrawal. L'APL de référence, pour une classe de culture donnée, correspond à la médiane des APL mesurés sur chacune de ces parcelles. Le seuil de non-conformité correspond au centile 66 de ces valeurs augmenté d'un terme relatif à l'incertitude de la mesure.

Des APL jugés conformes regroupent en réalité des APL qualifiés de « bon » (valeur APL inférieure à l'APL de référence (médiane) des valeurs des fermes de référence), « satisfaisant » (valeur APL comprises entre la valeur de la médiane et celle correspondant au centile 66) ou « limite » (valeur APL comprise entre la valeur du centile 66 et le seuil de non-conformité).

L'évaluation de l'exploitation est positive si au moins deux APL sur les trois mesurés sont conformes. Si par contre au moins deux APL sur trois sont non-conformes, l'évaluation est négative et l'exploitation entre alors dans un programme d'observation au cours duquel les résultats doivent s'améliorer, faute de quoi des amendes sont prévues.

4. Les successions culturales : elles sont évaluées en analysant l'importance relative des intercultures dans la succession et les différentes aptitudes des cultures à prélever le nitrate sur une période de cinq ans. Cette évaluation est réalisée sur base des conclusions d'observations réalisées dans des parcelles équipées de lysimètres et suivies depuis plus de dix ans (Deneufbourg *et al.*, 2013).
5. La présence ou non d'un assainissement des eaux usées domestiques approprié : cette question est posée lorsque la part de la SAU dans la ZAC est suffisamment faible ($SAU < 30\%$ de la ZAC) que pour exclure *a priori* une pollution diffuse à partir de la SAU.
6. L'état du dispositif de stockage d'engrais de ferme : comme précédemment, en situation de pollution *a priori* ponctuelle ($SAU < 30\%$ de la ZAC), une évaluation de l'état des infrastructures de stockage de lisier à la ferme est à envisager.

Pour chaque programme d'actions, deux cas de figures sont donc à distinguer, selon que l'on soit en hypothèse d'une pollution diffuse possible ($SAU > 30\%$ de la surface de la ZAC) ou ponctuelle ($SAU < 30\%$ de la surface de la ZAC).

Une estimation du coût de mise en œuvre de ces programme d'actions a été réalisée dans le contexte des six sites de captages pilotes (cf. §5.4, page 118).

3.2 Logigramme d'actions N1

Le logigramme correspondant à ce programme d'action est repris à la figure 1.

La première question posée est relative à la situation géographique de la ZAC et plus particulièrement son inclusion entière en zone vulnérable. En effet, étant donné qu'en application de ce programme d'actions, des contrôles APL seront réalisés dans la ZAC et que ces contrôles ne peuvent l'être qu'en zone vulnérable, il y a lieu de délimiter une zone de surveillance⁵ (zone III) et d'y inclure la possibilité d'y mener ce type de contrôle mais également de réglementer les successions culturales et/ou de favoriser l'implantation d'un couvert permanent sans apport azoté (tel que du miscanthus ou de la jachère).

La deuxième question porte sur la part de la SAU dans la ZAC. Comme évoqué précédemment, si celle-ci est faible (inférieure à 30 %), les investigations seront orientées vers des sources ponctuelles (domestiques et/ou agricoles) de pollution. Si celles-ci sont quantitativement de nature à expliquer la pollution, il n'y aura, après leur mise en conformité, pas d'autres actions menées (retour au logigramme principal). Par contre, si les manquements s'avèrent être peu importants, il conviendra de considérer également une source diffuse de la pollution.

Lorsque la part de la SAU dans la ZAC est importante (supérieure à 30 %), les données des contrôles APL seront exploitées pour évaluer l'intensité de la pression diffuse. Deux situations sont à envisager :

- Lorsque l'APL moyen est faible (inférieur au seuil fixé de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), on considère *a priori* qu'il s'agit d'une pollution ponctuelle liée à un défaut d'assainissement domestique ou de stockage d'engrais de ferme. Ces deux sources potentielles sont investiguées et le cas échéant, des travaux de mise en conformité sont réalisés et le logigramme principal (tableau 1) est à nouveau appliqué.
- En cas d'APL moyen qui dépasse la limite fixée ($40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), la SPGE et/ou le producteur d'eau concerné adresse(nt) un courrier à tous les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC. Ce courrier les informe de la pollution observée dans la ZAC, annonce un programme d'actions et invite les agriculteurs à participer à une première réunion en présence de la SPGE, du producteur d'eau, du Service Public de Wallonie (SPW) et de Nitrawal.

Le programme d'actions a pour objectif final d'afficher un APL moyen à l'échelle de la ZAC inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$. Il est décliné en une première étape (trois années) d'encadrement (volontaire) par Nitrawal, étape au cours de laquelle chaque agriculteur pourra améliorer sa gestion de l'azote (meilleure répartition des engrais de ferme, utilisation de la fiche 'Fertilisation' de Nitrawal⁶), adapter (le cas échéant) ses successions culturales en appréciant chaque succession⁷ et la sensibilité du sol à la lixiviation⁸. La première année, Nitrawal offre (sous conditions) un 'auto contrôle' APL semblable à celui en vigueur dans le cadre des *contrats Nitrawal*. Au terme de ces trois années, Nitrawal cesse d'être proactif auprès des agriculteurs de la ZAC.

En quatrième année, le SPW organise un contrôle APL pour tous les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC. Ce contrôle est identique à celui organisé depuis 2008 par le SPW. Dans la mesure du possible, les trois parcelles contrôlées sont choisies dans la ZAC ; le cas échéant, la ou les deux parcelles manquantes sont choisies à proximité de la ZAC. De plus, toute prairie permanente

⁵ Art. D175 du Code de l'Eau

⁶ <http://www.nitrawal.be/agriculteurs/fertilisation-raisonnee/ferti-culture>

⁷ Cf. §4.2 Impact des successions culturales sur la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines

⁸ Cf. §4.6 Sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate

⁹ Cf. Cartographie des secteurs les plus vulnérables au nitrate d'origine agricole (rapport Géolys – ULg/HGE)

labourée au cours des trois premières années du programme d'action serait automatiquement incluse dans le contrôle APL.

En cinquième et sixième année, aucune action proactive d'encadrement n'est menée sur la ZAC, à l'exception de l'encadrement (sur base volontaire) des agriculteurs inscrits dans un programme d'observation.

En septième année, le SPW organise à nouveau un contrôle APL pour tous les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC et qui étaient « conformes » en quatrième année.

Au cours de ces sept années, le programme d'actions mis en œuvre par les agriculteurs comporte une obligation d'absence de successions culturales dont le risque est qualifié d'élevé ou de très élevé¹⁰. Cette obligation figure dans l'arrêté de délimitation de la zone de surveillance évoqué précédemment.

De la deuxième à la septième année, l'agriculteur aurait la possibilité d'obtenir une prime APL (voir §0, page 28).

Au terme de la septième année, une évaluation d'impact agricole 'diffus' est réalisée à l'échelle de la ZAC. Elle s'appuie sur les observations du contrôle APL organisé en septième année complété, pour les exploitations agricoles sorties d'un programme d'observation après la sixième année, des résultats APL de cette sixième année.

Si l'APL moyen de la ZAC est inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, on considère que l'objectif est atteint. Le programme d'action se termine.

Le logigramme principal est à nouveau appliqué dans un délai opportun, compte tenu du temps de réponse de la qualité de l'eau à la modification des pratiques agricoles en surface et de la disponibilité des moyens financiers (encadrement, primes).

Si l'APL moyen de la ZAC est supérieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, les exploitations agricoles ayant présenté un APL élevé (supérieur à $100 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) font, l'espace d'une année (huitième année), l'objet d'un encadrement par Nitrawal avant qu'un contrôle APL y soit mené (neuvième année) par le SPW.

Pour les captages impactés à la fois par du nitrate et des pesticides, Nitrawal prend contact avec PhytEauWal et la cellule pesticides-captages du Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W) dès la première année. Les missions de celles-ci sont :

- répertorier les matières actives problématiques et les cultures sur lesquelles celles-ci sont appliquées ;
- proposer des pratiques et des matières actives de substitution moins à risque pour l'eau ;
- former/accompagner les techniciens de Nitrawal dans leur mission de terrain.

Les modèles constituent des outils d'aide à la décision qui peuvent se révéler utiles pour orienter la mise en place de programmes d'actions pour la protection des eaux. La modélisation est réalisée dès la première année du programme d'action afin d'estimer, sur base des pratiques culturales conseillées par Nitrawal, l'évolution (dynamique et amplitude) de la concentration en nitrate aux prises d'eau.

¹⁰ Cf. §4.2.2 Evaluation du risque lié aux successions culturales

PROGRAMME N1

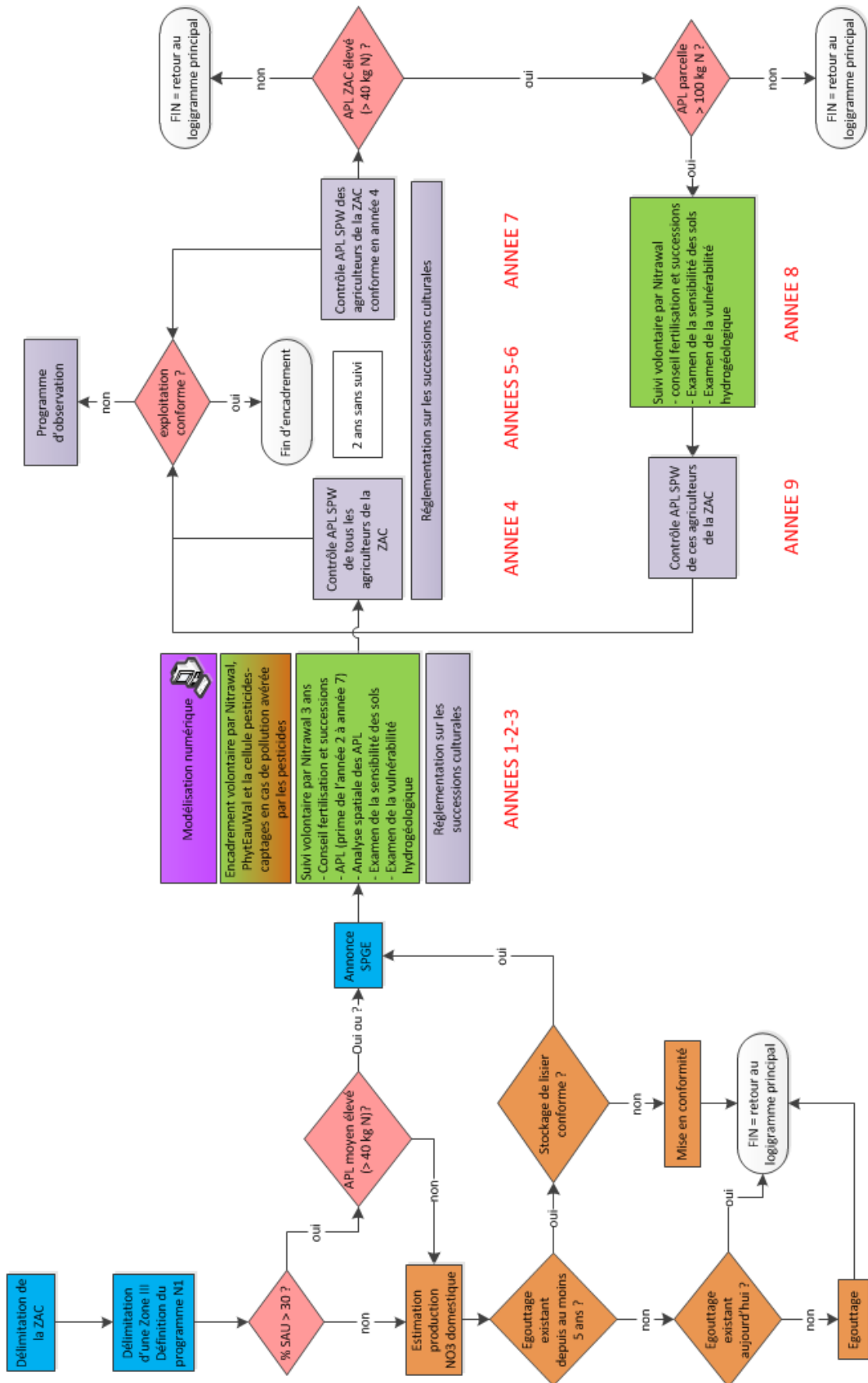


Figure 1. Logigramme d'actions N1.

3.3 Logigramme d'actions N2

Le logigramme correspondant à ce programme d'action est repris à la figure 2.

La première question posée est relative à la situation géographique de la ZAC et plus particulièrement son inclusion entière en zone vulnérable. En effet, étant donné qu'en application de ce programme d'actions, des contrôles APL seront réalisés dans la ZAC et que ces contrôles ne peuvent l'être qu'en zone vulnérable, il y a lieu, le cas échéant (situation hors zone vulnérable) de délimiter une zone de surveillance¹¹ (zone III) et d'y inclure la possibilité d'y mener, entre autres, ce type de contrôle.

La deuxième question porte sur la part de la SAU dans la ZAC. Comme évoqué précédemment, si celle-ci est faible (inférieure à 30 %), les investigations seront orientées vers des sources ponctuelles (domestiques et/ou agricoles) de pollution. Si celles-ci sont quantitativement de nature à expliquer la pollution, il n'y aura, après leur mise en conformité, pas d'autres actions menées (retour au logigramme principal). Par contre, si les manquements s'avèrent être peu importants, il conviendra de considérer également une source diffuse de la pollution.

Lorsque la part de la SAU dans la ZAC est importante (supérieure à 30 %), les données des contrôles APL seront exploitées pour évaluer l'intensité de la pression diffuse. Deux situations sont à envisager :

- Lorsque l'APL moyen est faible (inférieur au seuil fixé de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), on considère *a priori* qu'il s'agit d'une pollution ponctuelle liée à un défaut d'assainissement domestique ou de stockage d'engrais de ferme. Ces deux sources potentielles sont investiguées et le cas échéant, des travaux de mise en conformité sont réalisés et le logigramme principal (tableau 1) est à nouveau appliqué.
- En cas d'APL moyen qui dépasse la limite fixée ($40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), la SPGE et/ou le producteur d'eau concerné adresse(nt) un courrier à tous les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC. Ce courrier les informe de la pollution observée dans la ZAC, annonce un programme d'actions et invite les agriculteurs à participer à une première réunion en présence de la SPGE, du producteur d'eau, du Service Public de Wallonie (SPW) et de Nitrawal.

Le programme d'actions a pour objectif final d'afficher un APL moyen à l'échelle de la ZAC inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$. Il est décliné en une première étape (trois années) d'encadrement (volontaire) par Nitrawal, étape au cours de laquelle chaque agriculteur pourra améliorer sa gestion de l'azote (meilleure répartition des engrais de ferme, utilisation de la fiche 'Fertilisation' de Nitrawal¹²), adapter (sur base volontaire) ses successions culturales en appréciant chaque succession¹³ et la sensibilité du sol à la lixiviation^{14,15}. La première année, Nitrawal offre (sous conditions) un 'auto contrôle' APL semblable à celui en vigueur dans le cadre des *contrats Nitrawal*. Au terme de ces trois années, Nitrawal cesse d'être proactif auprès des agriculteurs de la ZAC.

En quatrième année, le SPW organise un contrôle APL pour tous les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC. Ce contrôle est identique à celui organisé depuis 2008 par le SPW. Dans la mesure du possible, les trois parcelles contrôlées sont choisies dans la ZAC ; le cas échéant, la ou les deux parcelles manquantes sont choisies à proximité de la ZAC. De plus, toute prairie permanente labourée au cours des trois premières années du programme d'action serait automatiquement incluse dans le contrôle APL.

¹¹ Art. D175 du Code de l'Eau

¹² <http://www.nitrawal.be/agriculteurs/fertilisation-raisonnee/ferti-culture>

¹³ Cf. §4.2 Impact des successions culturales sur la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines

¹⁴ Cf. §4.6 Sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate

¹⁵ Cf. Cartographie des secteurs les plus vulnérables au nitrate d'origine agricole (cf. rapport Géolys – HGE/ULg)

En cinquième et sixième année, aucune action n'est menée sur la ZAC, à l'exception de l'encadrement (sur base volontaire) des agriculteurs inscrits dans un programme d'observation.

En septième année, le SPW organise à nouveau un contrôle APL pour tous les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC et conforme en quatrième année.

De la deuxième à la septième année, l'agriculteur a la possibilité d'obtenir une prime APL (voir §0, page 28).

Au terme de la septième année, une évaluation d'impact agricole 'diffus' est réalisée à l'échelle de la ZAC. Elle s'appuie sur les observations du contrôle APL organisé en septième année complété, pour les exploitations agricoles sorties d'un programme d'observation après la sixième année, des résultats APL de cette sixième année.

Si l'APL moyen de la ZAC est inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, on considère que l'objectif est atteint. Le programme d'action se termine. Le logigramme principal est à nouveau appliqué dans un délai opportun, compte tenu du temps de réponse de la qualité de l'eau à la modification des pratiques agricoles en surface et de la disponibilité des moyens financiers (encadrement, primes).

Si l'APL moyen de la ZAC est supérieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, les exploitations agricoles ayant présenté un APL élevé (supérieur à $100 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) font, l'espace d'une année (huitième année), l'objet d'un encadrement par Nitrawal avant qu'un contrôle APL y soit mené (neuvième année) par le SPW.

Pour les captages impactés à la fois par du nitrate et des pesticides, Nitrawal prend contact avec PhytEauWal et la cellule pesticides-captages du CRA-W dès la première année. Les missions de celles-ci sont :

- répertorier les matières actives problématiques et les cultures sur lesquelles celles-ci sont appliquées ;
- proposer des pratiques et des matières actives de substitution moins à risque pour l'eau ;
- former/accompagner les techniciens de Nitrawal dans leur mission de terrain.

Les modèles constituent des outils d'aide à la décision qui peuvent se révéler utiles pour orienter la mise en place de programmes d'actions pour la protection des eaux. La modélisation est réalisée dès la première année du programme d'action afin d'estimer, sur base des pratiques culturales conseillées par Nitrawal, l'évolution (dynamique et amplitude) de la concentration en nitrate aux prises d'eau.

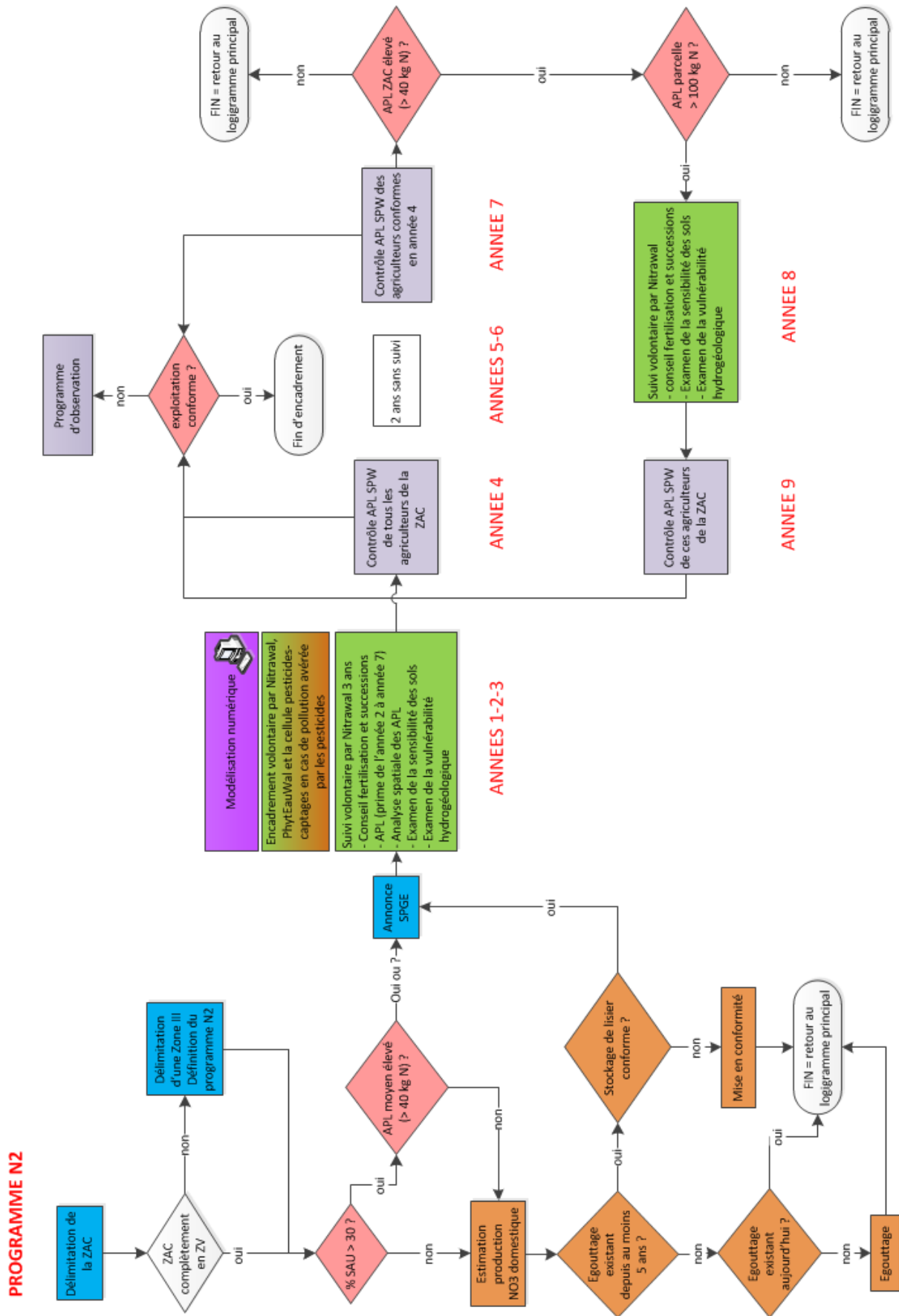


Figure 2. Logigramme d'actions N2.

3.4 Logigramme d'actions N3

Le logigramme correspondant à ce programme d'action est repris à la figure 3.

Etant mis en œuvre dans les ZAC les moins problématiques (tableau 1), l'objectif est de minimiser l'intervention de Nitrawal pour pouvoir concentrer les moyens d'encadrement dans les ZAC où les prises d'eau sont plus contaminées.

La première question posée est relative à la situation géographique de la ZAC et plus particulièrement son inclusion entière en zone vulnérable. En effet, étant donné qu'en application de ce programme d'actions, des contrôles APL seront réalisés dans la ZAC et que ces contrôles ne peuvent l'être qu'en zone vulnérable, il y a lieu, le cas échéant (situation hors zone vulnérable) de délimiter une zone de surveillance¹⁶ (zone III) et d'y inclure la possibilité d'y mener ce type de contrôle.

La deuxième question porte sur la part de la SAU dans la ZAC. Comme évoqué précédemment, si celle-ci est faible (inférieure à 30 %), les investigations seront orientées vers des sources ponctuelles (domestiques et/ou agricoles) de pollution. Si celles-ci sont quantitativement de nature à expliquer la pollution, il n'y aura, après leur mise en conformité, pas d'autres actions menées (retour au logigramme principal). Par contre, si les manquements s'avèrent être peu importants, il conviendra de considérer également une source diffuse de la pollution.

Lorsque la part de la SAU dans la ZAC est importante (supérieure à 30 %), les données des contrôles APL seront exploitées pour évaluer l'intensité de la pression diffuse. Deux situations sont à envisager:

- Lorsque l'APL moyen est faible (inférieur au seuil fixé de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), on considère *a priori* qu'il s'agit d'une pollution ponctuelle liée à un défaut d'assainissement domestique ou de stockage d'engrais de ferme. Ces deux sources potentielles sont investiguées et le cas échéant, des travaux de mise en conformité sont réalisés et le logigramme principal (tableau 1) est à nouveau appliqué.
- En cas d'APL moyen qui dépasse la limite fixée ($40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), la SPGE et/ou le producteur d'eau concerné adresse(nt) un courrier à tous les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC. Ce courrier les informe de la pollution observée dans la ZAC, annonce un programme d'actions et invite les agriculteurs à participer à une première réunion en présence de la SPGE, du producteur d'eau, du SPW et de Nitrawal.

Le programme d'actions a pour objectif final d'afficher un APL moyen à l'échelle de la ZAC inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$. Il est décliné en une première étape de contrôle APL organisé par le SPW ; Nitrawal étant disponible (sans action proactive) pour répondre à d'éventuelles sollicitations d'agriculteurs pour des conseils. Ce contrôle est identique à celui organisé depuis 2008 par le SPW. Dans la mesure du possible, les trois parcelles contrôlées sont choisies dans la ZAC ; le cas échéant, la ou les deux parcelles manquantes sont choisies à proximité de la ZAC. De plus, toute prairie permanente labourée au cours des trois premières années du programme d'action serait automatiquement incluse dans le contrôle APL.

Une évaluation d'impact agricole 'diffus' est réalisée à l'échelle de la ZAC. Elle s'appuie sur les observations du contrôle APL organisé.

Si l'APL moyen de la ZAC est inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, on considère que l'objectif est atteint. Le programme d'action se termine. Le logigramme principal est à nouveau appliqué dans un délai opportun, compte tenu du temps de réponse de la qualité de l'eau à la modification des pratiques agricoles en surface et de la disponibilité des moyens financiers (encadrement, primes).

¹⁶ Art. D175 du Code de l'Eau

Si l'APL moyen de la ZAC est supérieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, les exploitations agricoles ayant présenté un APL élevé (supérieur à $100 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) font, durant deux années, l'objet d'un encadrement par Nitrawal avant qu'un contrôle APL y soit mené (quatrième année) par le SPW.

Pour les captages impactés à la fois par du nitrate et des pesticides, Nitrawal prend contact avec PhytEauWal et la cellule pesticides-captages du CRA-W dès la première année. Les missions de celles-ci sont :

- répertorier les matières actives problématiques et les cultures sur lesquelles celles-ci sont appliquées ;
- proposer des pratiques et des matières actives de substitution moins à risque pour l'eau ;
- former/accompagner les techniciens de Nitrawal dans leur mission de terrain.

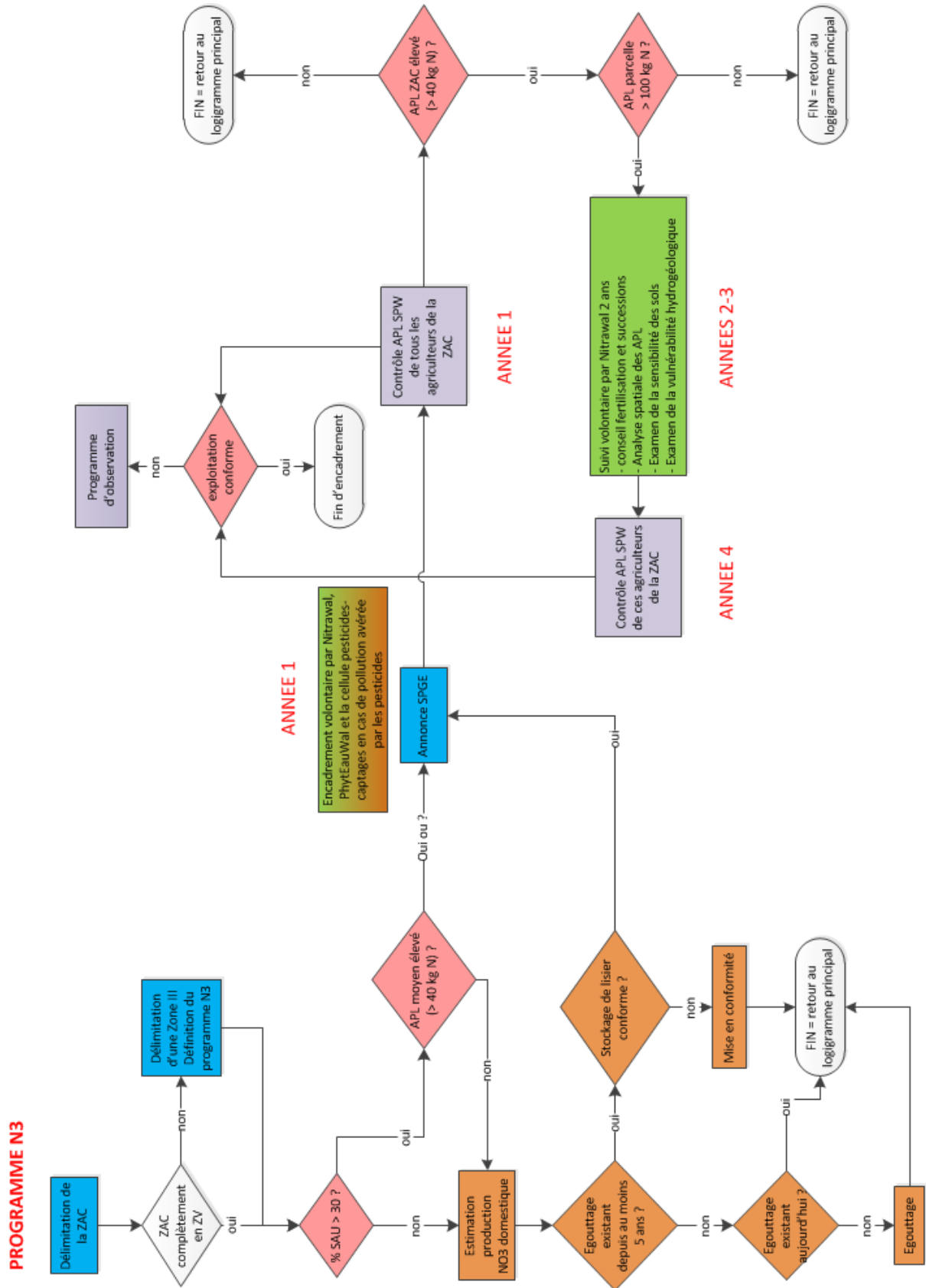


Figure 3. Logigramme d'actions N3.

3.5 Principes d'une prime APL

Les principes de cette prime sont les suivants (figure 4) :

- l'APL est mesuré dans chaque classe¹⁷ d'occupation agricole du sol ;
- la mesure est réalisée dans la couche 0-30 cm et extrapolée¹⁸ à 0-90 cm. L'observation dans la seule couche 0-30 cm permet de s'affranchir de l'obligation de rechercher les éventuels impétrants et, le cas échéant, d'organiser en leur présence, l'échantillonnage. De plus, l'échantillonnage dans cette couche est très rapide, ce qui devrait réduire les coûts (à charge des agriculteurs) ;
- pour s'affranchir de l'effet 'météo' et ne pas contraindre l'organisation des contrôles APL, les échantillons sont prélevés entre le 15 et le 30 novembre ;
- étant donné qu'il s'agit d'un engagement volontaire de l'agriculteur, il n'y a ni procès-verbal (PV), ni recontrôle (qui serait forcément toujours favorable à l'agriculteur puisque, à cette époque de l'année, le temps/climat joue en sa faveur dans la couche 0-30 cm) ;
- la sélection des parcelles n'est pas organisée par Nitrawal (de manière à ne pas placer Nitrawal en situation de 'contrôleur') ;
- les valeurs ne sont pas évaluées en fonction de références (ce qui permet à Nitrawal d'organiser le débriefing en janvier, période plus 'calme'). Un APL moyen pondéré (par la superficie de chaque occupation agricole) est calculé pour chaque exploitation agricole inscrite dans ce programme de prime. Le calcul est réalisé sur base du SIGEC (dans la mesure de la disponibilité d'une version 'provisoire' fin août de chaque année) par la SPGE ou un tiers désigné par cette dernière.

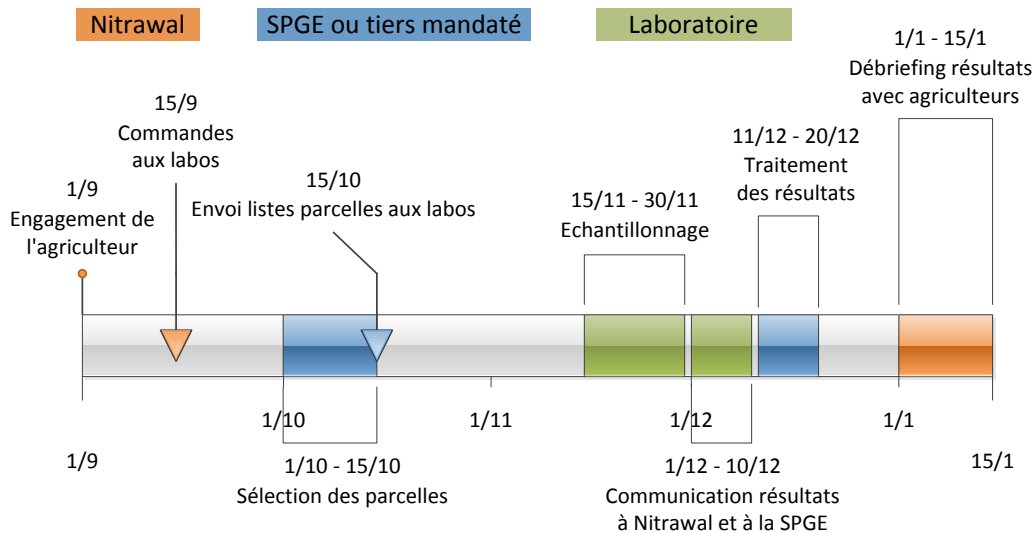


Figure 4. Planning des étapes et acteurs pour l'octroi d'une prime APL

L'annexe 8.1 développe quelques réflexions quant à la probabilité qu'a un agriculteur d'obtenir cette éventuelle prime (environ 50%), dans l'optique d'une estimation d'un budget 'prime APL' (de 10.000 à 140.000 €/an selon la taille de la ZAC) pour le bailleur de fonds, budget qui est mis en relation avec le débit prélevé dans les prises d'eau de la ZAC (de 2,5 à 35 cent/m³).

¹⁷ Au maximum 8 classes, au sens du contrôle APL.

¹⁸ Cf. Annexe 8.2 APL – extrapolation 0-30cm à 0-90cm dans le cadre de l'octroi d'une prime (page 129)

Si ce concept de ‘prime APL’ devait être mis en œuvre, il conviendrait d’organiser préalablement une concertation entre les acteurs concernés :

- Nitrawal pour l’encadrement
- SPW pour les aspects relatifs à
 - la disponibilité du SIGEC pour le choix des parcelles,
 - la coordination du contrôle APL organisé dans le cadre du PGDA,
 - l’organisation (en ce compris la prise en charge financière) de l’encadrement des agriculteurs
- SPGE pour l’organisation générale du dispositif, en ce compris les aspects financiers (adéquation objectifs/moyens)
- les laboratoires provinciaux pour :
 - dans un premier temps, l’évaluation de la capacité d’échantillonnage,
 - dans un second temps, l’organisation des échantillonnages et de la communication des résultats

L’élaboration du processus d’organisation nécessitera vraisemblablement près d’une année de concertation. L’engagement des agriculteurs dans un système de prime APL se faisant le 1^{er} septembre (figure 4), les travaux d’élaboration devraient être entamés dès l’automne qui précède.

4 OUTILS

4.1 Superficie Agricole Utile

La Superficie Agricole Utile est estimée à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie - COSW (Baltus *et al.*, 2007) ou sur base du SIGEC (SPW- DGO3).

4.1.1 La Carte d'occupation des sols de Wallonie - COSW

Le tableau 2 reprend l'entièreté des données ayant servies à la production de la COSW.

Tableau 2. Lots de données utilisés pour l'élaboration de la COSW (Baltus *et al.*, 2007).

Dénomination
Plan de Localisation Informatique (PLI) : Couche « Parcelles »
Plan de Localisation Informatique (PLI) : Couche « Bâtiments »
Plan de Localisation Informatique (PLI) : Couche « Limites des sections cadastrales »
Matrice cadastrale : Champ « Nature »
Système intégré de gestion et de contrôle (SIGEC) : Parcellaire agricole et Mesures agri-environnementales (MAE)
Plans d'eau
Plan d'occupation du sol de la Région wallonne
Zones d'extraction
Terrils
Zones portuaires
Sites d'activité économique désaffectés (SAED)
Aérodromes
Plan de secteur : Zones de décharge

Notons que certaines des données de base comme le PLI et le SIGEC sont mises à jour annuellement. De ce fait, la COSW est actualisée tous les deux ans. Depuis sa création en 2001, la COSW existe donc dans les versions v1_01, v1_03, v1_05 et v2_07 qui reflètent respectivement l'occupation du sol des années 2000-2001, 2003, 2005 et 2007.

La légende de la COSW est la plus complète possible et compatible avec la nomenclature européenne CORINE Land Cover (hiérarchisée en trois niveaux). Elle est structurée en 5 niveaux de détails. Le niveau 1 (figure 5), le moins détaillé, comporte 6 classes d'occupation du sol et le niveau 5, le plus détaillé, en contient 97.

La qualité thématique de la première version (v1_01) a été évaluée et sa précision atteint 95,5 % (Baltus *et al.*, 2007).

Le SPW-DGO3 est propriétaire de la COSW. Une licence d'utilisation a été acquise dans le cadre de ce projet.

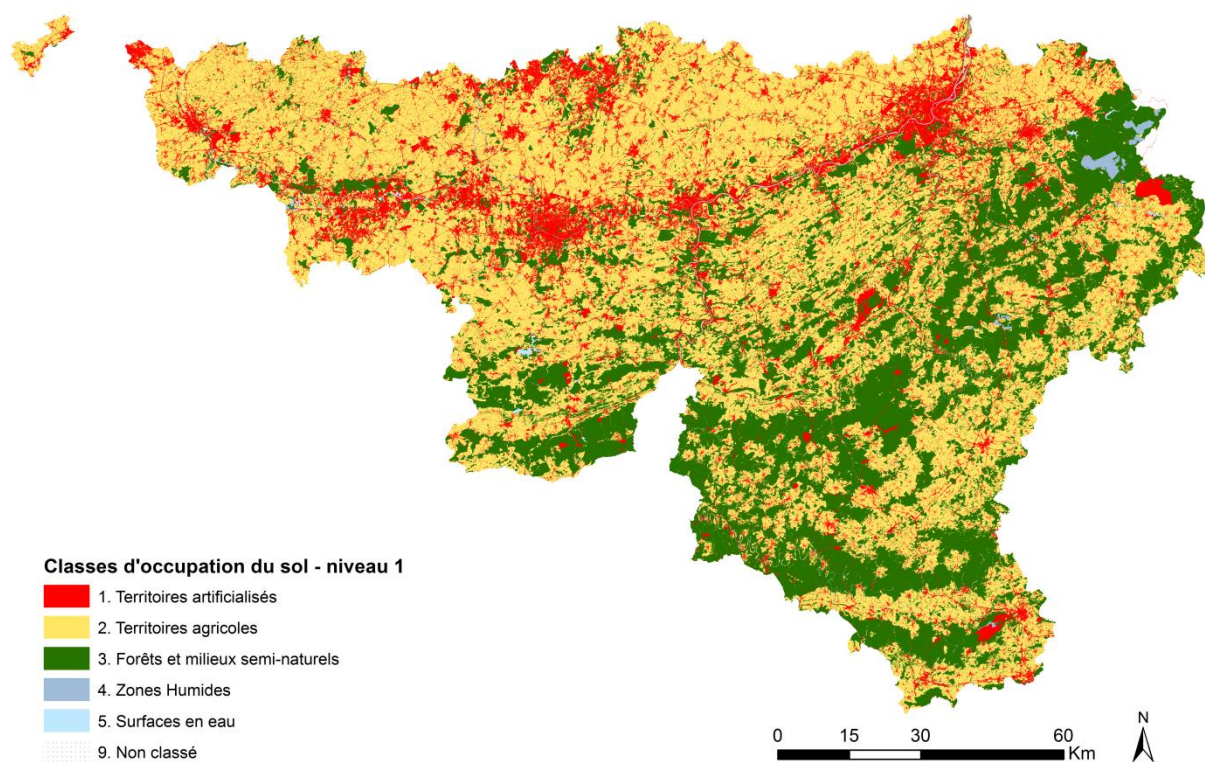


Figure 5. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie version V2_07 (2007) (niveau 1 de la légende)

4.1.2 Le Système intégré de gestion et de contrôle - SIGEC

La SAU peut également être estimée à partir du SIGEC¹⁹, reprenant les déclarations de superficie introduites chaque année par les agriculteurs sollicitant les aides compensatoires prévues par la PAC. Il offre un inventaire annuel du parcellaire (localisation et nature de l'occupation) et des superficies agricoles. Le SIGEC représente environ 270.000 parcelles et couvre plus de 90 % de la superficie agricole de la Wallonie. Ce caractère partiel vient du fait qu'une minorité des agriculteurs n'introduisent pas de déclaration de superficie pour obtenir les aides compensatoires liées à la PAC. Le SIGEC est mis à jour annuellement.

Néanmoins, vu le caractère confidentiel des données et le délai d'acquisition (mise à jour annuelle) de cette couche d'information, nous recommandons, pour estimer la SAU d'une ZAC, d'utiliser la COSW en veillant à disposer de la version la plus actuelle.

¹⁹ Le SPW-DGO3 est propriétaire de cette base de données cartographique.

4.1.3 Comparaison entre COSW et SIGEC.

A titre de comparaison, le tableau 3 montre les SAU calculées d'une part à partir de la COSW actualisée en 2007 (COSW - version 2_07) et d'autre part à partir du SIGEC 2013. On constate logiquement une SAU plus importante (134.684, 4 ha – 15%) pour la COSW. En effet, comme nous l'avons déjà évoqué, cette différence vient du caractère partiel du SIGEC (environ 85-90% de la SAU totale de la Wallonie est déclarée dans le cadre de la PAC).

Pour estimer l'APL moyen pondéré par la surface des cultures (cf. §4.3.3 page 44), seules les données du SIGEC peuvent être utilisées car la COSW ne fournit pas le détail des SAU par culture. Ainsi, pour une ZAC donnée, les terres non déclarées par le SIGEC doivent faire l'objet d'une investigation si d'une part elles couvrent une SAU de minimum 10% de la SAU totale de la COSW, et d'autre part si les terres en question sont occupées par des cultures qui laissent des valeurs d'APL dans le sol (après récolte ou pendant la culture) relativement élevées par rapport aux références annuelles établies (cf. notamment §5.3.2 ZAC de Cornesse, page 85).

Tableau 3. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013.

	SAU COSW V2_07	SAU SIGEC 2013	Différence (%)
Wallonie	901.736,3 ha	767.051,9 ha	15 %

4.2 Impact des successions culturales sur la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines

4.2.1 Introduction

L'utilisation d'outils lysimétriques²⁰ sur des parcelles en région limoneuse de Hesbaye vouées aux grandes cultures et aux cultures légumières industrielles a permis de mettre en évidence que le maintien de la qualité de l'eau de percolation sous les terres agricoles doit être approché par une gestion intégrée et globale des successions culturales²¹, en ce compris la fertilisation raisonnée et l'implantation de CIPAN²² (Fonder *et al.*, 2010 ; Deneufbourg *et al.*, 2013). Fruit de dix années d'observations, des successions culturales favorables et défavorables à la qualité de l'eau de percolation ont ainsi pu être identifiées.

Même en appliquant une fertilisation raisonnée, certaines successions culturales mènent difficilement à une faible teneur en nitrate dans les eaux de percolation migrant en profondeur. Ceci s'explique par (1) les différentes aptitudes (profondeur racinaire, reliquat post-récolte) des cultures à prélever le nitrate et (2) par l'importance relative de l'interculture entre deux cultures, et l'opportunité d'y insérer une CIPAN. Dans certains cas, une modification des successions peut s'envisager. Dans d'autres, ce ne sera pas réalisable, compte tenu d'autres impératifs, notamment économiques. Toutefois, il est souvent possible de réduire la teneur en nitrate des eaux de percolation en réduisant la durée de l'interculture par le semis d'une culture intermédiaire piège à nitrate (CIPAN).

Cette étude a pour objectif :

- d'établir une méthodologie d'évaluation du risque pour chaque succession culturale et
- de réaliser une évaluation spatiale de l'impact des différentes successions culturales pratiquées sur les terres agricoles wallonnes, sur la qualité des eaux souterraines.

L'évaluation du risque lié aux successions culturales est réalisée à l'échelle parcellaire en considérant une période de successions sur cinq années, allant de 2009 à 2013, et en raisonnant par paire de successions culturales de deux années consécutives sur les cinq années prises en compte. L'analyse considère que les fertilisations (organiques et minérales) sont raisonnées et que les éventuelles CIPAN sont semées efficacement (technique, période).

L'information sur les occupations culturales des parcelles agricoles provient du SIGEC, qui offre un inventaire annuel du parcellaire agricole (localisation et nature de l'occupation) et des superficies agricoles.

²⁰ La méthode lysimétrique a pour objet l'étude de la migration en profondeur d'éléments dans le but de réaliser des bilans entrées – sorties. Depuis plusieurs décennies, l'utilisation de lysimètres a permis d'importantes avancées dans la compréhension des processus impliqués dans la contamination des ressources en eaux souterraines par le nitrate notamment (Fonder *et al.*, 2010 ; Deneufbourg *et al.*, 2013).

²¹ Comme signalé par Leteinturier *et al.* (2007), le principe de « succession culturale » renvoie à celui de « rotation » dans le sens où il s'agit dans les deux cas de l'ordre d'apparition des cultures sur la même parcelle.

Toutefois, le terme « rotation » sous-entend une notion de cycle, lequel débiterait par une « tête de rotation » bien identifiée et serait caractérisé par une période de retour : la rotation peut être triennale, quadriennale, quinquennale. La notion de « succession culturale » est plus simple puisqu'elle se limite à l'ordre d'apparition des cultures durant une période figée. Ainsi, une succession culturale peut connaître le développement partiel ou total d'un cycle de rotation, voire être le siège de plusieurs cycles.

²² Culture Intermédiaire Piège à Nitrate.

4.2.2 Evaluation du risque lié aux successions culturales

Le risque lié aux successions culturales est évalué par paire de successions culturales de deux années consécutives (2009-2010, 2010-2011, etc.) sur une même parcelle, sur les cinq années considérées (2009 à 2013).

L'évaluation prend en compte les considérations suivantes :

- **l'aptitude de la culture en tête de succession (culture 1) à prélever le nitrate présent dans le sol**, qui détermine en grande partie le reliquat azoté potentiellement lixiviable pendant la période hivernale (on parle d'Azote Potentiellement Lessivable – APL) consécutive à la culture en question ;
- **l'aptitude de la culture 2 à absorber en automne l'azote laissé par la culture 1**, uniquement dans les cas où celle-ci est semée en automne, plus ou moins tard en fonction de la date de récolte de la culture 1 (précédente) et de la date de semis de la culture 2.
- **la date de récolte de la culture 1 et la période de semis de la culture suivante (culture 2) dans la succession**, qui permettent d'une part de déterminer la possibilité d'implanter ou non une CIPAN pendant la période automnale, et d'autre part d'apprécier la durée de la période de prélèvement de l'azote par la culture 2 en automne.

Ainsi, trois **types de critères d'évaluation** peuvent être définis :

- **l'APL mesuré dans le sol**, consécutivement à la culture (cas des cultures semées au printemps) ou pendant la culture (cas des cultures en automne) ;
- **la période de semis**
- **la date de récolte des cultures.**

En matière d'APL, les observations réalisées au niveau des lysimètres en plein champ (Deneufbourg *et al.*, 2013) montrent qu'il existe une correspondance entre l'APL mesuré à l'automne (exprimé en $\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) et la concentration moyenne en nitrate (exprimée en $\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$) de l'eau récoltée à l'exutoire des lysimètres lors de la saison de drainage suivante. Ce constat est confirmé par les teneurs observées dans l'eau des captages dans le cadre du suivi de la qualité de l'eau au niveau de la zone d'alimentation des captages d'Arquennes (Bah *et al.*, 2013), réalisé depuis près de dix ans.

Il est notamment constaté qu'un APL inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ permet d'obtenir une eau de qualité suffisante (teneur en nitrate inférieure à $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$). Alors qu'un APL supérieur à $80 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ conduit à une teneur moyenne en nitrate dans l'eau de percolation lors de la saison de drainage suivante de plus de $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

Sur base de ces observations, les différentes cultures reprises dans le SIGEC ont été classées dans trois groupes d'APL mesuré dans le sol pendant la saison automnale consécutive à leur emblavement ou, dans le cas des cultures semées en début d'automne, pendant leur implantation (tableau 4).

Tableau 4. Regroupement des occupations du sol sur base du critère APL.

Code du groupe	Définition	Teneur en APL dans le sol
0	Pas d'information ou sans objet (étables – Batiments, cultures inconnues, etc.)	
1	Bas	< 40 kg N-NO ₃ ha ⁻¹
2	Moyen	40 à 80 kg N-NO ₃ ha ⁻¹
3	Elevé	> 80 kg N-NO ₃ ha ⁻¹

Concernant la « période de semis », deux périodes correspondant à l'automne et au printemps ont été définies. Quant à la « date de récolte », deux moments ont été identifiés : avant ou à partir du 1^{er} septembre. Ce dernier critère concerne spécifiquement les spéculations emblavées au printemps, celles semées en automne récoltées avant le 1^{er} septembre de l'année suivante. Ainsi, la possibilité d'implanter une CIPAN n'est envisagée que dans le cas où la culture 2 est semée au printemps, et en fonction de la date de récolte de la culture 1 (avant ou à partir du 1^{er} septembre).

Les prairies, non concernées par ces deux critères, ont été reprises dans un groupe à part. Le tableau 5 présente les groupes définis sur base des deux critères précités.

Tableau 5. Regroupement des différentes cultures sur base des critères « période de semis » et « date de récolte ».

Code du groupe	Date de récolte « Culture 1 » (année n)	Période de semis « Culture 2 » (année n+1)
0	Sans objet (prairie)	Sans objet (prairie)
1	A partir du 1 ^{er} septembre	Printemps
2	Avant le 1 ^{er} septembre	Automne
3	Avant le 1 ^{er} septembre	Printemps

Pour faciliter le traitement informatique de l'évaluation, un code « culture » de deux chiffres a été affecté à chaque culture du SIGEC, correspondant à la concaténation des codes des groupes définis (tableaux 4 et 5) sur base des critères d'évaluation (APL laissé par la culture 1 et APL pendant la culture 2 en automne, date de récolte de la culture 1 et période de semis de la culture 2) pris en compte. Le tableau 6 mentionne les codes culture définis pour les 6 cultures les plus pratiquées de 2009 à 2013, selon le SIGEC. Les codes culture de l'ensemble des spéculations déclarées dans le SIGEC sont fournis en annexe 1.

Tableau 6. Code « culture » des 6 cultures les plus pratiquées de 2009 à 2013 en Wallonie, occupant 78 % de la surface agricole en 2013, en excluant les prairies.

Cultures	Superficie totale emblavée en 2013 (ha)		Code « culture »	Définition
	ha	% SAU culture ²³		
Froment d'hiver	136.924	34,0	12 (*)	APL faible (1) – Semis en automne (2)
Maïs ensilage	57.944	14,4	21	APL moyen (2) – Semis au printemps et récolte à partir du 1 ^{er} septembre (1)
Betterave sucrière	40.564	10,1	11	APL faible (1) – Semis au printemps et récolte à partir du 1 ^{er} septembre (1)
Pomme de terre de consommation	32.338	8,0	31	APL élevé (3) – Semis au printemps et récolte à partir du 1 ^{er} septembre (1)
Orge d'hiver	32.300	8,0	12	APL faible (1) – Semis en automne (2)
Colza	14.335	3,6	32	APL élevé (3) – Semis en automne (2)

(* Voir aussi tableaux 4 et 5)

La prise en considération de deux codes culture correspondant à une paire de cultures se succédant sur une même parcelle permet d'orienter la succession vers une classe de risque de succession culturale. Cinq classes de risque de successions culturales (1 - très faible, 2 - faible, 3 - moyen, 4 - élevé et 5 - très élevé) ont été définies.

La classe de risque « succession » finale, obtenue pour chaque parcelle agricole est une moyenne des classes attribuées à chaque paire de successions culturales de deux années consécutives (2009-2010, 2010-2011, etc.), sur les cinq années considérées (2009 à 2013). Il s'agit donc d'une moyenne des risques sur 5 ans. Concernant les moyennes qui ne conduisent pas à des chiffres entiers, elles sont arrondies à l'entier supérieur dès que la deuxième décimale est supérieure ou égale à 5. Des moyennes de 2,3 ou 2,4 restent donc « 2 » (classe 2), tandis que des moyennes de 2,5 ou 2,6 sont arrondies à 3 (classe 3).

Le tableau 7 présente l'évaluation du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines lié aux successions impliquant les principales cultures. L'annexe 2 fournit l'ensemble des successions possibles et en donne l'évaluation du risque, fondée sur les observations réalisées dans le cadre du suivi lysimétrique ou déduite, par analogie, de ces observations.

Pour expliquer le tableau 7, prenons l'exemple de la succession betterave (code culture **11**) - froment (code culture **12**). La betterave est une culture qui laisse un APL bas (groupe **1** du tableau 4 - chiffre de gauche) et elle est semée au printemps et récoltée à partir du 1^{er} septembre, donc tardivement pour pouvoir implanter une CIPAN (groupe **1** du tableau 5 - chiffre de droite). Le froment est une culture qui laisse des APL bas (groupe **1**) dans le sol et elle est semée en automne (groupe **2**). Cette succession est évaluée comme étant à risque faible (classe 2) du fait de l'APL bas laissé par la betterave (culture 1) et du semis d'une culture d'automne (culture 2) qui va continuer à prélever l'APL.

²³ Part dans la surface agricole de l'année 2013, en excluant les prairies.

Les étapes d'évaluation sont donc :

- 1^{ère} étape : classification des cultures en code culture à deux chiffres ;
- 2^{ème} étape : association des cultures par paires pour chaque parcelle agricole, qui s'y sont succédé entre 2009 et 2013 (on obtient les paires « culture 2009 - culture 2010 », « culture 2010 - culture 2011 », « culture 2011 - culture 2012 », etc.) ;
- 3^{ème} étape : traduction des successions en classe de risque, sur base des codes culture des spéculations impliquées dans la succession (clef décisionnelle en annexe 2 du rapport)

Tableau 7. Evaluation du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines lié aux successions impliquant les principales cultures pratiquées en Wallonie.

Culture 1 (année n)			CIPAN possible en période automnale consécutive à la culture 1	Culture 2 (année n+1)			Risque
Exemple	Critères d'évaluation			Exemple	Critères d'évaluation		
	APL	Date de récolte			Aptitude à prélever l'azote en automne ²⁴	Période de semis	
Prairie temporaire	Bas	Sans objet	Non	Prairie temporaire	Elevé	Sans objet	1 - Très faible
Prairie temporaire	Bas	Sans objet	Non	Prairie permanente	Elevé	Sans objet	1 - Très faible
Betterave	Bas	$\geq 1/09^{25}$	Non	Maïs	Sans objet	Printemps	2 - Faible
Betterave	Bas	$\geq 1/09$	Non	Pomme de terre	Sans objet	Printemps	2 - Faible
Betterave	Bas	$\geq 1/09$	Non	Froment	Bas	Automne	2 - Faible
Froment	Bas	$< 1/09^{26}$	Oui	Betterave	Sans objet	Printemps	2 - Faible
Froment	Bas	$< 1/09$	Oui	Maïs	Sans objet	Printemps	2 - Faible
Froment	Bas	$< 1/09$	Oui	Pomme de terre	Sans objet	Printemps	2 - Faible
Froment	Bas	$< 1/09$	Non	Colza	Elevé	Automne	2 - Faible
Froment	Bas	$< 1/09$	Non	Prairie temporaire	Elevé	Sans objet	2 - Faible
Maïs	Moyen	$\geq 1/09$	Non	Froment	Bas	Automne	3 - Moyen
Maïs	Moyen	$\geq 1/09$	Non	Betterave	Sans objet	Printemps	4 - Elevé
Maïs	Moyen	$\geq 1/09$	Non	Pomme de terre	Sans objet	Printemps	4 - Elevé
Pomme de terre	Elevé	$\geq 1/09$	Non	Colza	Elevé	Automne	4 - Elevé
Pomme de terre	Elevé	$\geq 1/09$	Non	Betterave	Sans objet	Printemps	5 - Très élevé
Pomme de terre	Elevé	$\geq 1/09$	Non	Maïs	Sans objet	Printemps	5 - Très élevé
Prairie temporaire	Bas	Sans objet	Non	Betterave	Sans objet	Printemps	3 - Moyen
Prairie temporaire	Bas	Sans objet	Non	Pomme de terre	Sans objet	Printemps	4- Elevé
Prairie temporaire	Bas	Sans objet	Non	Maïs	Sans objet	Printemps	3- Moyen
Prairie permanent e ²⁷	Elevé	Sans objet	Non	Prairie temporaire	Elevé	Sans objet	4- Elevé

²⁴ Impact de la culture 2 (année n+1) d'automne sur le niveau d'APL (par exemple, le colza a une capacité plus importante à prélever de l'azote en automne que le froment).

²⁵ A partir du 1^{er} septembre

²⁶ Avant le 1^{er} septembre

²⁷ Le retournement (labour) d'une prairie permanente va entraîner la décomposition de la matière organique (masse racinaire importante, etc.) accumulée avec le temps, qui va conduire à la production d'une grande quantité d'azote sous forme de nitrate, lixiviable (lessivable) à l'automne (De Toffoli et al., 2013). Lors du passage d'une prairie permanente à une prairie temporaire, il peut y avoir labour de la prairie afin de la restaurer.

4.2.3 Production de la carte de risque pour la qualité de l'eau lié aux successions culturales

La préparation et le traitement spatial des données du SIGEC sont réalisés dans ArcGIS (version 10.2). La succession culturale qui a eu lieu sur chaque parcelle au cours des cinq dernières années est obtenue grâce à une superposition géographique des parcellaires agricoles du SIGEC entre 2009 et 2013. Ainsi, un croisement géographique de type intersection (*intersect*) a été réalisé successivement entre ces différentes couches d'informations. Ensuite, un nettoyage a dû être opéré parmi les polygones d'intersection obtenus. Tous les polygones de moins de 1 hectare ont été supprimés, pour éviter les nombreux petits polygones d'intersection (résultant en fait des modifications mineures des limites des parcelles (quelques mètres) d'une année à l'autre, d'erreurs de digitalisation des polygones, etc.). Ainsi, si ce seuil minimal de 1 ha permet d'éviter de considérer dans l'analyse la majeure partie des polygones « parasites », un certain nombre de polygones d'intersection existant réellement se trouvent également rejetés. Il s'agit donc d'un compromis entre l'intention d'éliminer l'essentiel des « faux » polygones et de perdre le minimum de polygones réels.

Finalement, la superficie retenue pour l'évaluation représente 94 % (soit environ 687.654 ha) de la superficie totale (728.767 ha) de la couche résultant directement du croisement des cinq années de parcellaires SIGEC (polygones parasites compris), et correspond par exemple à 90 % de la surface agricole déclarée en 2013 (767.052 ha). Ainsi, nous considérons cette approximation sans conséquence notable sur la représentativité des résultats.

Les données de la couche géographique « nettoyée » (après suppression des polygones parasites) sont ensuite stockées dans un fichier ASCII (texte) puis importées dans l'outil de traitement de données et de programmation « R »²⁸, où les règles d'évaluation et de calcul du risque sont traduites en code de programmation. L'avantage de disposer de ce code est de rendre plus transparent et plus facilement adaptable les différentes étapes d'évaluation, et d'en faciliter la reproductibilité.

Une fois les traitements d'évaluation terminés dans « R », les résultats sont exportés sous format « texte » lisible par ArcGIS, et spatialisés grâce à une jointure (sur base du champ ObjectID) entre le fichier des résultats provenant de « R » et la couche géographique du SIGEC rassemblant les données SIGEC analysées (ici, couche nettoyée après intersection des bases de données SIGEC de 2009 à 2013).

La figure 6 représente la carte de risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, à l'échelle de la Wallonie.

Le tableau 8 et la figure 7 reprennent les parts en termes de surface, à l'échelle de la Wallonie, des différentes classes de risque définies. Plus de la moitié (56,8 %) des successions culturales pratiquées sur les terres agricoles wallonnes présentent un risque très faible (43,3 %) à faible (13,5 %) de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines.

²⁸ R est un logiciel d'analyse statistique. Il est à la fois un langage de programmation et un environnement de travail (calculs statistiques). Il est gratuit et à code source ouvert (*open-source*).

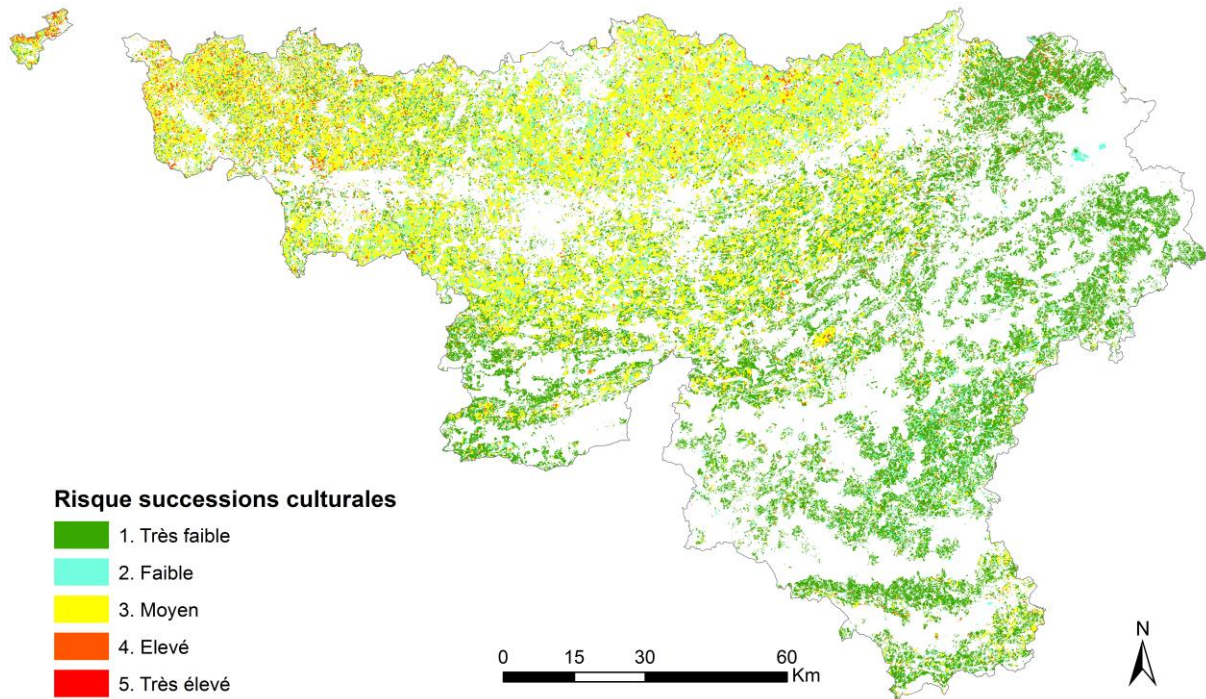


Figure 6. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, à l'échelle de la Wallonie.

Tableau 8. Surface couverte par les classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées en Wallonie.

Classe de risque	Définition	Surface à l'échelle de la Wallonie	
		ha	Part (%)
1	Très faible	297.754	43,3
2	Faible	92.745	13,5
3	Moyen	266.698	38,8
4	Elevé	29.783	4,3
5	Très élevé	672	0,1

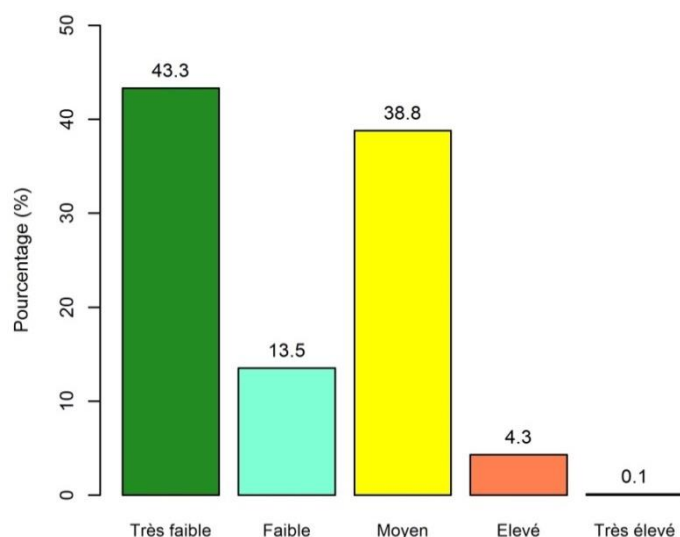


Figure 7. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées en Wallonie.

4.2.4 Discussion et limites de l'approche

Rappelons que l'évaluation réalisée ne tient pas compte des apports éventuels d'engrais de ferme, considère que les fertilisations sont raisonnées et que les CIPAN sont semées de façon à être efficace. C'est-à-dire que l'on se place dans la situation où les agriculteurs travaillent « bien ». Sur base de ces hypothèses et des cultures pratiquées, plus de 95 % des surfaces agricoles présentent un risque très faible à moyen (tableau 8) de lixiviation du nitrate. Mais cela ne veut pas dire pour autant qu'il n'y a pas de captages impactés dans certaines zones à risque très faible ou faible.

Ainsi, on pourrait observer un risque faible pour une parcelle, alors qu'en réalité l'APL n'y est pas conforme, comparé à la référence annuelle, avec pour conséquence une possibilité de lixiviation plus importante du nitrate pour cette parcelle. En d'autres termes, il pourrait arriver que l'on observe des APL élevés sur des terres à risque de succession culturale faible. Pour ces situations, où les successions culturales ne sont pas incriminées, on peut intervenir par l'encadrement des agriculteurs.

Par ailleurs, l'évaluation montre que même en appliquant une fertilisation raisonnée, certaines successions culturales sont défavorables à une faible teneur en nitrate dans les eaux de percolation migrant en profondeur. Il s'agit principalement des successions culturales correspondant aux classes de risque 4 (élevé) et 5 (très élevé). Pour ces cas, qui ne constituent que 4,4 % de la SAU wallonne, il faut intervenir en envisageant très certainement une modification des successions culturales.

L'évaluation des successions culturales réalisée aide donc au choix des actions qui seront mises en œuvre en surface par Nitrawal. Mais elle ne doit pas être mise en corrélation directe avec les teneurs en nitrate observées dans les captages d'eau.

La zone d'alimentation de captages (ZAC) d'Arquennes (figure 8), suivie depuis 2004 par l'équipe GRENeRA (Bah *et al.*, 2013) dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA), permet de valider la méthodologie d'évaluation utilisée, elle-même basée sur les observations réalisées au niveau des lysimètres. On observe que 84 % de la surface agricole (tableau 9) de ces bassins sont

couverts par des successions culturales à classe de risque très faible (1), faible (2) et moyen (3). Néanmoins, avant l'encadrement des agriculteurs de ces bassins par Nitrawal, les APL y étaient élevés (APL moyen de plus $70 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) et les teneurs en nitrate dans les eaux supérieures à 50 mg/l (au niveau des captages E1, G3 et G6). Depuis l'intervention de Nitrawal (entre 2005 et 2010), l'APL moyen reste en dessous des $50 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ (et a même atteint les $25 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ en 2007) et les teneurs en nitrate dans l'eau inférieures à 50 mg/l depuis début 2013 (même si on reste encore proche des 50 mg l^{-1} pour le captage G6). Ainsi, depuis que les agriculteurs d'Arquennes gèrent mieux leur fertilisation (notamment suite à l'encadrement), la lixiviation du nitrate y est bien faible, donc conforme à l'évaluation réalisée.

Tableau 9. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

Classe de risque	Définition	Surface à l'échelle de la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Très faible	0,6	0,7
2	Faible	18,4	20,7
3	Moyen	55,3	62,3
4	Elevé	14,4	16,3

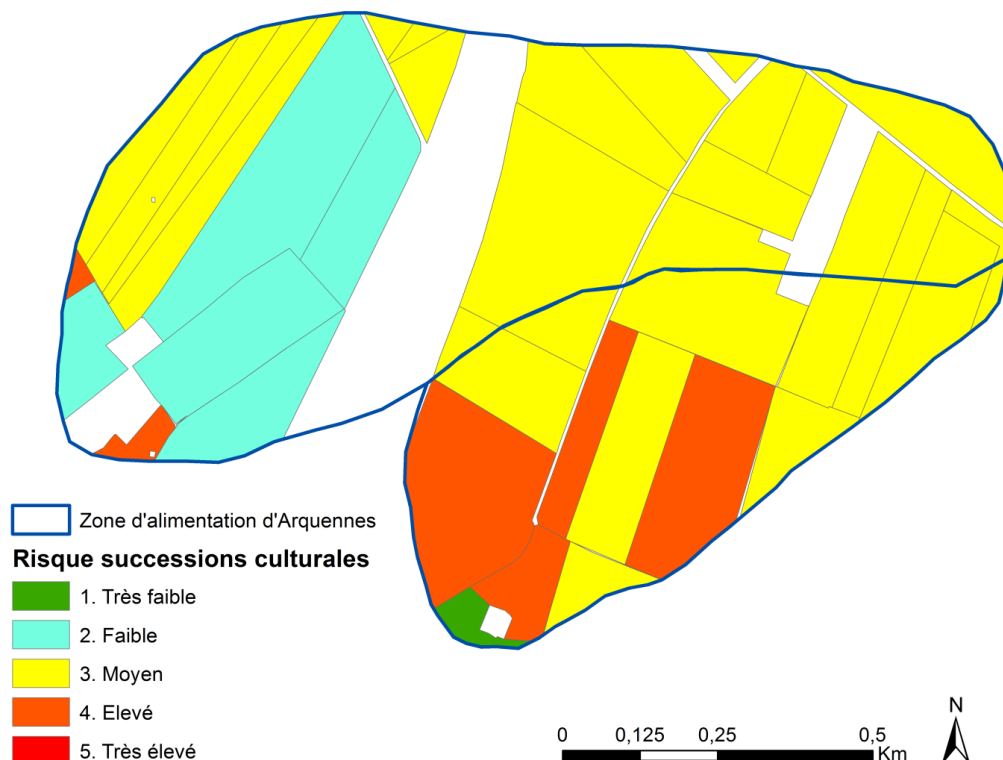


Figure 8. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, à l'échelle des Zones d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

4.3 APL moyen de la ZAC

4.3.1 Introduction

L'estimation d'un APL moyen de la ZAC peut se faire sur base des résultats des contrôles APL réalisés en zone vulnérable chaque année depuis 2008 par le SPW (§4.3.2, page 43). Combinés à la carte d'occupation des sols de Wallonie (§4.1.1, page 30) ou au SIGEC (§4.1.2, page 31) afin de bien prendre en compte le ratio prairie/culture, ils permettent d'établir un APL moyen de la ZAC.

4.3.2 Le contrôle APL

4.3.2.1 Sélection des exploitations

Chaque année, l'Administration (SPW) procède à la sélection de minimum 5 % d'exploitations agricoles parmi celles déclarant plus de 20 % de leur superficie agricole en zone vulnérable. Au sein des exploitations choisies, trois parcelles identifiées par l'Administration font l'objet d'un prélèvement d'échantillons de sol entre le 15 octobre et le 30 novembre, en vue d'y doser l'APL. Une parcelle de remplacement est également choisie. Les échantillons prélevés sont analysés par un laboratoire agréé. Le coût de ces analyses est pris en charge par le SPW. Chaque agriculteur peut également faire échantillonner à ses frais par un laboratoire agréé de son choix une ou plusieurs parcelles précédemment échantillonnées, en vue d'une analyse contradictoire.

4.3.2.2 Conformité des APL

Chaque APL est comparé à la valeur de l'APL de référence de la classe correspondante, augmenté de la marge de tolérance, à la même date de prélèvement. Pour être jugé conforme, l'APL mesuré doit être inférieur au seuil d'intervention à cette date de prélèvement (Vandenberghe *et al.*, 2013). Si le résultat est conforme, sa qualification peut être affinée (bon, satisfaisant ou limite) par comparaison à la distribution des résultats (Survey Surfaces Agricoles) qui ont servi à établir les références.

La figure 9 illustre la distribution et qualification des quelques 8000 observations réalisées depuis 2007 en zone vulnérable.

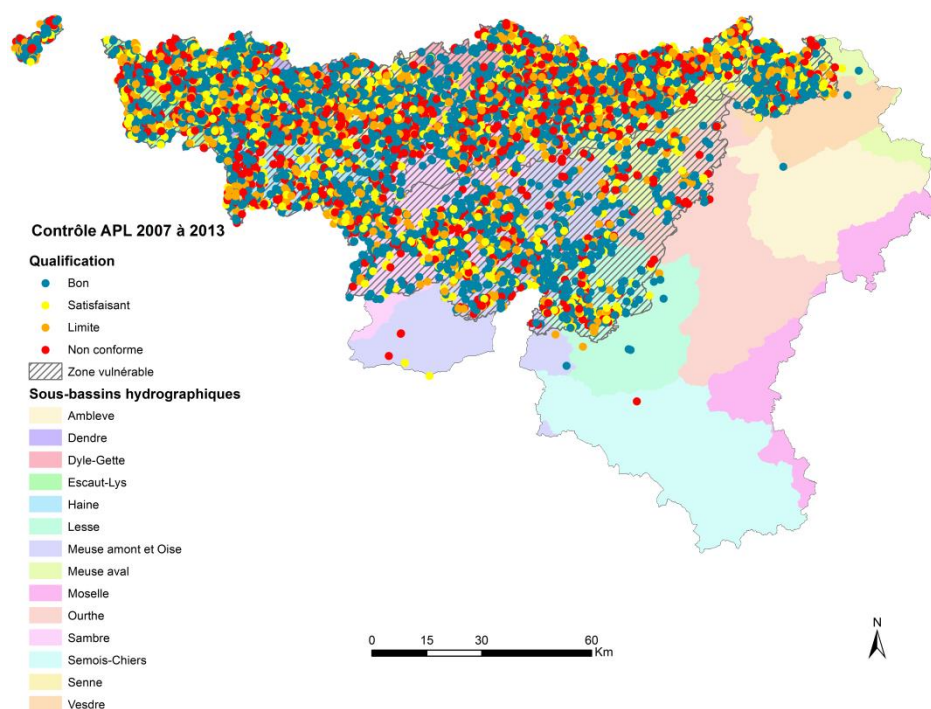


Figure 9. Distribution spatiale et conformité des parcelles contrôlées de 2007 à 2013.

Cette base de données spatialisées est complétée annuellement de près de 2000 observations. Elle peut être mise à disposition par GRENeRA, après accord du SPW, propriétaire des données.

4.3.2.3 Évaluation de l'exploitation

L'évaluation de l'exploitation est positive si au moins deux APL mesurés sur trois sont conformes. Le contrôle est alors clôturé. L'exploitation est toutefois susceptible de figurer parmi les exploitations contrôlées l'année suivante. Si par contre au moins deux APL sur trois sont non conformes, l'évaluation est négative et l'exploitation entre alors dans un programme d'observation.

4.3.2.4 Le programme d'observation

La durée du programme d'observation est de deux ans minimum (figure 10). Pendant ce programme d'observation, chaque année, trois nouveaux APL sont mesurés. Pour sortir du programme d'observation, il faudra obtenir une évaluation positive, c'est-à-dire deux APL conformes sur trois, pendant deux années consécutives. Si par contre dans le programme d'observation, l'exploitation obtient une évaluation négative à trois reprises, l'agriculteur s'expose alors à une amende pouvant atteindre 120€ par hectare de Superficie Agricole Utile (SAU) déclaré à la PAC. Durant le programme d'observation, le coût des analyses est à la charge de l'agriculteur excepté le coût de celles réalisées l'année de sortie du programme d'observation.

CONTRÔLE	PROGRAMME D'OBSERVATION					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
				SANCTION		
					SANCTION	
						SANCTION
			SORTIE DU PROGRAMME D'OBSERVATION			
					SORTIE DU PROGRAMME D'OBSERVATION	
						SORTIE DU PROGRAMME D'OBSERVATION

- Evaluation négative : 2 APL sur 3 sont non conformes au cours d'une même année
- Evaluation positive : 2 APL sur 3 sont conformes au cours d'une même année

Figure 10. Déroulement du programme d'observation.

4.3.3 Estimation de l'APL moyen de la ZAC

Le choix (par le SPW) des parcelles de culture à échantillonner lors du contrôle APL se fait généralement de manière aléatoire. En conséquence, une simple moyenne arithmétique de ces valeurs est représentative de la pression 'nitrate' des parcelles cultivées dans la ZAC. Néanmoins, si l'examen des données révèle une fréquence très élevée d'une culture en particulier (l'évaluation peut être faite dans un premier temps à l'aide des tableaux 10 et 11), il convient de valider la réalité de cette fréquence en la confrontant aux données du SIGEC réduites à la ZAC concernée.

Tableau 10. Parts d'après le SIGEC 2013 des cultures contrôlées dans les masses d'eau souterraine du district de la Meuse (RWM).

RWM	011	012	021	022	023	040	041	052	141	142	151
Betterave	14%	5%	4%	5%	1%	13%	14%	11%	0%	0%	1%
Céréales	46%	37%	35%	29%	15%	48%	46%	40%	0%	2%	4%
Chicorée	2%	0%	0%	0%	0%	2%	2%	1%	0%	0%	0%
Maïs	7%	8%	9%	8%	9%	5%	4%	10%	7%	8%	12%
Pomme de terre	9%	3%	1%	4%	0%	8%	9%	8%	0%	0%	0%
Colza	3%	7%	7%	3%	2%	2%	2%	1%	0%	0%	0%
Légumes	3%	1%	1%	1%	0%	6%	7%	2%	0%	0%	0%
Prairie	18%	38%	42%	50%	73%	14%	15%	28%	93%	90%	82%

Tableau 11. Parts d'après le SIGEC 2013 des cultures contrôlées dans les masses d'eau souterraine du district de l'Escaut (RWE).

RWE	013	030	031	032	051	053	061	160
Betterave	9%	9%	6%	11%	14%	14%	10%	7%
Céréales	33%	42%	26%	33%	44%	49%	28%	31%
Chicorée	1%	1%	1%	2%	3%	2%	1%	0%
Maïs	15%	11%	20%	13%	9%	7%	19%	18%
Pomme de terre	11%	10%	8%	15%	9%	9%	13%	9%
Colza	0%	1%	0%	0%	1%	1%	0%	0%
Légumes	4%	2%	1%	7%	4%	10%	6%	2%
Prairie	26%	23%	36%	19%	16%	9%	23%	33%

En ce qui concerne les prairies, étant donné la faible variabilité des résultats qui majoritairement sont assez peu élevés (de l'ordre de 20 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) et l'occurrence de cette occupation du sol (de l'ordre de la moitié de la SAU de la Wallonie), ces parcelles sont volontairement sous-échantillonnées par le SPW dans le cadre du contrôle APL.

A l'intérieur d'une ZAC, il est dès lors possible que 10 % des résultats concernent les prairies alors que ces dernières occupent plus d'un tiers de la ZAC. Il convient dès lors de tenir compte, pour l'estimation d'un APL moyen de la ZAC, de la part des cultures et des prairies dans la ZAC au moyen de l'équation suivante :

$$\overline{APL}_{ZAC} = \overline{APL}_{cult} \times \frac{\%_{cult}}{100} + \overline{APL}_{prai_{90cm}} \times \frac{\%_{prai}}{100} \quad (\text{éq. 1})$$

où :

\overline{APL}_{ZAC} : APL moyen de la ZAC

\overline{APL}_{cult} : moyenne des APL observés pour une culture donnée

$\%_{cult}$: part de la SAU occupée par une culture donnée

$\overline{APL}_{prai_{90cm}}$: moyenne des APL observés en prairie sur 90 cm de profondeur

$\%_{prai}$: part de la SAU occupée par de la prairie

En prairie, l'APL n'est estimé que pour la couche 0-30 cm. Ce résultat est donc extrapolé à l'épaisseur 0-90 cm comme pour les cultures. Des observations faites entre 2002 et 2004 dans les parcelles du Survey Surfaces Agricole (SSA) montrent que le reliquat azoté mesuré sur une épaisseur de 90 cm correspond approximativement au double du reliquat azoté observé dans la première couche (0-30 cm). Ce coefficient a donc été adopté pour extrapoler jusqu'à 90 cm les résultats obtenus en prairie dans la première couche (0-30 cm) :

$$APL_{prai_{90cm}} = APL_{prai_{30cm}} \times 2 \quad (\text{éq. 2})$$

Pour établir l'APL moyen, seules les observations réalisées au cours des cinq dernières années sont utilisées ; les valeurs plus anciennes n'étant plus toujours très représentatives des pratiques de gestion de l'azote mises en œuvre par les agriculteurs concernés. Un APL moyen pondéré par les parts de surface des cultures emblavées a été estimé pour chaque ZAC pilote (cf. §5.3, page 77).

La qualité de l'estimation dépend bien entendu en premier lieu du nombre d'observations réalisées. Ce nombre est établi en prenant en compte :

- la variabilité intra-parcellaire liée à la densité d'échantillonnage pour constituer l'échantillon composite à la parcelle et
- la variabilité inter-parcelle estimée à l'échelle de zones agro-pédologiques représentatives des différents contextes agro-pédologiques wallons et couvrant la zone vulnérable (pour la disponibilité de données de contrôle APL).

Enfin, ce nombre de données requises est également établi en considérant une erreur de précision maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ autour de l'APL moyen de la ZAC.

A titre illustratif, une ZAC de plus de 1.000 parcelles requiert environ 100 observations APL.

Pour obtenir plus d'info :

- §5.3 (page 77) pour l'application de la méthodologie sur les 6 ZAC pilotes
- annexe 8.5 (page 128) pour le détail de la méthodologie de détermination du nombre de données (cette méthodologie a fait l'objet d'une programmation dans un logiciel livré dans le CD qui accompagne le présent rapport).

4.4 Assainissement

Lorsque la part de la SAU dans la ZAC est faible (< 30 %), la première hypothèse de contamination des eaux souterraines est une pollution ponctuelle liée aux activités domestiques (assainissement des eaux usées) ou agricoles (stockage d'engrais de ferme sur le site de l'exploitation) (cf. §4.5 Infrastructures de stockage d'engrais de ferme, page 49).

En région wallonne, la SPGE coordonne la collecte et l'assainissement des eaux usées domestiques. Le portail cartographique²⁹ qu'elle a développé permet de visualiser (figure 11) le régime d'assainissement (collectif, autonome ou transitoire) ainsi que les infrastructures d'égouttage, de collecte et d'épuration (existante, en cours de réalisation ou inexistante).

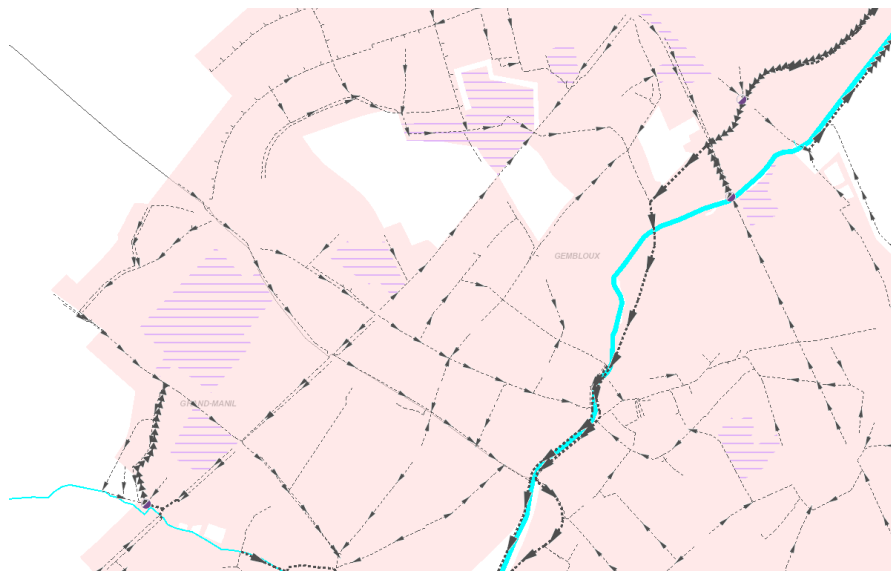


Figure 11. Extrait du plan d'assainissement de Gembloux (Source : SPGE).

La consultation de cette carte dans la ZAC permet d'apprécier la nature (assainissement collectif ou autonome) et l'importance du réseau d'égouttage. Cependant, elle ne renseigne pas le taux de raccordement (régime collectif) ou d'assainissement autonome conforme.

Afin d'évaluer l'impact potentiel maximum des eaux usées domestiques sur la qualité de l'eau d'un site de captage, il convient de comparer le flux massique annuel d'azote à l'exutoire du captage (éq. 3.) au flux massique potentiel domestique maximum (éq. 4).

$$N_{\text{capt}} = Q_{\text{capt}} \times [\text{NO}_3] / 4,42 \quad (\text{éq. 3})$$

N_{capt} : flux d'azote au site de captage (kg N/an)

Q_{capt} : débit annuel du captage (l/an)

$[\text{NO}_3]$: concentration moyenne en nitrate dans l'eau du captage (kg/l)

4,42 : facteur de conversion nitrate → azote

²⁹ <http://webcarto.spge.be/geocms/bin/view/map%3AGuichetGrandPublic>

$$\text{Ndom} = \text{PopZAC} \times 0,5 \times 1,8 \quad (\text{éq. 4})$$

Ndom : flux d'azote domestique potentiel maximum

PopZAC : population dans la ZAC (hab)

0,5 : hypothèse (pessimiste) d'un assainissement conforme pour 50% des habitations de la ZAC

1,8 : production annuel d'azote par un équivalent habitant³⁰ en considérant une présence la moitié du temps dans l'habitation (kg N/équivalent habitant)

La population de la ZAC peut être estimée à l'aide de la cartographie des secteurs statistiques³¹.

³⁰ <http://www.spge.be/fr/notion-d-equivalent-habitant-eh.html?IDC=1094&IDD=1368>

³¹ Le secteur statistique est l'unité territoriale de base qui résulte de la subdivision du territoire des communes et anciennes communes par l'Institut national de Statistique pour la diffusion de ses statistiques à un niveau plus fin que le niveau communal. (www.statbel.fgov.be)

4.5 Infrastructures de stockage d'engrais de ferme

Lorsque la part de la SAU dans la ZAC est faible (< 30 %) et que les infrastructures d'assainissement sont conformes, il convient de rechercher les éventuelles sources de pollution ponctuelles au sein des exploitations agricoles situées dans la ZAC.

Depuis 2014³², chaque exploitation agricole peut solliciter au SPW une visite en vue d'un examen de conformité des infrastructures de stockage des engrais de ferme. Si la conformité est avérée, l'exploitation reçoit une « Attestation de Conformité des Infrastructures de Stockage des Effluents d'Elevage » (ACISEE).

L'examen du SPW porte sur :

- l'adéquation des volumes/aires de stockage en fonction de la production de chaque type d'engrais de ferme, compte tenu de l'importance de chaque cheptel et de son mode de logement (stabulation libre, entravée, ...);
- l'étanchéité des ouvrages de stockage lorsque ceux-ci ont été récemment construits et munis d'un puisard de contrôle d'étanchéité.

D'après les informations sollicitées (juin 2015) auprès du SPW (Charles Hendrickx et Pascal Petit), une base de données géoréférencées devrait être fonctionnelle au SPW début 2017. Cet outil recensera toutes les infrastructures visitées, leur capacité et conformité ainsi que les éventuelles remarques des agents du SPW en charge de ces examens. De plus, mise en relation avec la base de données TALISOL³³, elle permettra d'évaluer l'ampleur d'une éventuelle pollution ponctuelle (passée ou présente).

Il conviendra à ceux qui mettront en application les programmes d'actions de prendre les contacts nécessaires avec le SPW pour solliciter ces informations. Cependant, compte tenu du caractère privé de celles-ci, leur disponibilité pour des tiers ne faisant pas partie d'un « service public » n'est pas assurée.

³² Arrêté du Gouvernement wallon modifiant le Livre II du Code de l'Environnement, contenant le Code de l'Eau en ce qui concerne la gestion durable de l'azote en agriculture (M.B. 12.09.2014) – Art. R198
<http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeR049.html>

³³ Taux de liaison au sol = ratio production d'azote 'organique' dans une exploitation et capacité de valorisation sur les prairies et les champs de l'exploitation. Cf. Code de l'Eau – Article R210
<http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeeaucoordonneR.html>

4.6 Sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate

4.6.1 Introduction

L'azote nitrique présent dans le sol présente un risque d'être lixivié, c'est-à-dire entraîné en profondeur avec les eaux de percolation au-delà la zone racinaire, et dégrader ainsi la qualité des nappes d'eau souterraine par le dépassement de la limite de potabilité en matière de nitrate fixée à 50 mg l⁻¹.

Selon l'objectif recherché, plusieurs méthodes d'étude de la lixiviation du nitrate existent : l'utilisation de cases lysimétriques permet de déterminer l'azote lessivé sur des parcelles 'test' (Muller J-C, *ed.*, 1996 ; Fonder *et al.*, 2010 ; Deneufbourg *et al.*, 2013). Ces méthodes sont « lourdes » à mettre en œuvre et ne peuvent donc s'appliquer que sur quelques parcelles. Les prélèvements de sol pour la mesure du reliquat azoté permettent de déterminer la quantité de nitrate potentiellement lessivable/lixiviable (APL) au-delà de la zone racinaire (cf. §4.3.2, page 43 et Vandenberghe *et al.*, 2013), sur l'ensemble d'une zone d'étude.

Mis à part les pratiques culturales, auxquelles sont liées la qualité de gestion anthropique de l'azote, les principaux facteurs du milieu intervenant dans les phénomènes de pollution des nappes par le nitrate sont :

- les conditions météorologiques (principalement la pluviosité) ;
- les conditions géomorphopédologiques (prise en compte de la géologie, de la morphologie/du relief et de la morphologie du sol).

En ce qui concerne les conditions météorologiques, les périodes favorables à l'entraînement du nitrate sont celles où les précipitations excèdent l'évapotranspiration (fin été – automne et hiver), qui correspond à la période où le sol peut être nu avant la prochaine culture de printemps (Deneufbourg *et al.*, 2013, Bah *et al.*, 2014). En effet, pendant cette période, le sol se sature en eau et la pluie infiltrée (on parle aussi de pluie efficace) entraîne alors le nitrate en profondeur.

Les conditions géomorphopédologiques jouent également un rôle important, selon qu'elles favorisent une infiltration lente, rapide ou un écoulement latéral. Une perméabilité excessive du sol favorise une infiltration rapide. C'est le cas par exemple dans des sols comportant des zones d'infiltration préférentielle.

Dans cette étude, nous nous focalisons uniquement sur les facteurs liés aux caractéristiques géomorphopédologiques. Par ailleurs, seuls les transferts verticaux sont pris en compte, l'objectif étant l'évaluation de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate.

4.6.2 Expérimentation

L'expérimentation réalisée vise à observer la dynamique du nitrate dans trois types de sols différents d'un point de vue de leur texture, en mesurant le reliquat d'azote nitrique à plusieurs profondeurs du sol et pendant plusieurs mois (de novembre 2014 à avril 2015).

4.6.2.1 Matériels et méthodes

A. Localisation des parcelles

Afin d'évaluer la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, le reliquat d'azote nitrique dans le sol a été mesuré de novembre 2014 à avril 2015 dans trois types de sols différents appartenant à trois parcelles cultivées situées dans un triangle de 5 km de côté, centré sur Leuze-en-Hainaut (figure 12).

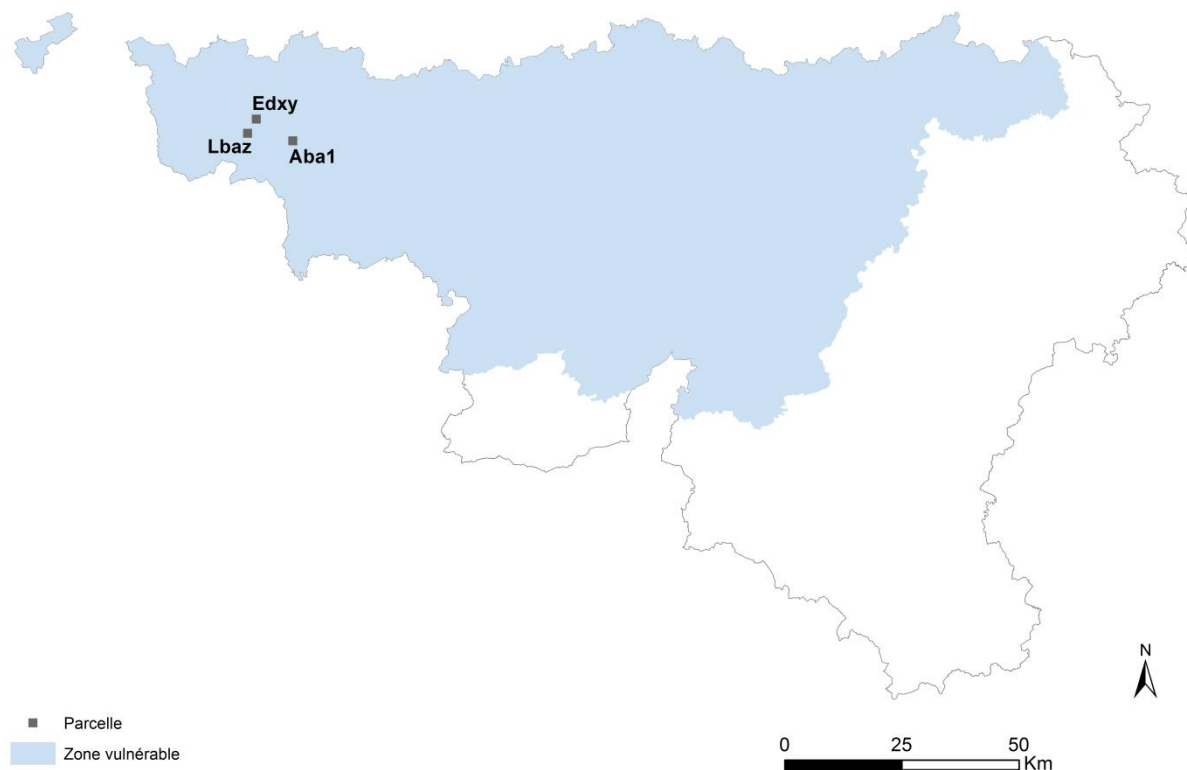


Figure 12. Localisation des parcelles en Wallonie.

B. Echantillonnage et analyse de sol

Afin de suivre la dynamique du nitrate dans les trois types de sol, un épandage de 150 kg N ha^{-1} a été appliqué sur deux placettes de 2 m^2 de chacun des trois types de sols étudiés, distantes d'une dizaine de mètres, afin de répéter l'expérience pour chaque parcelle. Ce qui est revenu à appliquer sur chaque placette de 2 m^2 une dose de 78 ml d'azote liquide (50 % d'urée, 25 % d'ammoniaque et 25 % de nitrate).

Les placettes ont été échantillonnées avec une tarière hélicoïdale une fois par mois de novembre 2014 à avril 2015 (18/11, 22/12, 27/01, 25/02, 24/03 et 27/04). Les prélèvements de sol ont été réalisés dans 6 couches de sol de 30 cm d'épaisseur jusqu'à la profondeur de 180 cm (0-30, 30-60, 60-90, 90-120, 120-150 et 150-180 cm). Ainsi, six échantillons ont été prélevés au niveau de chaque placette, soit donc 12 échantillons par parcelle, et au total 36 échantillons (12 pour chacune des 3 parcelles) par mois. Sur la période entière de l'expérimentation (de novembre 2014 à avril 2015), un total de 216 échantillons ont été récoltés, conditionnés et analysés au laboratoire.

L'échantillonnage de novembre 2014 correspond à l'état initial du sol avant l'apport d'azote ce même jour. Il a été effectué le 18 novembre juste après le semis d'une céréale d'hiver (froment).

Les analyses de sol (dosage du nitrate et mesure de l'humidité résiduelle) ont été réalisées conformément au protocole en vigueur pour le contrôle APL.

C. Caractéristiques pédologiques des parcelles

D'après la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW), les sols échantillonnés correspondent à :

- un sol sablo-limoneux (limon sableux) à drainage favorable et devenant léger en profondeur (sigle « Lbaz ») (figure 13) ;
- un sol limoneux (limon) à drainage favorable (Aba1) (figure 14) ;
- un sol argileux devenant lourd en profondeur (Edxy) (figure 15).



Figure 13. Localisation de la parcelle sablo limoneuse (Lbaz).



Figure 14. Localisation de la parcelle limoneuse (Aba1).



Figure 15. Localisation de la parcelle argileuse (Edxy).

Des analyses granulométriques ont été réalisées par la méthode de la pipette Robinson. Le tableau 12 reprend par type de sol et par couche d'échantillonnage (0-30 cm, 30-60 cm, etc.) la texture moyenne des deux placettes. Ce tableau indique également la définition de la texture pour chaque couche d'après le principe utilisé pour la carte des sols de la Belgique. La figure 16 localise les textures moyennes sur le triangle des textures de la carte des sols de la Belgique.

Les constats suivants confirment la classe texturale renseignée par la carte des sols de la Belgique. :

- le sol sablo-limoneux (Lbaz) est caractérisé par la plus forte fraction sableuse (de 25 à 66% en moyenne) ;
- le sol limoneux (Aba1) est marqué par une dominance très nette de la fraction limoneuse (de 67 à 72 % en moyenne) ;
- le sol argileux est caractérisé par des teneurs en argile nettement supérieures (de 25 à 47 % en moyenne) ;
- les résultats révèlent bien l'influence du matériau parental argileux (argile yprésienne) en profondeur :
 - texture devenant plus légère en profondeur jusque 150 cm dans le cas du sol sablo-limoneux (Lbaz) du fait de l'influence conjointe des matériaux sableux puis argileux de profondeur ;
 - texture devenant plus lourde en profondeur dans le cas du sol limoneux (Aba1) et argileux (Edxy).

Tableau 12. Valeur moyenne de texture des différentes couches de sols échantillonnées sur deux placettes pour chaque type de sols.

Série pédologique	Profondeur (cm)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Texture
Sol sablo-limoneux (Lbaz)	0 - 30	14,0	52,7	33,3	limon sableux lourd (LSL)
	30 - 60	19,8	55,2	25,1	argile limoneuse (ALI)
	60 - 90	20,3	32,2	47,6	argile légère (AL)
	90 - 120	18,6	30,3	51,2	argile légère (AL)
	120 - 150	17,6	16,6	66,0	argile légère (AL)
	150 - 180	20,4	52,4	27,2	argile limoneuse (ALI)
Sol limoneux (Aba1)	0 - 30	17,0	72,0	11,2	limon (L)
	30 - 60	19,2	70,4	10,5	limon lourd (LLO)
	60 - 90	23,6	67,1	9,3	limon lourd (LLO)
	90 - 120	24,0	68,2	7,8	limon lourd (LLO)
	120 - 150	22,6	70,8	6,7	limon lourd (LLO)
	150 - 180	22,8	68,5	8,8	limon lourd (LLO)
Sol argileux (Edxy)	0 - 30	25,7	36,6	37,8	argile (A)
	30 - 60	25,8	31,6	42,7	argile (A)
	60 - 90	29,3	33,8	37,0	argile sableuse (AS)
	90 - 120	37,8	50,4	11,9	argile lourde (ALO)
	120 - 150	45,4	51,2	3,5	argile lourde (ALO)
	150 - 180	46,6	52,1	1,3	argile lourde (ALO)

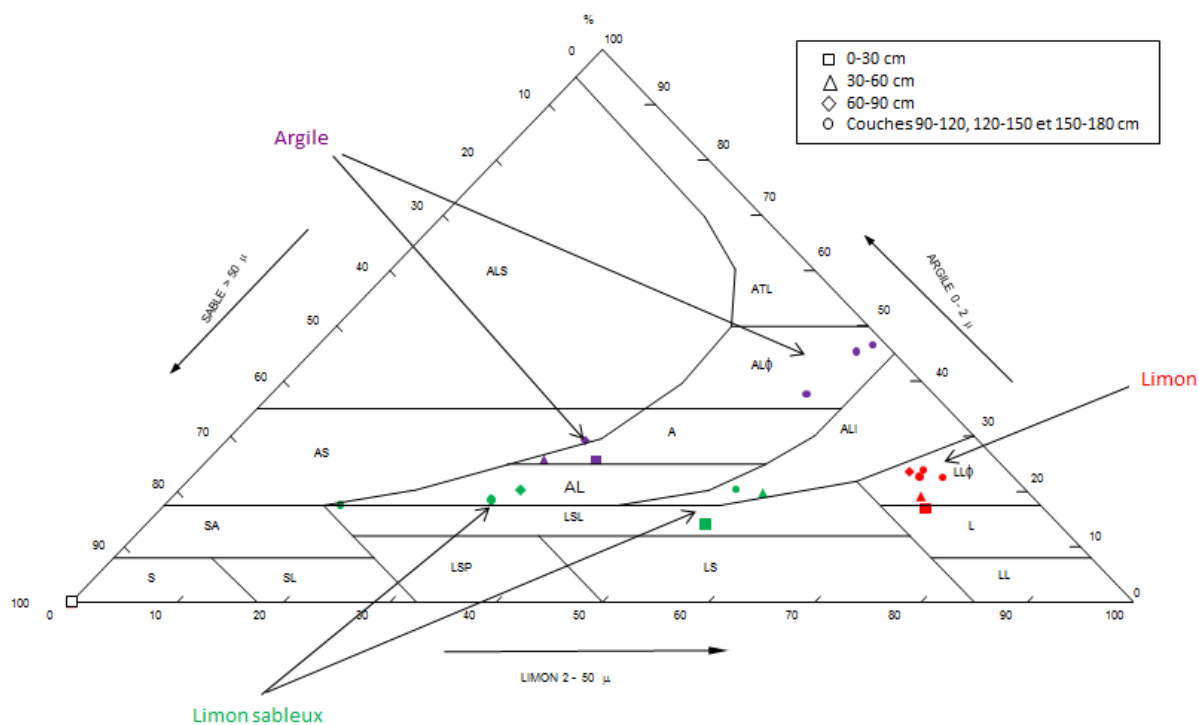


Figure 16. Localisation de la texture moyenne (des 2 placettes échantillonnées) de chaque couche de sol sur le triangle des textures de la carte des sols de la Belgique.

D. Précédents culturaux et fertilisation azotée

Les précédents culturaux de ces trois parcelles sont décrits au tableau 13. Les parcelles ont été semées en froment dès l’automne 2014. Les apports de fertilisation réalisés sur les trois parcelles sont fournis au tableau 14.

Tableau 13. Historique cultural des parcelles expérimentales.

Parcelle	2013	2014	2015
Sablo-limoneuse (Lbaz)	froment	maïs	froment
Limoneuse (Aba1)	potomne de terre	maïs	froment
Argileuse (Edxy)	maïs	potomne de terre	froment

Tableau 14. Fertilisation azotée pendant l'expérimentation.

<p>Parcelle Sablo-limoneuse (Lbaz)</p> <p>14/03/2015: apport de 29 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide</p> <p>14/03/2015: apport de 67 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide (azote soufré)</p> <p>11/04/2015: apport de 19 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide</p> <p>11/04/2015: apport de 42,5 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide (azote soufré)</p>
<p>Limoneuse (Aba1)</p> <p>19/02/2015: apport de 50 kg ha⁻¹ sous forme nitrate 27%</p> <p>10/03/2015: apport de 65 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide</p> <p>09/04/2015: apport de 50 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide</p>
<p>Argileuse (Edxy)</p> <p>14/03/2015: apport de 29 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide</p> <p>14/03/2015: apport de 67 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide (azote soufré)</p> <p>11/04/2015: apport de 19 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide</p> <p>11/04/2015: apport de 42,5 kg ha⁻¹ sous forme azote liquide (azote soufré)</p>

E. Pluviométrie

Les données météorologiques proviennent de la station météorologique du CARAH³⁴ à Ath. La figure 17 montre les précipitations mensuelles ainsi que leur cumul sur toute la période de l'étude (novembre 2014 à avril 2015). Le mois de janvier fut particulièrement pluvieux avec plus de 120 mm de précipitations, suivi des mois de décembre (97 mm) et de novembre (71 mm). Le total des précipitations cumulées sur toute la période dépasse 400 mm.

³⁴ Nous remercions le CARAH pour la mise à disposition des données météorologiques.

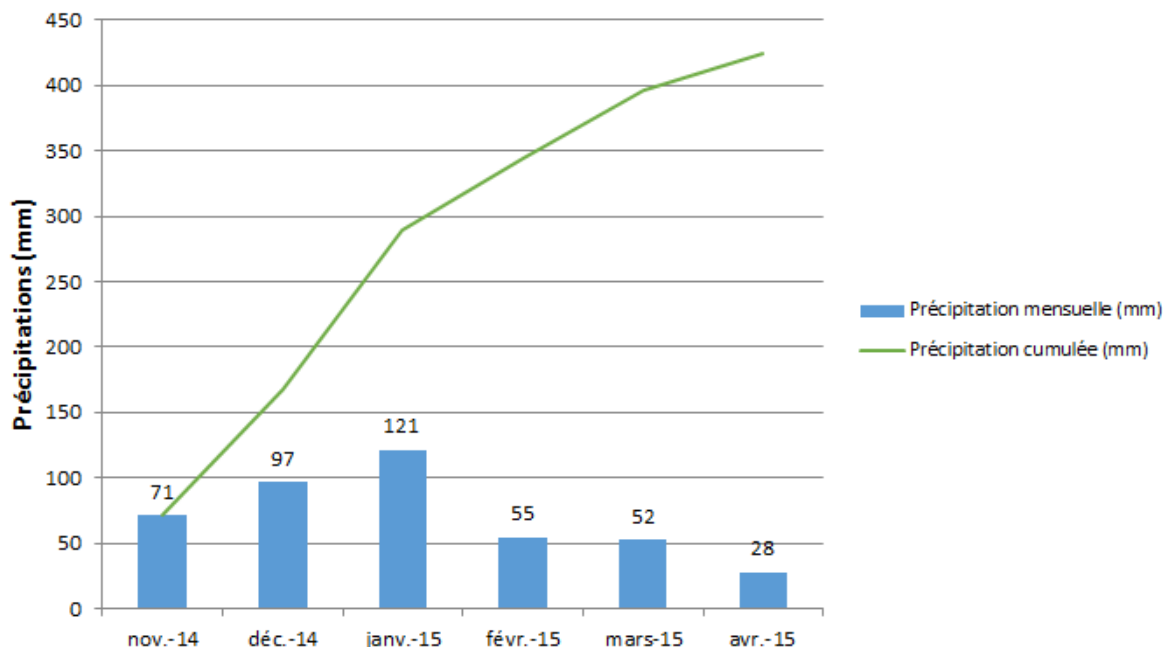


Figure 17. Pluviométrie enregistrée par la station météorologique du CARAH à Ath (novembre 2014 à avril 2015).

4.6.2.2 Résultats

Les figures 18 à 20 permettent d'illustrer la dynamique de la lixiviation de l'azote dans les trois types de sols.

Dès le mois de décembre (figure 18), on constate que la couche 30-60 cm du sol sablo-limoneux (Lbaz) est déjà « contaminée » ($76 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) par l'apport réalisé au mois de novembre. Dans ce même sol, le pic d'azote a déjà atteint la couche 60-90 cm au mois de janvier ($61 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), la couche 90-120 cm au mois de février ($42 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) et commence à contaminer les couches 120-150 et 150-180 cm au mois d'avril.

En ce qui concerne le sol limoneux (Aba1 ; figure 19), le pic d'azote ($75 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) se trouve encore dans la couche 0-30 cm au mois de décembre et ne devient marqué dans la couche 30-60 cm qu'au mois de février ($64 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), même si on note néanmoins un (léger) effet de percolation en décembre ($30 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) et janvier ($39 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$).

Pour le sol argileux (Edxy ; figure 20), le pic ($67 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) se marque également dans le 0-30 cm au mois de décembre, avec un (léger) effet de percolation ($30 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) dans la couche 30-60 cm. Au mois de janvier, on observe une chute des teneurs en azote nitrique quasiment au même niveau que celles qui avaient été observées avant l'apport.

Les pics observés dans le 0-30 cm au mois de février pour le sol limoneux (Aba1) et au mois de mars pour les sols sablo-limoneux (Lbaz) et argileux (Edxy) sont des réponses aux apports de fertilisants (tableau 14) réalisés au cours de ces mois. Pour le sol limoneux (Aba1), le pic de février se marque plus dans la couche 30-60 cm. La lixiviation du nitrate s'est donc faite rapidement du 0-30 cm (où l'apport de fertilisant a eu lieu) vers le 30-60 cm entre la date d'épandage (19 février) et la date d'échantillonnage (25 février).

Evolution mensuelle de la teneur en nitrate des différents horizons - sols sablo-limoneux

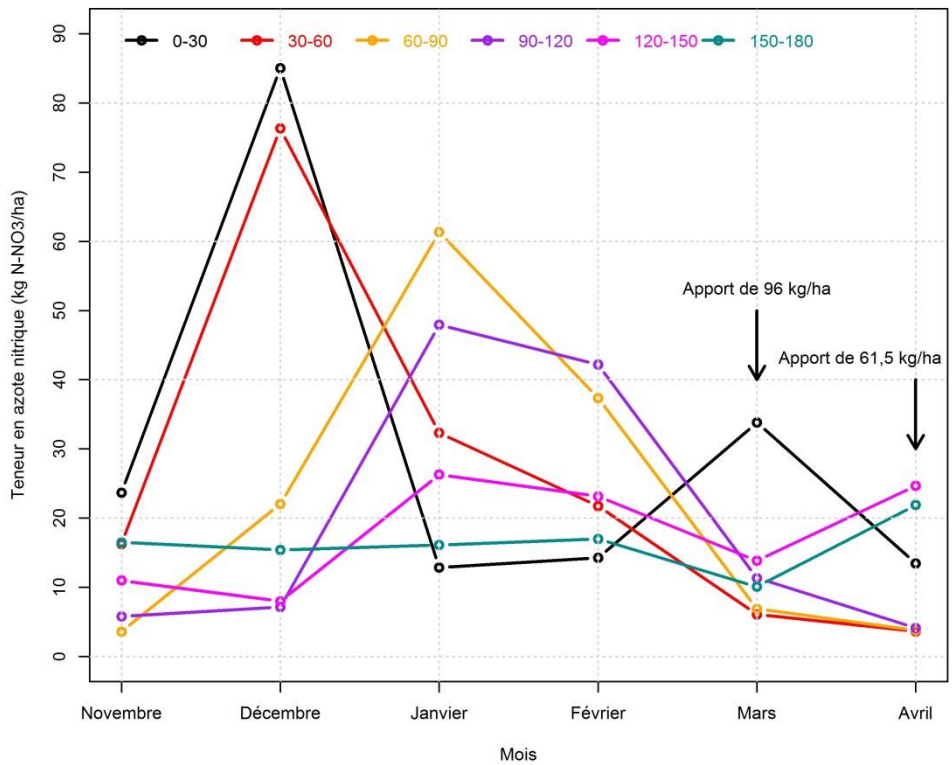


Figure 18. Evolution du reliquat azoté dans la parcelle sablo-limoneuse.

Evolution mensuelle de la teneur en nitrate des différents horizons - sols limoneux

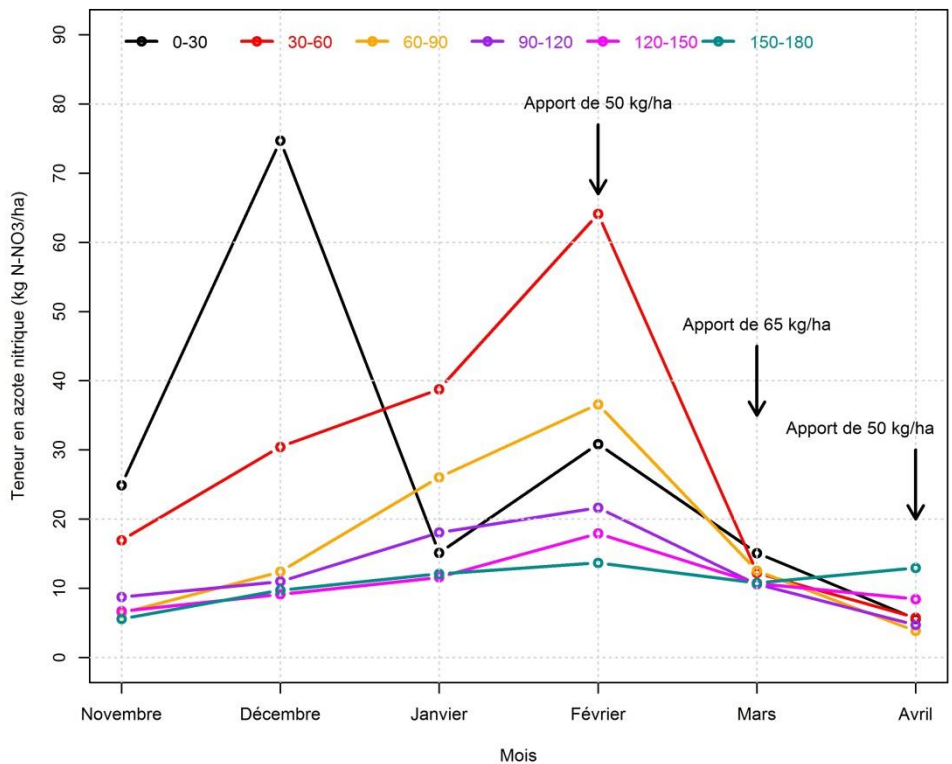


Figure 19. Evolution du reliquat azoté dans la parcelle limoneuse.

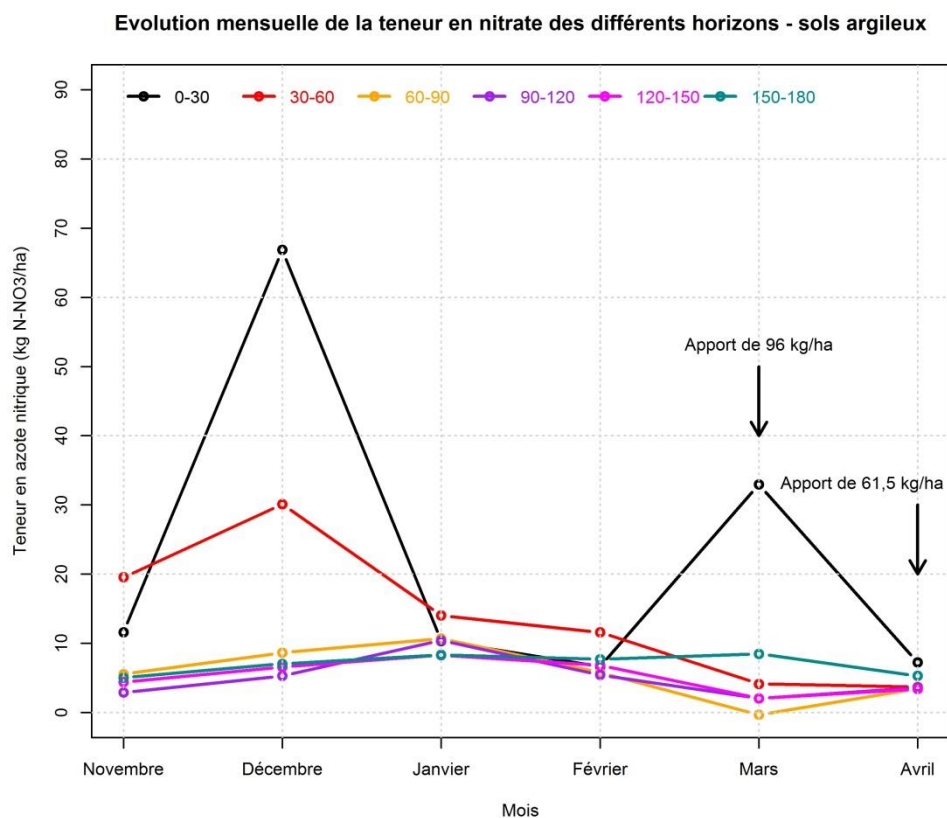


Figure 20. Evolution du reliquat azoté dans la parcelle argileuse.

Par ailleurs, l'examen de l'évolution de l'humidité résiduelle dans les échantillons des trois types de sols (figures 21 à 23) permet de corroborer les observations réalisées :

- pour les couches 0-30 et 30-60, les placettes limoneuses et argileuses ne présentent pas de différence significative (test de Tukey) mais sont différentes des placettes sablo-limoneuses.
- pour les couches sous-jacentes, des différences hautement significatives existent pour chaque type de couche de sol en fonction de la texture du sol ; les placettes argileuses présentant la plus forte teneur en humidité, les placettes sablo-limoneuses, la plus faible (test de Tukey).

Ces deux premiers constats indiquent (logiquement) que la texture générale d'une parcelle devient très discriminante à partir de 60 cm (à corrélérer avec les analyses granulométriques).

- pour la parcelle sablo-limoneuse, on constate que le plafond d'humidité résiduelle est atteint dès le mois de décembre dans la couche 120-150 cm tandis qu'il n'est atteint qu'en février pour les parcelles limoneuses et argileuses, signe d'une percolation plus lente de l'eau.

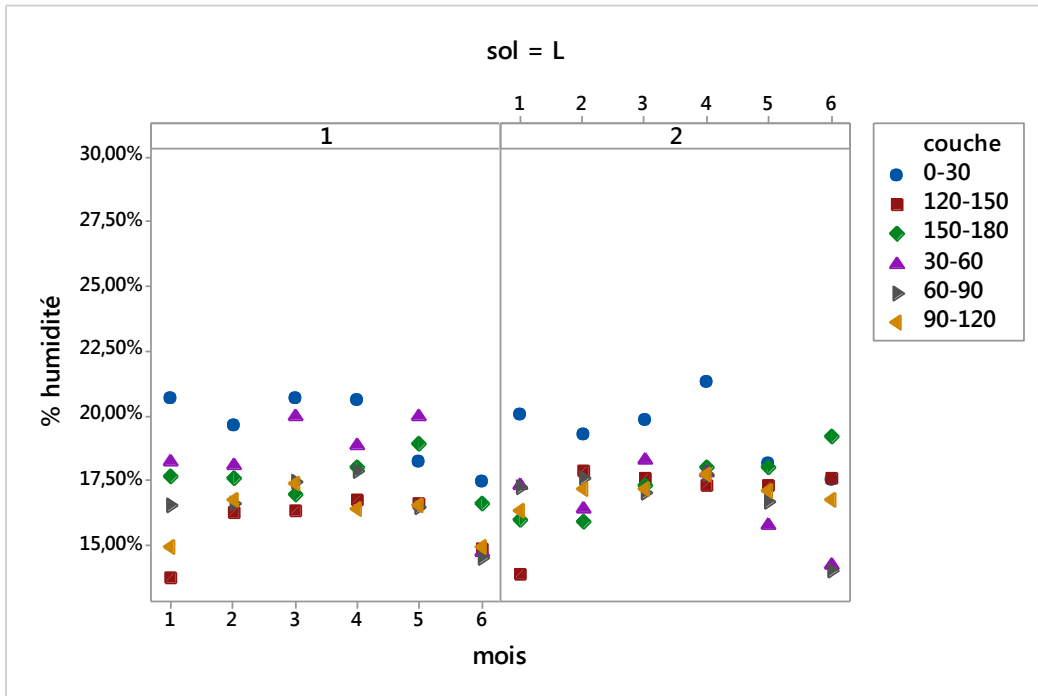


Figure 21. Evolution de l'humidité résiduelle dans les échantillons de la parcelle sablo-limoneuse (mois 1 = novembre, mois 6 = avril)

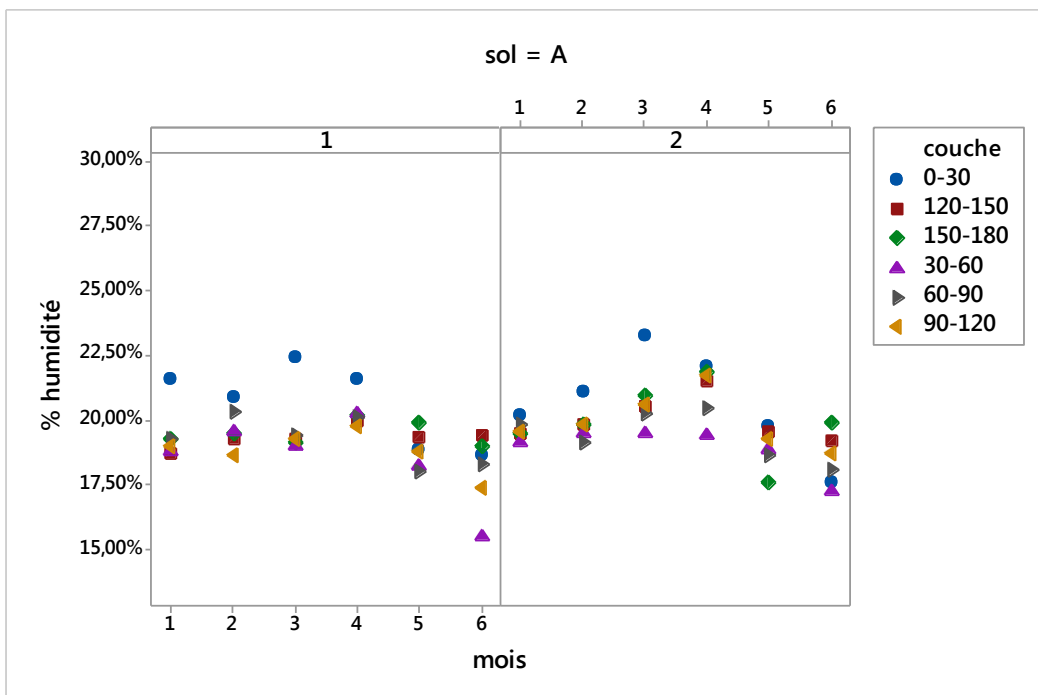


Figure 22. Evolution de l'humidité résiduelle dans les échantillons de la parcelle limoneuse (mois 1 = novembre, mois 6 = avril)

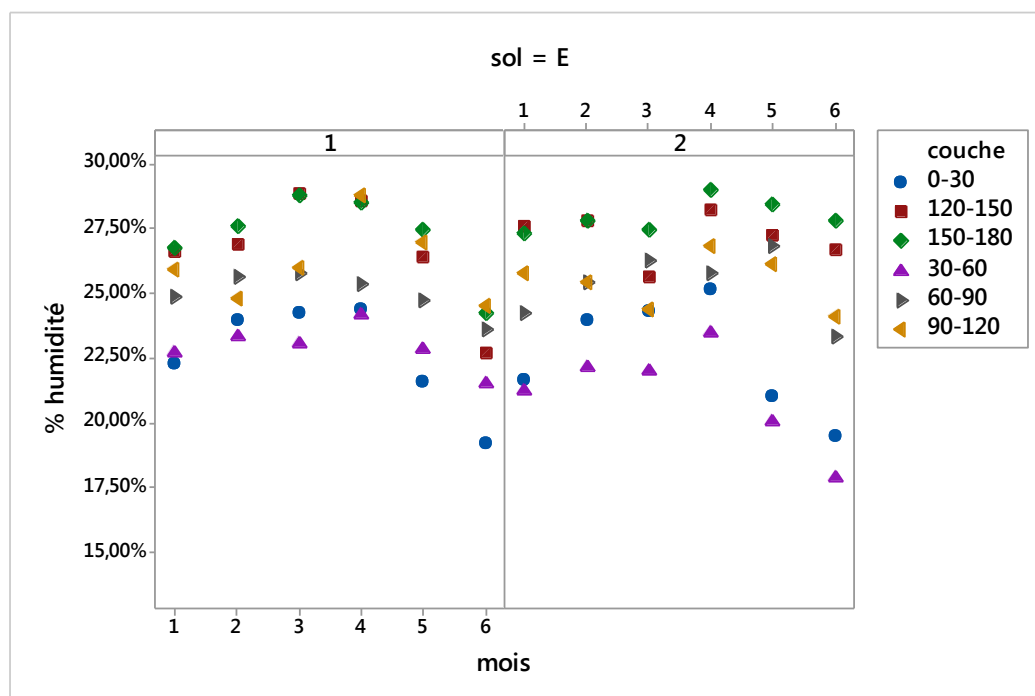


Figure 23. Evolution de l'humidité résiduelle dans les échantillons de la parcelle argileuse (mois 1 = novembre, mois 6 = avril)

4.6.2.3 Conclusion

L'intérêt de la démarche réside dans le fait qu'elle permet d'acquérir des données in situ qui permettent de valider des démarches d'évaluation basées sur un système « expert » ou une approche mécaniste. L'expérimentation réalisée permet de valider la cartographie réalisée au §4.6.3 (page 62). Elle confirme bien le fait que pour réduire la lixiviation du nitrate, il est nécessaire de prendre en compte le type de sol afin d'y adapter les pratiques culturales. En sols sableux, les risques de pollution sont plus élevés. En sols limoneux ou argileux, les risques de lixiviation sont plus faibles. Il faut également tenir compte du climat car la lixiviation a lieu principalement une fois la réserve utile du sol reconstituée, donc en période de drainage (bilan hydrique excédentaire).

4.6.3 Evaluation cartographique à partir de la carte des sols

4.6.3.1 Introduction

L'approche cartographique développée permet de caractériser/identifier les zones (sols) les plus sensibles à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, en fonction exclusivement de caractéristiques physiques cartographiées du sol.

L'évaluation est fondée sur une classification de paramètres pédologiques fournis exclusivement par la CNSW (cf. §4.6.3.3, page 63) et le calcul d'une sensibilité globale comme étant la somme de points attribués aux différents paramètres pris en compte. Plus la classe d'un paramètre est favorable à la lixiviation du nitrate, plus le nombre de points attribué à cette classe est important.

L'approche proposée s'inspire de celle mise au point par Borgers *et al.* (2006), elle-même basée sur l'étude de Cam *et al.* (1996). Dans cette étude-ci, nous avons ajouté de nouveaux paramètres pédologiques et raffiné la classification de certains paramètres proposée par Borgers *et al.* (2006), afin de mieux valoriser l'information pédologique détaillée fournie par la CNSW.

Précisons que l'évaluation réalisée ici ne prend pas en compte les transports latéraux (flux en surface, hypodermiques, etc.), notamment vers les eaux de surface, et n'intègre donc pas les relations toposéquentielles entre types de sols. Ainsi, les sols sur fortes pentes, tels que renseignés par la CNSW, très sensibles au ruissellement, n'ont donc pas été évalués et ont été explicitement mis en évidence.

Soulignons également que les cartes produites montrent la sensibilité plutôt que le risque. Le risque exprime l'interaction de la sensibilité/vulnérabilité inhérente/intrinsèque du sol avec la pression d'utilisation des terres et les conséquences probables pour les nappes d'eau exposées à cette pollution (Sohier, 2011). La carte de l'impact des successions culturales développées dans le cadre de cette recherche (cf. §4.2 page 33) est un exemple de carte de pression potentielle exercée sur les terres agricoles. Ces pressions varient en effet selon les pratiques de gestion des terres. La carte de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate réalisée ici pourrait donc être croisée avec la carte des pressions potentielles liées aux types de successions culturales pratiquées afin de produire une carte de risque potentiel de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines.

Des actions plus spécifiques seront donc conduites sur les zones les plus sensibles afin de limiter/réduire le risque de pollution des eaux souterraines par le nitrate. Notamment, de fortes « pressions » agricoles devront être proscrites sur les sols les plus sensibles.

4.6.3.2 Méthodologie d'évaluation de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate

L'approche d'évaluation de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate est fondée sur la prise en compte du mode de circulation de l'eau du sol en tant que vecteur principal du déplacement des éléments/polluants dans le sol. Ce transfert se fait principalement via l'eau gravitaire, qui s'infiltré en profondeur en empruntant la macroporosité (fissures et galeries). Il s'agit de l'eau non retenue qui percole verticalement sous l'action de la gravité. Le sol est dit ressuyé lorsque toute l'eau gravitaire s'est égouttée. L'eau capillaire absorbable par les racines est retenue dans la microporosité (pores les plus fins) par les forces capillaires.

La définition d'une sensibilité du sol à la lixiviation du nitrate consiste donc à évaluer la capacité du sol (125 cm de profil) à limiter/empêcher le transfert des polluants au-delà du profil pédologique. Cette capacité est fonction principalement de la **perméabilité du profil** (drainage ralenti ou trop

rapide) et de la **capacité de rétention en eau (réserve utile)** du sol (Cam et al., 1996 ; Ibnoussina et al., 2006 ; De Paz et al., 2009).

La méthodologie consiste donc à classer les critères pédologiques de la CNSW qui permettent d'expliquer/évaluer la perméabilité du sol ainsi que sa réserve utile. Une grille de notation est établie pour chaque critère pédologique pris en compte, en s'inspirant de celles proposées par Cam et al., (1996) et reprise par Borgers et al. (2006), et qui reflète l'incidence du critère sur la lixiviation du nitrate. Plus la cote attribuée à un critère est élevée, plus la sensibilité à la lixiviation du nitrate exprimée par ce critère est importante. La somme de ces cotes pour chaque sigle pédologique d'une unité cartographique de sol aboutit à la définition de différentes classes de sensibilité à l'infiltration.

Un code de programmation permettant l'éclatement et l'évaluation de l'ensemble des sigles pédologiques sur base des paramètres pris en compte (cf. 4.6.3.4) a été développé avec le logiciel de programmation et de calcul « R ». Ce codage informatique permet de rendre plus transparentes les règles de classification établies et de produire de manière plus efficace/efficiente la table de classification de l'ensemble des sigles pédologiques (plus de 6000) de la CNSW. Cette table est ensuite importée dans le logiciel SIG ArcGIS d'ESRI afin de spatialiser l'évaluation réalisée.

4.6.3.3 CNSW et critères pédologiques pris en compte

La CNSW a été produite à partir de la Carte « papier » des Sols de la Belgique (CSB) (Avril, 1992), elle-même réalisée entre 1947 et 1991 sous les auspices de l'IRSIA. La CSB est une carte de nature géomorphopédologique, c'est-à-dire une carte qui exprime les relations existant entre la roche, le relief et le sol. La base de données cartographiques de la CNSW décrit les caractéristiques des sols (texture, drainage, épaisseur, ...) sur l'entièreté du territoire wallon (Bracke *et al.*, 2004).

Les unités cartographiques (polygones) de la CNSW sont caractérisées par des sigles pédologiques³⁵ (unités typologiques de sols) qui traduisent les critères morphologiques du sol au point d'observation sur le terrain par le cartographe. Un sigle pédologique correspond à la série³⁶ cartographique (au sens de la légende de la CSB), qui groupe des profils pédologiques ayant en commun tout un ensemble de caractéristiques très importantes, comme la nature et la succession des horizons (ou simplement la présence ou l'absence d'un horizon diagnostique³⁷), leur couleur, leur texture, le drainage naturel (l'état hydrique), etc.

Dans la légende de la CSB, une série principale est représentée par un sigle comprenant trois à cinq lettres traduisant les caractéristiques observées dans le profil pédologique (jusque 125 cm de profondeur dans la mesure du possible).

Les critères pédologiques de la CNSW pris en compte sont :

1. la texture du sol ;
2. l'état du drainage naturel du sol
3. l'épaisseur du sol et la teneur en charge caillouteuse pour les sols limono-caillouteux.

³⁵ Pour plus de détail concernant la légende de la CNSW, le lecteur pourra se référer à la version actualisée au sens de la Carte numérique des sols de Wallonie (Bah *et al.*, 2007), qui peut être obtenue sur simple demande à l'équipe « PCNSW » (Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie, Axe Echange Eau-Sol-Plante, Université de Liège).

³⁶ Font partie d'une même série tous les sols présentant, dans un matériau originel de même nature aux plans de la composition lithologique et de la texture, le même type de profil. Tous présentent donc la même succession d'horizons génétiques et un drainage naturel analogue (Lozet & Mathieu, 2002).

³⁷ Horizon dont la seule présence oblige de rattacher le sol à une catégorie d'une classification ou d'une typologie sous réserve de respecter certaines conditions de situation, de profondeur ou certains critères analytiques (adapté de Baize, 2004).

1. La texture du sol

Elle fournit une indication sur la nature du matériau à partir duquel le sol s'est formé. La texture renseigne sur la perméabilité des couches superficielles du sol. Toute discontinuité de la texture amène des discontinuités de la porosité et donc des ralentissements de l'infiltration d'eau gravitaire.

La texture est déterminée au laboratoire en fonction de la teneur en chacune des trois fractions granulométriques principales de la terre fine : argileuse (0-2 μm), limoneuse (2-50 μm) et sableuse (50 μm -2 mm). La texture du sol est renseignée dans le sigle pédologique de la CNSW par une majuscule en première³⁸ position du sigle pédologique, correspondant à la classe texturale.

L'échelle de cotation reflétant l'incidence de la texture sur la lixiviation est présentée au tableau 15. Une classe de texturale peut recouvrir une ou plusieurs textures. Par exemple la classe Z correspond uniquement au sable, alors que la classe S peut correspondre à du sable limoneux ou à du sable argileux. Les cotes attribuées sont pondérées par la présence ou l'absence d'une variante de matériau parental dans le sigle de l'unité cartographique. En effet, cette précision exprime un changement progressif de texture en profondeur, devenant soit plus lourde ou plus légère en profondeur, en fonction de la classe texturale. Le tableau 16 présente les variantes de matériau parental utilisées pour pondérer les classes texturales. Lorsque plusieurs variantes de matériau parental sont précisées pour le même sigle, la cote de pondération est la somme des cotes individuelles attribuées à chaque variante.

Notons par ailleurs que la texture G regroupe des sols de texture L (limon sableux), A (limon) ou E (argile), difficilement différenciables du fait de la charge en éléments grossiers supérieure à 5%. Ces sols, du fait donc de leur texture variant du limon sableux à l'argile et de leur teneur en charge caillouteuse (> 5%), ont reçu la cote médiane de 12.

³⁸ Ou précédé d'une minuscule indiquant la nature du substrat géologique sous-jacent lorsque ce dernier est rencontré à moins de 125 cm de profondeur (dans le profil pédologique).

Tableau 15. Classification des classes texturales de la Carte numérique des sols de Wallonie (CNSW), pondérée par la présence éventuelle d'une variante de matériau parental.

Classe texturale	Définition	Cote	Pondération
Z	Sable	20	Selon la variante de matériau parental (définitions des symboles fournies au tableau 16) k et z → +2 a, b, y → -2 y2 → -4 y3, y2_3 → -6
S	Sable limoneux, sable argileux	18	
P	Limon sableux léger	15	
L	Limon sableux, limon sableux lourd	12	
G	Limon caillouteux	12	
A	Limon léger, limon, limon lourd	10	
(G)	limon peu caillouteux	10	
E	Argile légère, argile sableuse, argile, argile limoneuse	8	
U	Argile lourde, argile lourde sableuse, argile très lourde	2	
V	Tourbe	-	
W	Tourbière haute (intacte) inactive	-	
Complexes de classes texturales			
A-G	limon et limon caillouteux	12	k et z → +2 a, b, y → -2 y2 → -4 y3, y2_3 → -6
S-G, S-U, S-Z	Sable limoneux et limon caillouteux, sable limoneux et argile lourde, sable limoneux et sable	18	-
L-E	Limon sableux et argile légère	12	-
A-E, A-G-S, A-L, A-S, A-S-U, A-U, G-L, G-Z, E-L-S, E-Z	Limon et argile légère, limon, limon caillouteux et sable limoneux, limon et limon sableux, limon et sable limoneux, limon, sable limoneux et argile lourde, limon et argile lourde, limon caillouteux et limon sableux, limon caillouteux et sable, argile légère, limon sableux et sable limoneux, argile légère et sable	10	-
U-L, U-L-S	Argile lourde et limon sableux, Argile lourde, limon sableux et sable limoneux	8	-
V-E	Complexe de tourbe et d'argile	-	-

Tableau 16. Définition des variantes de matériau parental.

Variante de matériau parental	Définition
a	Sols sur limon d'altération
b	Sols sur limon lourd
k	Sols calcarifères
y	Sols devenant plus fins (textures Z, S) ou plus lourds (textures P, L, A, E, G) en profondeur
y2	Sols devenant plus lourds (textures A, E) entre 40 et 80 cm profondeur
y3	Sols devenant plus lourds (texture E) entre 20 et 40 cm profondeur
y2_3	Sols devenant plus lourds (texture E) entre 20 et 80 cm profondeur
z	Sols devenant plus grossiers (textures Z, S) ou plus légers (textures P, L, A, E, G, U) en profondeur

2. L'état du drainage naturel du sol

L'état du drainage naturel est conditionné par la structure du sol (équilibre entre macroporosité et microporosité) dépendant elle-même de sa texture et des matières organiques en présence (quantité et qualité), de la présence ou de l'absence d'un horizon particulier ou d'un substrat géologique, ainsi que de la position topographique (sols de plateaux, de pentes, de dépressions ou de vallées).

La présence d'un horizon induré ou d'un substrat imperméable à faible profondeur entraîne un engorgement d'eau temporaire (nappe temporaire) dans le profil pédologique. La lixiviation est alors ralentie, voire inexistante. Le drainage est alors dit (très) ralenti ou déficient. C'est le cas par exemple au niveau des semelles de labour (le plus souvent sur sols de texture limoneuse insuffisamment ressuyés), au contact de l'horizon Bt (où la porosité est faible à cause du caractère argileux de cet horizon)³⁹. On parle de fragipan⁴⁰.

Par ailleurs, la perméabilité d'un substrat éventuellement présent dans le profil (à moins de 125 cm de profondeur) dépend de sa nature. Le substrat peut être cohérent (induré) ou meuble. Dans le dernier cas, on observe un changement 'brusque' de texture en profondeur. Le substrat est précisé dans le sigle pédologique lorsqu'il est de nature lithologique différente de celle de la couche superficielle du sol, et apparaît dans le profil (à moins de 125 cm de profondeur).

L'état du drainage naturel du sol (régime hydrique) est indiqué dans la CNSW par une minuscule ou majuscule (dans le cas de complexes) placée directement à droite de la majuscule de texture. La classe de drainage naturel du sol renseigne sur l'état de gleyification ou de réduction du sol et sur la profondeur à partir de laquelle ces phénomènes apparaissent dans le profil.

L'évaluation des différentes classes de drainage naturel de la CNSW est fournie au tableau 17. Les sols à engorgement d'eau permanent (sols hydromorphes de vallées) ont été mis en évidence car ils constituent un environnement particulier. En effet, d'une part ils sont favorables aux processus de dénitrification du fait de leur déficit en oxygène. D'autre part, de par leur position, ils peuvent hériter du nitrate provenant des terres en amont par colluvionnement (entraînement latéral) et présenter donc un risque de contaminer/polluer la nappe alluviale avec laquelle ils peuvent être en contact direct. Plusieurs captages étant situés en position alluviale (par exemple les captages d'Arquennes), le processus de dénitrification déjà présent dans ces sols doit donc être favorisé.

³⁹ On parle aussi d'horizon Bt d'argilluviation. Il s'agit d'un processus d'entraînement des argiles en profondeur. On parle également de « ventre d'argile » pour l'horizon Bt. Cet horizon correspond à un critère particulier diagnostique de développement de profil.

⁴⁰ Renseigné en « variante de développement de profil » dans la légende de la CNSW. Dans le cas des sols de vallées et dépressions, cet horizon peut-être enfoui à faible (40-80 cm), moyenne (80-125 cm) ou plus de 125 cm de profondeur à cause des phénomènes de colluvionnement que subissent ces sols.

Tableau 17. Classification des classes de drainage naturel de la Carte numérique des sols de Wallonie (CNSW).

Classe de drainage naturel	Définition	Cote
a	drainage naturel excessif	20
b	drainage naturel légèrement excessif (texture Z) ou favorable (textures L, A, E, U, G)	15
c	drainage naturel modéré	10
d	drainage naturel imparfait	5
h	drainage naturel assez pauvre, sans horizon réduit (en principe à engorgement d'eau temporaire)	2
i	drainage naturel pauvre, sans horizon réduit (en principe à engorgement d'eau temporaire)	2
e	drainage naturel assez pauvre, à horizon réduit (en principe à engorgement d'eau permanent)	-
f	drainage naturel pauvre, à horizon réduit (en principe à engorgement d'eau permanent)	-
g	drainage naturel très pauvre (en principe à engorgement d'eau permanent)	-
Complexes de classes de drainage naturel		
B (a+b)	drainage naturel excessif ou légèrement excessif	15
A (a+b+c+d)	drainage naturel excessif à imparfait	15
D (c+d)	drainage naturel modéré ou imparfait	5
I (h+i)	drainage naturel assez pauvre ou pauvre, sans horizon réduit (en principe à engorgement d'eau temporaire)	2
F (e+f)	drainage naturel assez pauvre ou pauvre, à horizon réduit (en principe à engorgement d'eau permanent)	-
G (e+f+g)	drainage naturel assez pauvre à très pauvre, à horizon réduit (en principe à engorgement d'eau permanent)	-

3. L'épaisseur du sol et la teneur en charge caillouteuse pour les sols limono-caillouteux

L'épaisseur du sol conditionne sa réserve utile. En effet, plus la couverture pédologique est mince, plus sa réserve utile est faible et l'écoulement de l'eau gravitaire rapide. Dans la CNSW, l'épaisseur du sol (du moins celle atteinte par un sondage manuel à la tarière) est renseignée par la « phase de profondeur » indiquant la profondeur d'apparition du substrat, ou, dans le cas des sols limono-caillouteux, la présence d'une pierrosité (éléments grossiers) limitant le sondage à la tarière.

La classe de profondeur de la CNSW est indiquée par des chiffres figurant en suffixe du sigle pédologique. Dans le cas des sols limono-caillouteux, elles fournissent également une précision sur la fraction estimée de la charge en éléments grossiers.

Le tableau 18 (adapté de Bah *et al.*, 2007) récapitule les classes de profondeur définies dans le cadre de la CNSW, les symboles adoptés selon que les sols sont non caillouteux⁴¹, peu caillouteux⁴², caillouteux⁴³ et très caillouteux⁴⁴, ainsi que les poids affectés à chaque classe.

⁴¹ Textures Z, S, P, L, A, E, U avec une charge en éléments grossiers < 5% en volume.

⁴² Texture G avec une charge en éléments grossiers comprise entre 5 et 15% en volume

⁴³ Texture G avec une charge en éléments grossiers comprise entre 15 et 50% en volume

⁴⁴ Texture G avec une charge en éléments grossiers > 50% en volume.

Dans le cas des sols non caillouteux (textures Z, S, P, L, A, E, U), l'absence de phase de profondeur en suffixe du sigle (et donc de lettre(s) minuscule(s) en préfixe du sigle renseignant la présence et la nature du substrat) sous-entend un sol de plus de 125 cm de profondeur. Par ailleurs, dans le cas des sols non caillouteux, aucun substrat n'est rencontré à moins de 20 cm de profondeur.

Dans le cas des sols caillouteux (texture G), lorsque le substrat est de même nature lithologique que la charge en éléments grossiers, seule le symbole de la charge est repris dans le sigle pédologique (ex. Gbbf2). Dans le cas contraire, une lettre en préfixe du sigle renseigne la nature du substrat (ex. fGbb2).

Tableau 18. Classification des classes de profondeur du sol de la Carte numérique des sols de Wallonie (CNSW) en fonction de leur pourcentage en éléments grossiers (adapté de Bah *et al.*, 2007).

Classes de profondeur	Texture				Cote
	Z, S, P, L, A, E, U	G			
	0-5%	5-15%	15-50%	> 50%	
< 20 cm	-	-	Gbbf6, fGbb6	Gbbf6, fGbb6	20
20-40 cm	fAdb3	Gbb4, fGbb4	Gbbf4, fGbb4	Gbbf5, fGbb5	15
20-80 cm	uAba2_3, pAbb2_3	-	-	-	12
40-80 cm	fAba2, kAbb2	Gbb2 (Gbb7 ⁴⁵), fGbb2 (fGbb7)	Gbbf2 (Gbbf7), fGbb2 (fGbb7)	Gbbf3	10
> 40 cm ou > 125 cm	-	-	Gbbf0_1_2, GbBn1_2	-	8
80-125 cm	(x)Aba, (f)Aba	Gbb1, fGbb1	Gbbf1, fGbb1	-	5
> 80 cm ou > 125 cm	EDbk0_1	Gba0_1	aGbap1, Gbbf0_1	-	2
> 125 cm	Zag, Sba, Pca, Lbp, Aba, Edp, Udb	Gba, (G)bp	Gbp, Gcpr, Gbbn	-	0

4.6.3.4 Résultats cartographiques

La figure 24 montre la distribution de fréquence des points totaux obtenus pour les différentes unités (polygones) cartographiques de sols de la CNSW. Le tableau 19 reprend quelques statistiques globales de cette distribution de fréquence. Quatre (4) groupes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate (tableau 20) ont été définis sur base de cette même distribution en considérant les percentiles 25, 50 (médiane) et 75 comme limites de classes.

⁴⁵ Le chiffre « 7 » remplace le chiffre « 2 » lorsque la charge en éléments grossiers est fortement altérée.

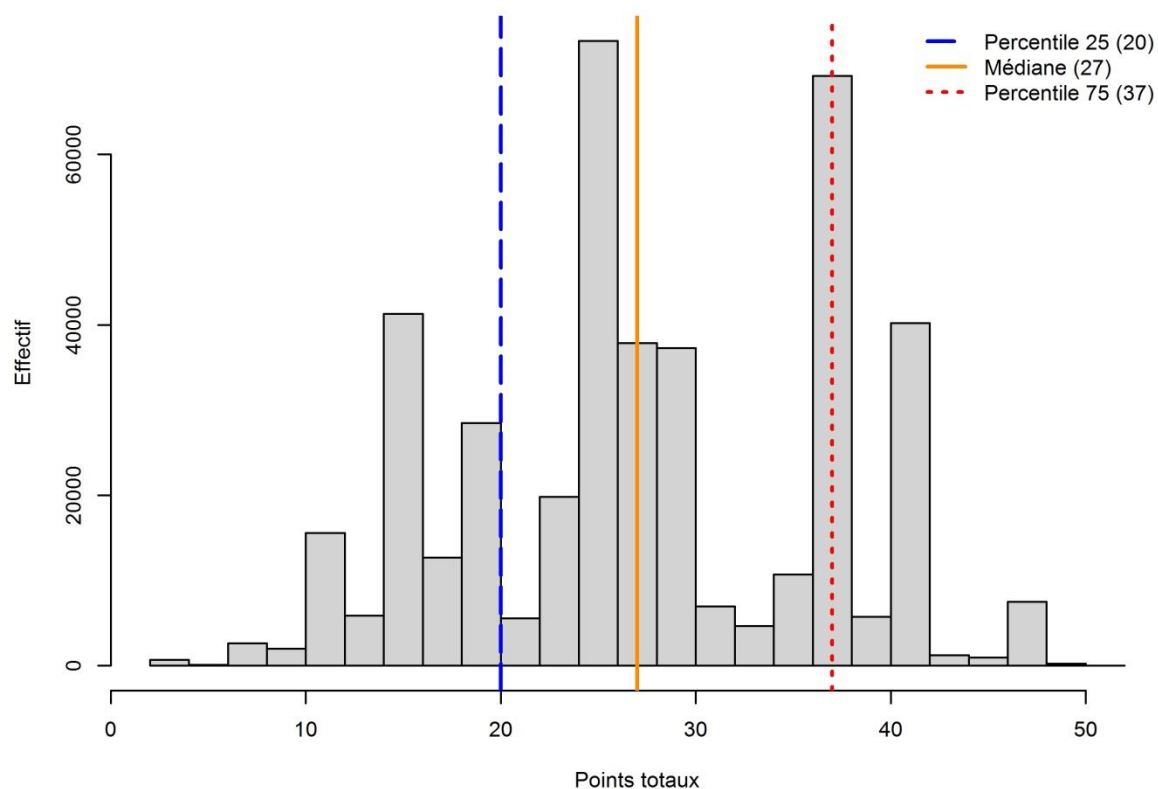


Figure 24. Distribution de fréquence des points totaux des sigles pédologiques de la carte numérique des sols de Wallonie (CNSW).

Tableau 19. Quelques statistiques globales de la distribution de fréquence des points totaux affectés aux différentes séries cartographiques de la CNSW.

Paramètre statistique	Valeur
Minimum	2
Percentile 25	20
Percentile 50 (médiane)	27
Percentile 75	37
Maximum	52

Tableau 20. Définition des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate.

Classe	Points
Sols peu sensibles	≤ 20
Sols moyennement sensibles	de 21 à 27
Sols sensibles	de 28 à 37
Sols très sensibles	> 37

Trois autres classes reprennent les « sols hydromorphes », « sols sur fortes pentes » et « sols sur affleurements rocheux ». Un groupe « manque d'information » regroupe tous les sols non classifiés par manque d'information, y compris les séries spéciales (zones bâties, terrains remaniés, fosses d'extraction, etc.) et les sols non cartographiés.

La figure 25 montre la représentation spatiale de la sensibilité des sols de Wallonie à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines. Le tableau 21 et la figure 26 reprennent les parts de surface des différentes classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate définies. Plus de 40 % des sols wallons sont évalués comme sensibles (33 %) à très sensibles (8 %) à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines. Ces sols sont situés principalement au sud du sillon Sambre-et-Meuse et correspondent à des sols limono-caillouteux à substrat schisto-phylladeux, schisto-gréseux/schisteux et calcaire. Les sols peu sensibles (18 %) à moyennement sensibles (26 %) sont majoritaires en région limoneuse (au nord du sillon Sambre-et-Meuse), la plus apte du point de vue agricole, et correspondent principalement à des limons, limons sableux et sables limoneux.

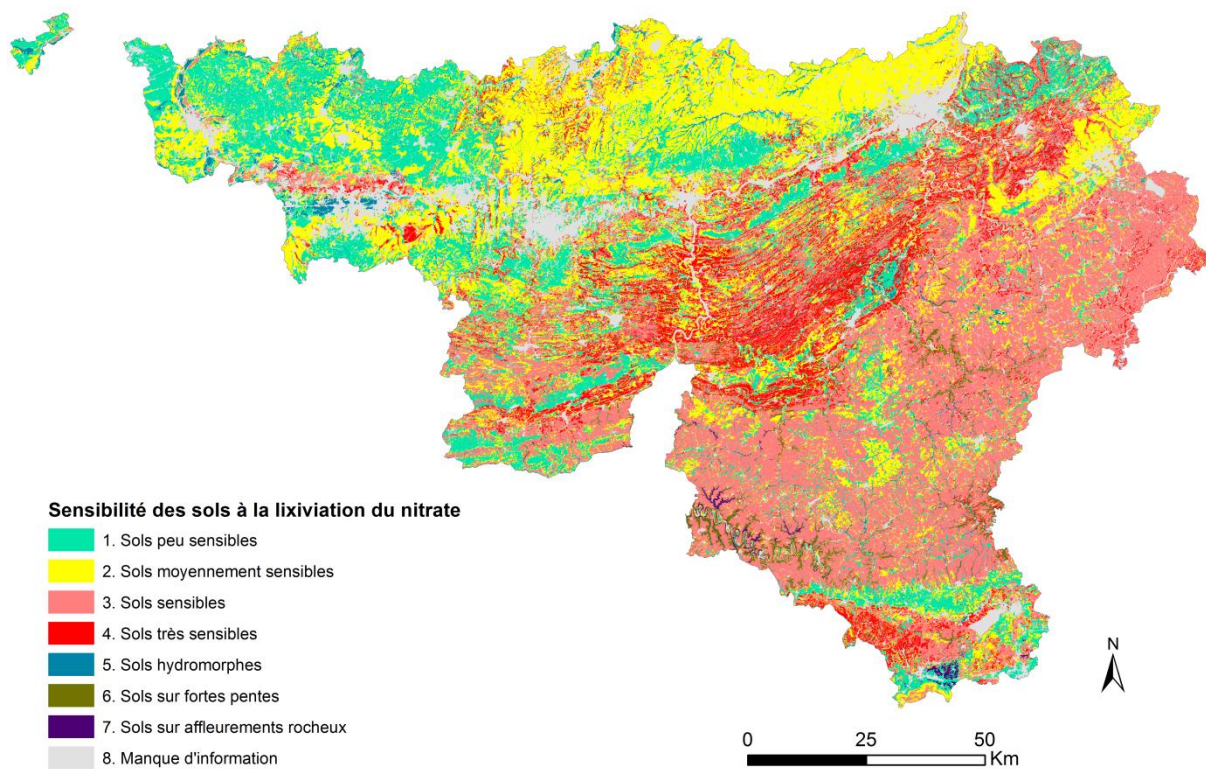


Figure 25. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, à l'échelle de la Wallonie.

Tableau 21. Surface couverte par les classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate, à l'échelle de la Wallonie

Code	Classe de sensibilité à la lixiviation du nitrate	Surface à l'échelle de la Wallonie	
		ha	Part (%)
1	Sols peu sensibles	298.036	17,6
2	Sols moyennement sensibles	435.971	25,8
3	Sols sensibles	551.840	32,6
4	Sols très sensibles	143.777	8,5
5	Sols hydromorphes	35.242	2,1 %
6	Sols sur fortes pentes	20.663	1,2 %
7	Sols sur affleurements rocheux	3.725	0,2 %
8	Manque d'information	200.985	11,9 %

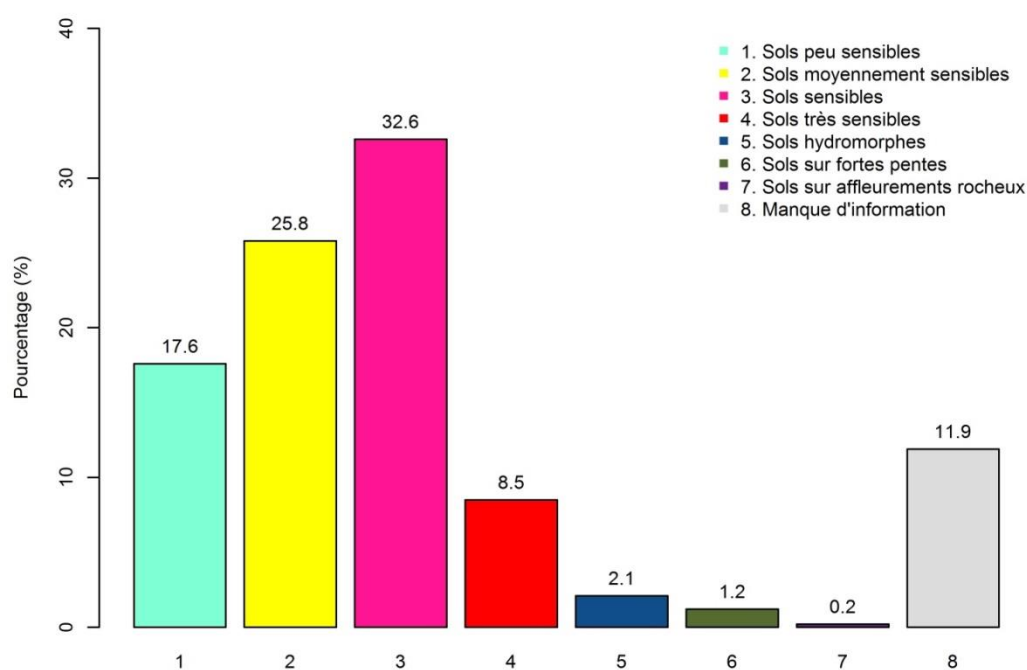


Figure 26. Diagramme en barres des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées en Wallonie.

Les figures 27 à 29 montrent la carte de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines à l'échelle des trois parcelles suivies en termes de lixiviation du nitrate (cf. §4.6.2, page 50). Nous arrivons au même résultat que le suivi du reliquat sur ces trois parcelles, à savoir que le sol limono-sableux (Lbaz) est très sensible à la lixiviation du nitrate, suivi du sol limoneux (Aba1) évalué comme moyennement sensible et du sol argileux (Edxy) jugé comme peu sensible.

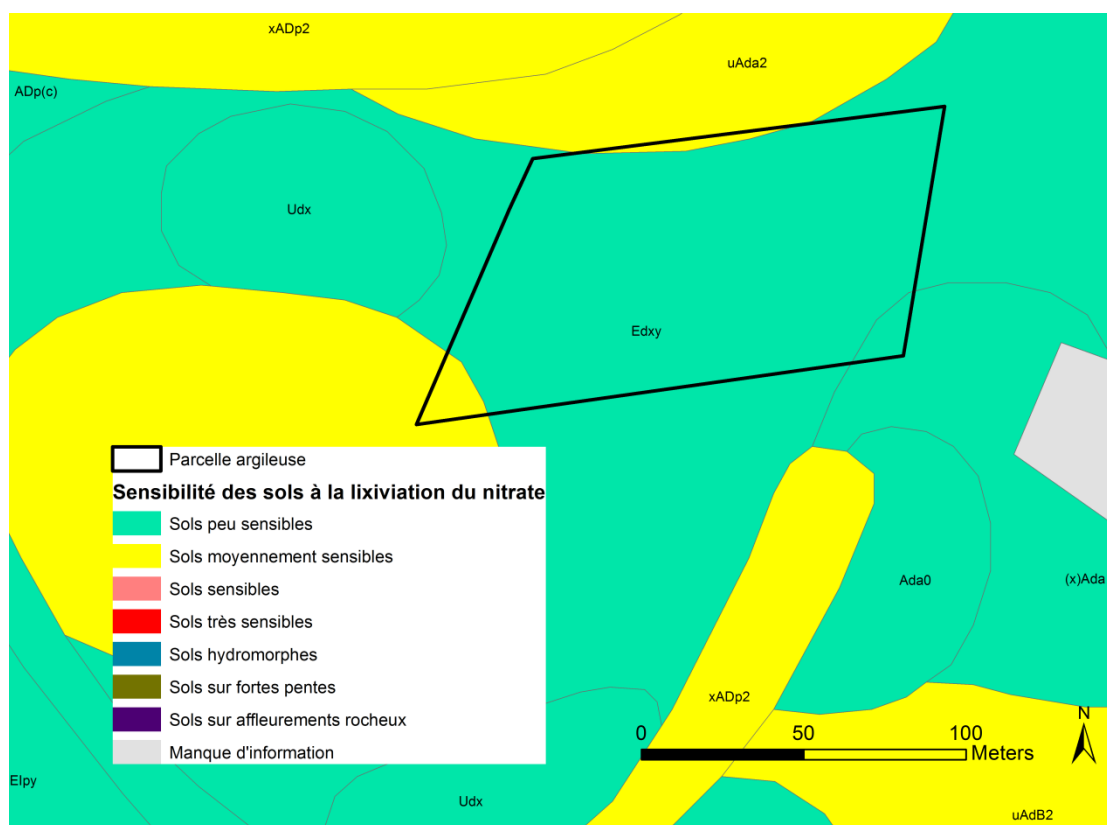


Figure 29. Représentation de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, à l'échelle de la parcelle argileuse (Edxy).

4.6.3.5 Discussion

La limite majeure de la méthode réside dans l'affectation des points (cotes) aux différents critères pédologiques utilisés pour l'évaluation, basée sur un jugement d'expert. En effet, d'autres pondérations pourraient conduire à des résultats différents. Néanmoins, l'approche « expert » a l'avantage d'intégrer dans l'analyse une connaissance du terrain qu'une méthode purement mécaniste ne pourrait valoriser.

Par ailleurs, la confrontation avec les résultats de l'expérimentation montre que l'évaluation cartographique réalisée est fiable. En effet, comme dans le cadre de l'expérimentation, le sol sablo-limoneux (Lbaz) est le plus sensible, du fait que ce sol présente un drainage favorable et une texture plus légère, notamment en profondeur, confirmée également par l'analyse granulométrique (figure 16). A l'inverse, le sol Argileux (Edxy) est celui qui présente la plus faible sensibilité du fait que ce sol possède une texture plus lourde, notamment en profondeur, qui joue le rôle de plancher imperméable, traduit dans le drainage naturel imparfait observé dans ces sols.

4.6.3.6 Conclusion

Nous avons, à partir de la CNSW, mis au point une méthode de cartographie de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate, basée sur une interprétation de caractéristiques physiques du sol fournies la CNSW, qui sont la texture, le drainage naturel du sol, son épaisseur et la teneur en charge caillouteuse pour les sols limono-caillouteux (> 15% en volume). Ces critères permettent en effet d'évaluer le mode de circulation de l'eau du sol, principal vecteur pour le transport du nitrate vers les eaux souterraines, déterminé par la perméabilité du sol (texture et drainage naturel) ainsi que par sa capacité de rétention en eau/réserve utile (texture et épaisseur du sol). La carte des sols utilisée a été acquise sur le terrain à un niveau assez détaillé (1 sondage tous les 75 m), assurant la 'validité' spatiale de

l'évaluation réalisée, notamment à l'échelle parcellaire. Un tel outil permet la généralisation de l'approche à l'échelle régionale.

L'approche développée permet une classification relative des sols (qualitative), allant des sols très peu sensibles aux sols très sensibles, mettant ainsi en évidence les secteurs de la ZAC qui requièrent des actions spécifiques en termes de protection de la ressource en eau vis-à-vis du nitrate.

A l'avenir, le croisement de cette carte de sensibilité des sols avec d'autres couches comme la carte du risque lié aux successions culturales, le MNT, le climat va permettre d'améliorer l'évaluation du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines.

5 APPLICATION DES LOGIGRAMMES AUX SIX SITES PILOTES

5.1 Introduction

Le logigramme principal (tableau 1) est dans un premier temps appliqué aux prises d'eau afin de définir le programme d'actions (logigrammes d'actions – figures 1 à 3) à mener à l'échelle de la ZAC de la prise d'eau pour y restaurer la qualité de l'eau au captage.

La figure 30 montre la localisation géographique des six sites de captages pilotes étudiés. Ces prises d'eau ont été sélectionnées de manière à être représentatives de la diversité des contextes agronomiques (sols et occupations culturales) et hydrogéologiques rencontrés en Wallonie. Les six sites pilotes choisis pour construire et tester la méthodologie sont les sites d'Arquennes, Cornesse, Givry, Solre-sur-Sambre, Waremmes et Petit-Houmart, gérés par la SWDE. Ils sont tous localisés en zone vulnérable.

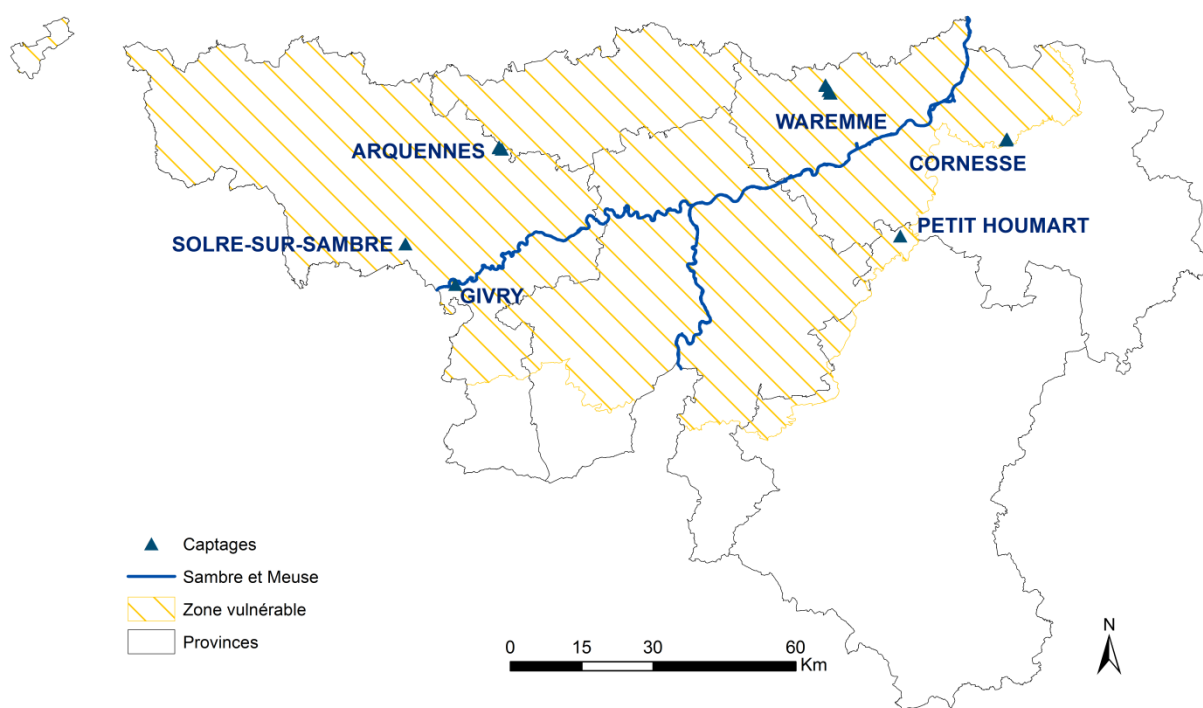


Figure 30. Localisation géographique des six captages pilotes étudiés.

L'application du logigramme principal implique de pouvoir répondre aux deux questions suivantes :

- quelle est la concentration moyenne annuelle en nitrate observée dans l'eau du captage au cours de la dernière année de mesures disponibles ?
- quelle est la tendance annuelle d'évolution des teneurs en nitrate dans l'eau des captages les cinq dernières années ?

Les réponses à ces deux questions du logigramme principal sont fournies dans le rapport d'activités de Geolys-HGE/ULg.

5.2 Estimation de l'APL moyen à l'échelle de la Zone d'alimentation de captage (ZAC)

L'une des premières étapes de l'application des logigrammes des programmes d'actions porte sur la détermination de l'APL moyen (§4.3 page 44) mesuré au niveau des parcelles agricoles de la ZAC, dans le cadre du suivi, par le SPW, de la conformité des exploitations agricoles situées en zone vulnérable aux bonnes pratiques agricoles nécessaires à la protection des eaux contre la pollution par le nitrate à partir de sources agricoles.

Afin d'être représentatif, un nombre minimal d'observations « APL » doit être disponible au niveau de la ZAC. Ce nombre minimal de données « APL » nécessaires est estimé sur base des mesures disponibles dans la base de données de contrôle « APL » du SPW, pour la période de 2007 à 2013, correspondant à environ 9000 données APL disponibles sur l'entièreté de la zone vulnérable wallonne (figure 9).

Le tableau 22 fournit la superficie (ha) de chaque ZAC, le nombre de données APL actuellement disponibles au niveau des ZAC, l'APL moyen sur base des données disponibles, pondéré par les superficies des cultures et prairies et le nombre de données APL minimum nécessaires pour une marge d'erreur de 10 kg N-NO₃ ha⁻¹. Comme déjà mentionné, la méthodologie d'estimation du nombre de données APL minimum selon la marge d'erreur souhaitée par rapport à la moyenne (ici 10 kg N-NO₃ ha⁻¹) est présentée à l'annexe 8.5 (page 143).

Tableau 22. Superficie (ha), nombre de données « APL » disponibles au niveau des ZAC, APL moyen pondéré par les parts des cultures/prairies de 2007 à 2013 et nombre de données minimum nécessaires pour une erreur de 10 kg N NO₃- ha-1 au tour de la moyenne.

ZAC	Superficie (ha)	Nombre de données « APL » disponibles ⁴⁶	APL moyen pondéré (kg N-NO ₃ ha ⁻¹)	Nombre de données « APL » nécessaires pour une erreur de 10 kg N-NO ₃ ha ⁻¹ autour de la moyenne
Arquennes	103,7	3	22,4	29
Cornesse	202,9	10	45,7	41
Givry	8.496,8	33	60,8	94
Solre-sur-Sambre	14.506,5	55	28,5	98
Waremme	3.307,1	42	71,2	91
Petit Houmart	291,2	1	12,7	53

⁴⁶ Données du contrôle APL du SPW, de 2007 à 2013.

5.3 Application des logigrammes d'actions à l'échelle des ZAC

5.3.1 ZAC d'Arquennes

L'application du logigramme principal sur les prises d'eau d'Arquennes conduit aux programmes d'actions N2 pour la prise d'eau « Arquennes E1 » et N3 pour les prises d'eau « Arquennes E2 », « Arquennes G3 » et « Arquennes G6 ». Dans cette situation de possibilité multiple pour une même ZAC, le choix (cf. rapport d'activités de Geolys-HGE/ULg) est d'opter pour le programme le plus contraignant, à savoir ici N2 (figure 2). La figure 31 reprend en grisé les étapes du logigramme N2 appliquées à ce stade-ci.

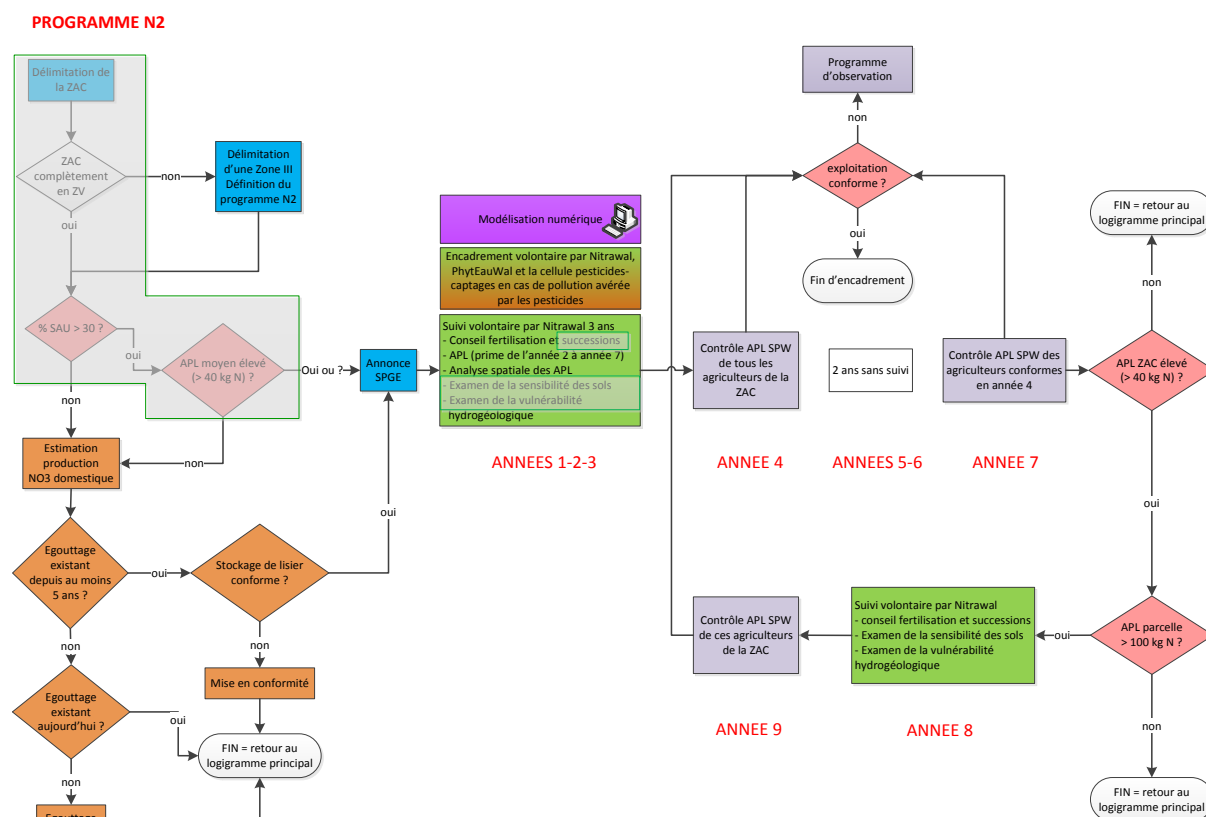


Figure 31. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC d'Arquennes.

La SAU⁴⁷ (tableau 23) estimée sur base de la COSW_V2_07 et du SIGEC 2013 est de 91 ha, soit 87 % de la superficie totale de la ZAC qui est de 104 ha. La figure 32 montre les principales classes d'occupation du sol (niveau 1⁴⁸) à l'échelle de la ZAC d'Arquennes. La part de la SAU dans la ZAC étant supérieure à 30 %, les données du contrôle APL sont exploitées pour évaluer l'intensité de la pression diffuse (cf. §3, page 17). D'après la COSW, la ZAC d'Arquennes est occupée (figure 43) en majorité par des cultures (88 %) et zones bâties ou urbaines (11 %).

⁴⁷ Prairies comprises.

⁴⁸ Le moins détaillé

Tableau 23. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.

	SAU COSW V2_07	SAU SIGEC 2013	Différence (%)
ZAC d'Arquennes	91,0 ha	90,5 ha	1 %



Figure 32. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.

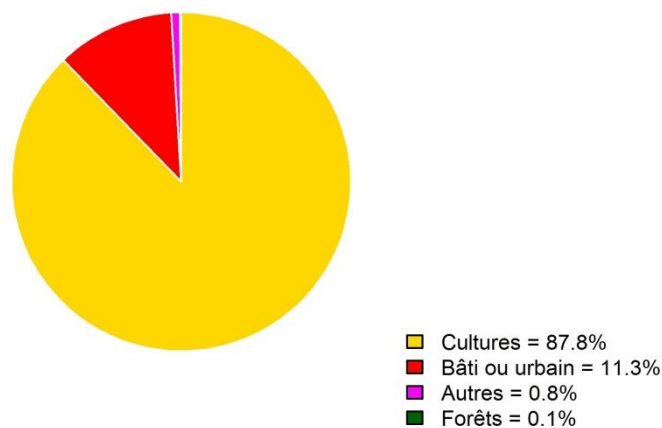


Figure 33. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).

L'APL moyen pondéré par les proportions de cultures (99,2%) et prairies⁴⁹ (0,8%) est de 22,4 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ (tableau 24). Il a été estimé sur base de trois valeurs de contrôle. Un nombre minimum de 29 valeurs est nécessaire pour pouvoir estimer la moyenne avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹. Il faudra donc des contrôles APL supplémentaires au sein de la ZAC pour atteindre cet objectif. Les parts en surface détaillées par type de spéculation sont fournies à la figure 34. On notera que la ZAC d'Arquennes était majoritairement occupée en 2013 par des céréales (67 %) et de la pomme de terre (17 %).

Tableau 24. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.

ZAC	Nombre de données disponibles	APL moyen culture (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen prairie ⁵⁰ (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen pondéré global (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	Nombre de données nécessaires ⁵¹
Arquennes	3	22,6	0	22,4	29

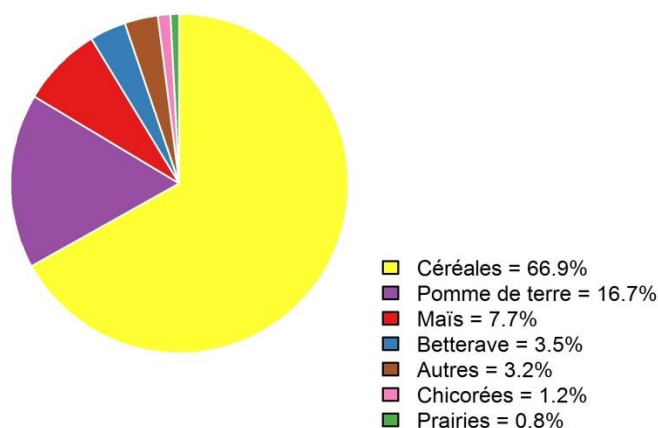


Figure 34. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes, estimées à partir du SIGEC 2013.

Le bassin agricole d'Arquennes est suivi par l'équipe de GRENeRA depuis une dizaine d'années. Des mesures d'APL y ont été réalisées annuellement dans toutes les parcelles (une trentaine) du bassin depuis 2005 pour évaluer la performance de la fertilisation effectivement mise en œuvre par chaque agriculteur du bassin. Le tableau 25 donne les APL moyens annuels (2005 à 2014) calculés sur base des données acquises par GRENeRA, en pondérant par la superficie des spéculations agricoles. La figure 35 illustre l'évolution de cet APL moyen pondéré à l'échelle de la ZAC d'Arquennes.

On note une diminution sensible de l'APL entre 2005 (75 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) et 2007 (26 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) avant un retour à la hausse jusqu'en 2011 (57 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹). Une baisse est également observée en 2012, néanmoins sans atteindre à nouveau la performance affichée entre 2005 et 2007, période pendant laquelle les agriculteurs des bassins d'Arquennes ont été encadrés par Nitrawal. Un retour à la

⁴⁹ L'APL moyen « prairie » pris en compte est l'APL 0-90 cm, qui correspond à l'APL 0-30 cm (mesuré) multiplié par 2 (cf. §4.3.3, équations 1 et 2).

⁵⁰ APL moyen 0-90 cm (qui correspond à APL 0-30 cm multiplié par 2).

⁵¹ Pour estimer l'APL moyen avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

hausse supérieur au seuil fixé de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ (en deçà duquel l'APL est qualifié de faible) est observé en 2013 avant une nouvelle baisse inférieure à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ en 2014. Les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC seront donc informés de la pollution observée par la SPGE et/ou le producteur d'eau concerné. Ce courrier leur annonce la nécessité d'y conduire un programme d'actions et les invite à participer à une première réunion en présence de la SPGE, du producteur d'eau, du Service Public de Wallonie (SPW) et de Nitrawal. Tous les agriculteurs exploitant au sein de la ZAC, qu'ils participent ou non au futur programme d'actions qui sera conduit par Nitrawal, devront subir un contrôle APL effectué par le SPW afin de vérifier leur conformité par rapport aux références établies.

Tableau 25. APL moyens ($\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) pondérés par les superficies des cultures et prairies, calculés sur base des données de GRENeRA, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.

Année culturale	APL moyen pondéré ($\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$)
2005	75
2006	61
2007	26
2008	30
2009	41
2010	50
2011	57
2012	49
2013	47
2014	38

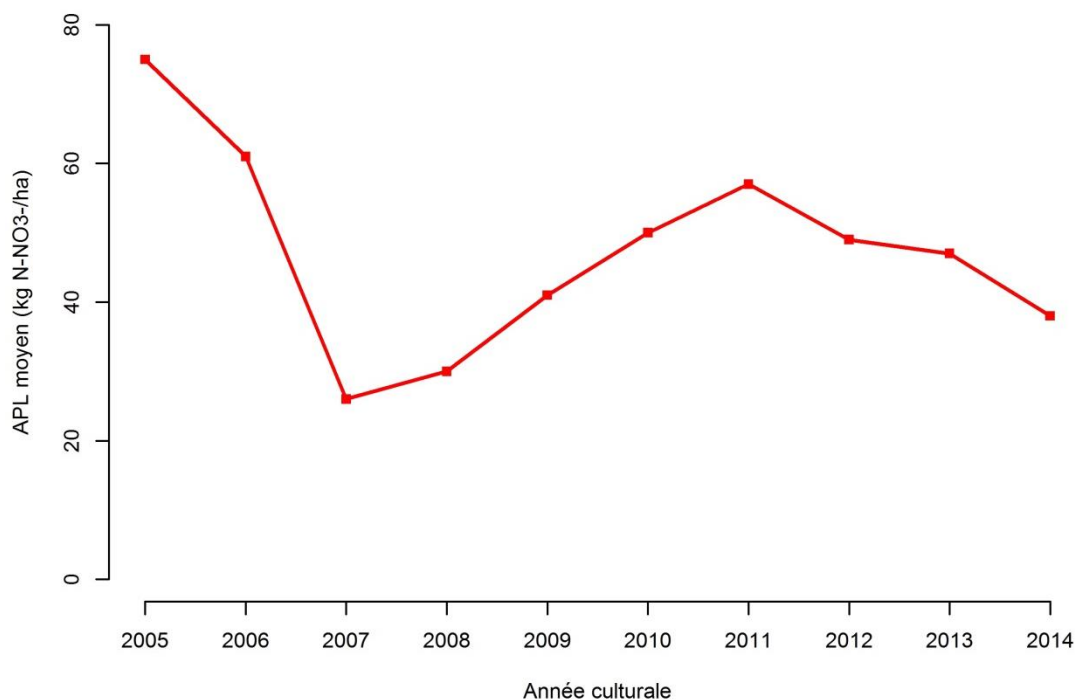


Figure 35. Evolution de l'APL moyen ($\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) pondéré par les superficies des cultures et prairies de 2005 à 2014, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'Arquennes.

84 % de la surface agricole (figure 36, tableau 26 et figure 37) de ces bassins sont couverts par des successions culturales à classe de risque très faible (1), faible (2) et moyen (3). On notera également

sur la figure 36 que les 3 valeurs de contrôle APL disponibles (mesurées entre 2010 et 2013) étaient toutes conformes par rapport aux références annuelles.

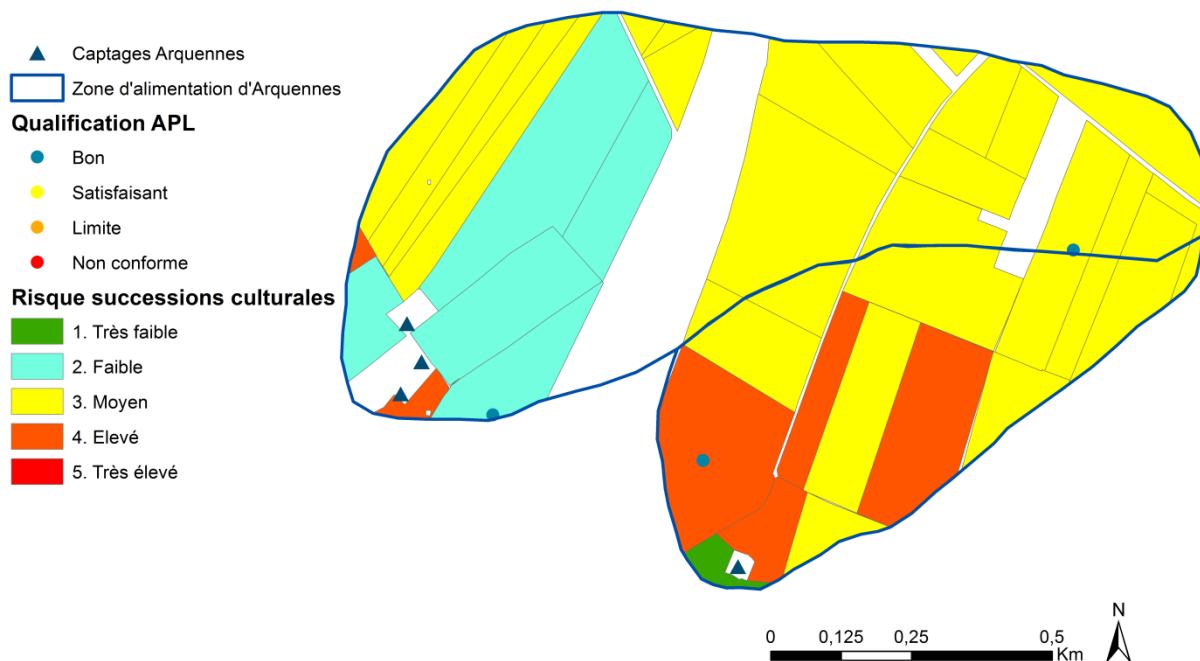


Figure 36. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

Tableau 26. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

Classe de risque	Définition	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Très faible	0,6	0,7
2	Faible	18,4	20,7
3	Moyen	55,3	62,3
4	Elevé	14,4	16,3

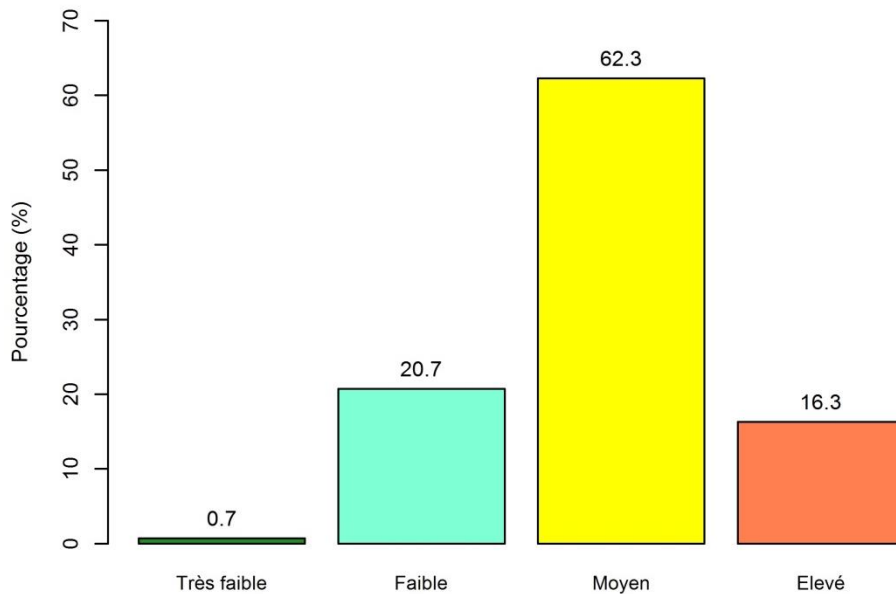


Figure 37. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

D'un point de vue de la sensibilité des sols à la lixiviation de l'azote nitrique (figure 38, tableau 27 et figure 39), les terres sont très majoritairement (89 % de la surface) moyennement sensibles. Notons que les captages (deux émergences et une galerie) du sous-bassin-ouest sont localisés sur des sols alluviaux hydromorphes (processus de dénitrification favorisé) ou peu sensibles à la lixiviation du nitrate. La galerie du sous-bassin-est quant à elle est localisée sur un sol sablo-limoneux peu épais (substrat sableux débutant entre 20 et 80 cm de profondeur) évalué comme très sensible à la lixiviation du nitrate. Ces sols très sensibles sont majoritaires sur le sous-bassin-est. Les concentrations⁵² en nitrate (figure 40) encore relativement élevées (48,7 mg l⁻¹ en juin 2015) dans cette galerie du sous-bassin-est (G6), malgré les actions correctives qui y ont été mises en œuvre par Nitrawal, confirment la plus grande sensibilité des sols de ce sous-bassin-est à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines. Néanmoins, de manière globale (à l'échelle des deux sous-bassins), on note une baisse moyenne de la concentration en nitrate d'environ 15 à 20 mg l⁻¹ (par exemple passage de 60 à environ 40 mg l⁻¹ pour la galerie G3) pour la période 2006-2015.

⁵² D'après le monitoring bi-mensuel réalisé par GRENERA (Gembloux Agro-Bio Tech, ULg).

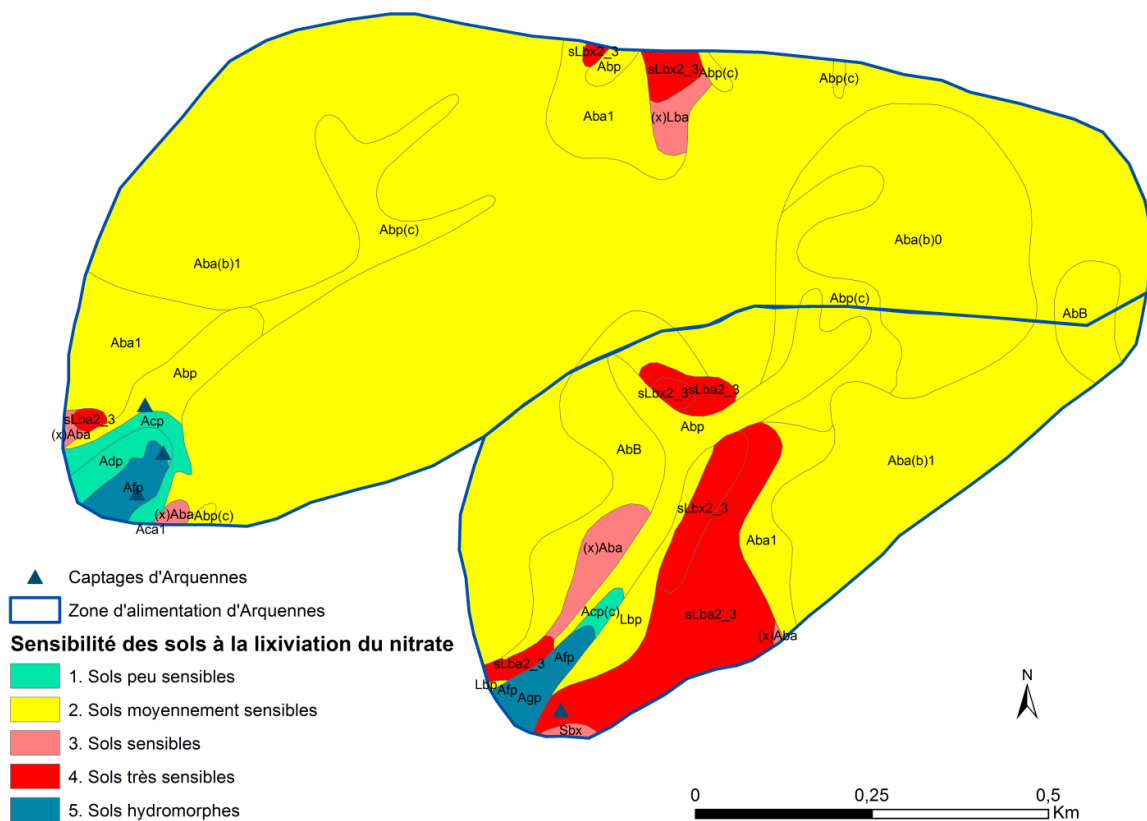


Figure 38. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

Tableau 27. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

Code	Classe de sensibilité à la lixiviation du nitrate	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Sols peu sensibles	1,5	1,4
2	Sols moyennement sensibles	92,0	88,7
3	Sols sensibles	1,7	1,7
4	Sols très sensibles	7,0	6,8
5	Sols hydromorphes	1,5	1,4

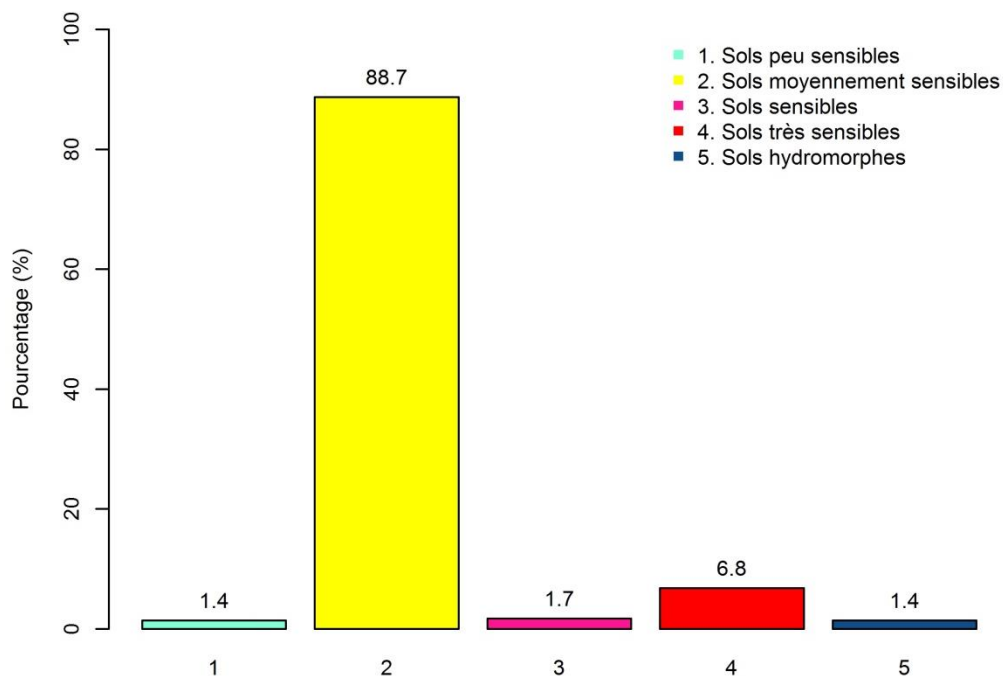


Figure 39. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau d'Arquennes.

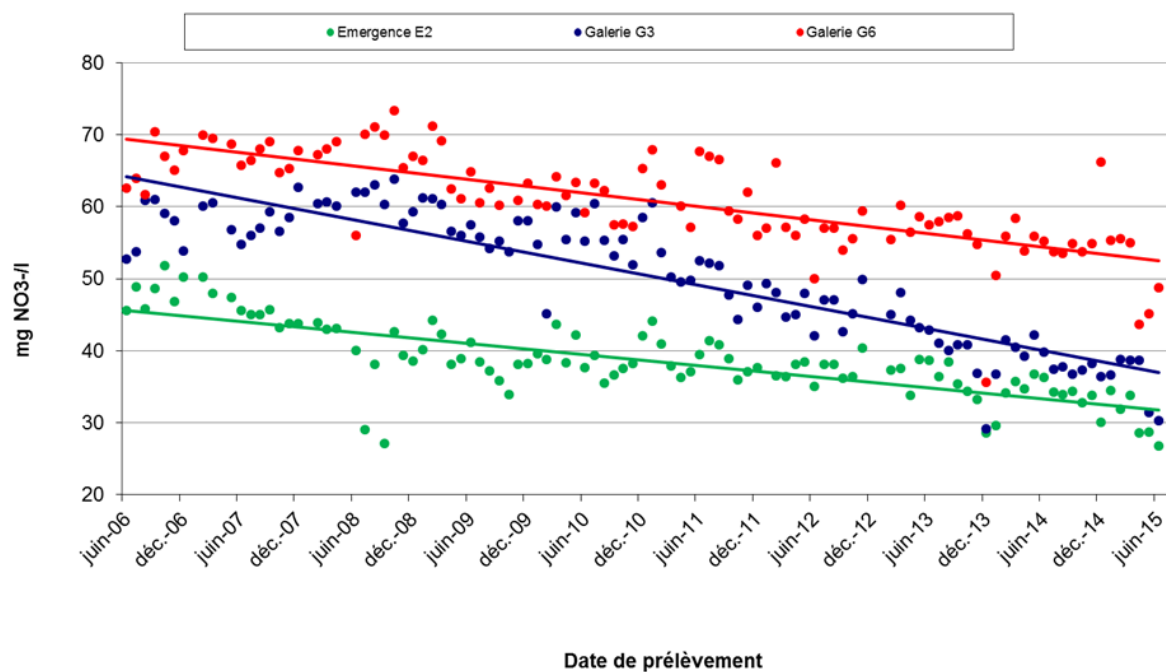


Figure 40. Evolution de la concentration en nitrate aux prises d'eau d'Arquennes, entre juin 2006 et juin 2015.

5.3.2 ZAC de Cornesse

L'application du logigramme principal sur les prises d'eau de Cornesse conduit au choix des programmes d'action N1 (figure 1) pour la prise d'eau de « Chabotte mélange » et N2 (figure 2) pour la prise d'eau de « Doux Fonds ». Le programme le plus contraignant, à savoir **N1**, sera appliqué sur l'ensemble de la ZAC. La figure 41 reprend en grisé les étapes du logigramme N1 appliquées à ce stade-ci.

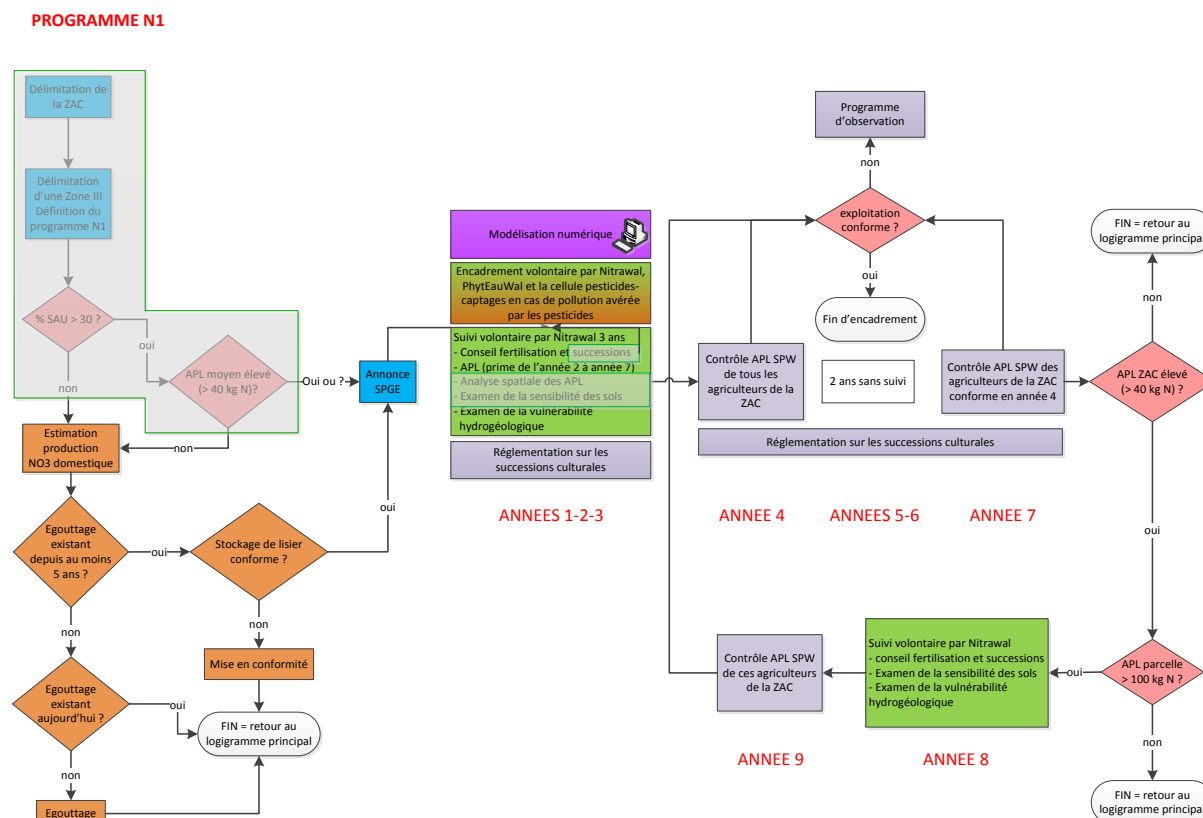


Figure 41. Etapes du logigramme N1 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Cornesse.

La SAU de la ZAC de Cornesse (tableau 28) est de 153 ha d'après la COSW (figure 42) et de 139 ha d'après le SIGEC. Soit donc au minimum 68% (part SAU SIGEC) de la superficie totale de la ZAC (203 ha). La différence de SAU observée (10 % ; tableau 28) entre COSW et SIGEC est occupée principalement par des prairies en marge des fermes ou de zones d'habitations. Le risque associé à cette SAU non déclarée dans le SIGEC est négligeable car l'APL mesuré en prairie (non labouré) est généralement faible (de l'ordre de 20 kg N-NO₃ ha⁻¹).

D'après la COSW, la ZAC de Cornesse est occupée (figure 43) en majorité par des prairies (63 %), des cultures et zones bâties couvrant chacune 12 % de la ZAC.

Tableau 28. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse.

	SAU COSW V2_07	SAU SIGEC 2013	Différence (%)
ZAC de Cornesse	153,4 ha	138,5 ha	10 %

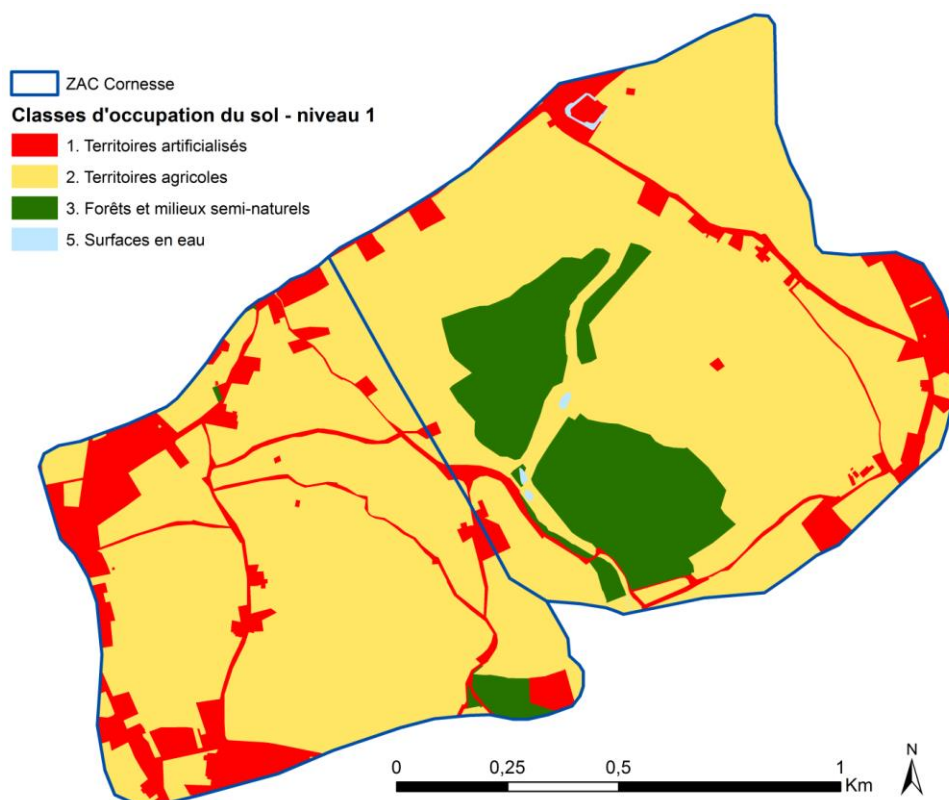


Figure 42. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse.

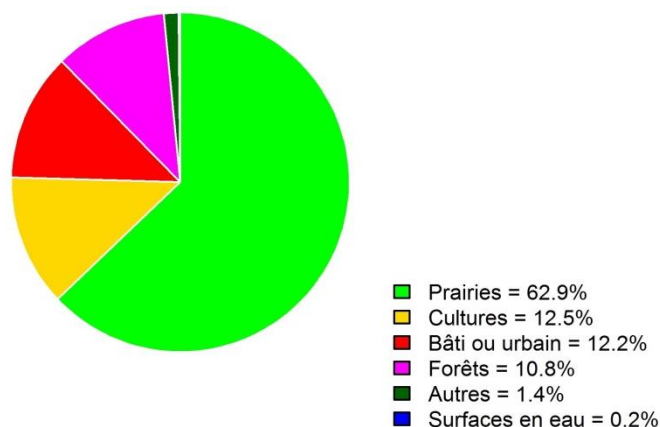


Figure 43. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).

L'APL moyen pondéré de la ZAC est de $45,7 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ (tableau 29). Il est estimé sur base de 10 valeurs de contrôle (2007 – 2013). Néanmoins, il faudra au moins 41 données APL pour estimer l'APL moyen avec une erreur maximale de $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ (tableau 29). L'APL moyen obtenu ici sur base des 10 valeurs est donc supérieur au seuil de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, en deçà duquel l'APL est qualifié de faible.

On constate que malgré la dominance de prairies dans la SAU 2013 (84 % ; figure 44), l'APL moyen de la ZAC de Cornesse reste élevé. Cela s'explique par les valeurs élevées d'APL observées en culture

de maïs qui occupe la SAU restante de la ZAC (16% ; figure 44). En effet, l'APL moyen en culture de maïs dans la ZAC est de 121 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ (tableau 29) alors qu'en prairie la moyenne est de 31,4 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

Les agriculteurs exploitant au moins une parcelle dans la ZAC seront donc informés, par la SPGE et/ou le producteur d'eau concerné, de la pollution observée. Ce courrier leur annonce la nécessité d'y conduire un programme d'actions et les invite à participer à une première réunion en présence de la SPGE, du producteur d'eau, du Service Public de Wallonie (SPW) et de Nitrawal. Tous les agriculteurs exploitant au sein de la ZAC, qu'ils participent ou non au futur programme d'actions qui sera conduit par Nitrawal, devront subir un contrôle APL effectué par le SPW afin de vérifier leur conformité par rapport aux références établies.

Tableau 29. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N NO₃⁻ ha⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse.

ZAC	Nombre de données disponibles	APL moyen culture (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen prairie ⁵³ (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen pondéré global (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	Nombre de données nécessaires ⁵⁴
Cornesse	10	121,2	31,4	45,7	41

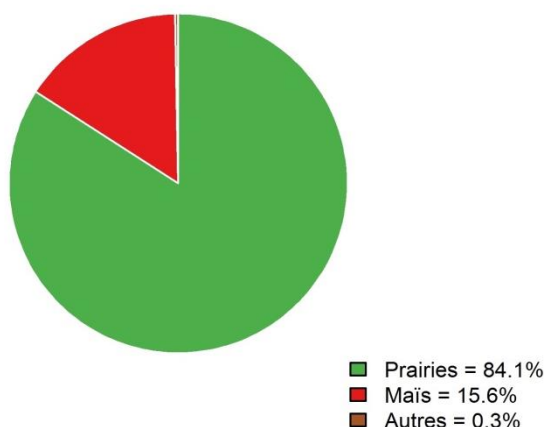


Figure 44. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Cornesse, estimées à partir du SIGEC 2013.

Le risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées dans la ZAC de Cornesse (figure 45, tableau 30 et figure 46) est qualifié principalement de très faible (classe 1 – 81 %), du fait de la présence majoritaire de prairies (figure 44). Quelques successions à risque élevé (classe 4 – 18 %), exclusivement de maïs suivi de maïs, sont rencontrées aux bordures de la ZAC. Les APL observés (de 138 et 171 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) entre 2007 et 2013 sur ces parcelles à risque élevé ne sont pas conformes par rapport aux références annuelles établies (figure 45).

⁵³ APL moyen 0-90 cm (qui correspond à APL 0-30 cm multiplié par 2).

⁵⁴ Pour estimer l'APL moyen avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

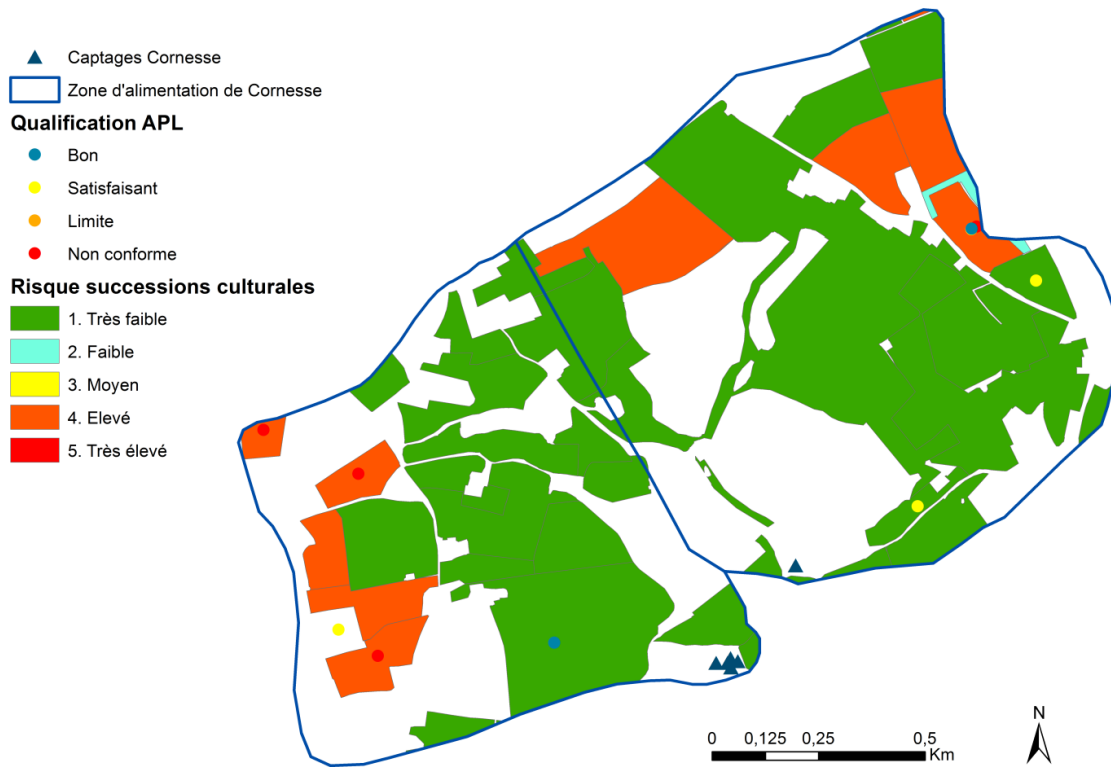


Figure 45. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d’appréciation des données APL disponibles, à l’échelle de la Zone d’alimentation des captages (ZAC) d’eau de Cornesse.

Tableau 30. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur les Zones d’alimentation des captages (ZAC) d’eau de Cornesse.

Classe de risque	Définition	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Très faible	99,0	81,2
2	Faible	0,5	0,4
4	Elevé	22,4	18,4

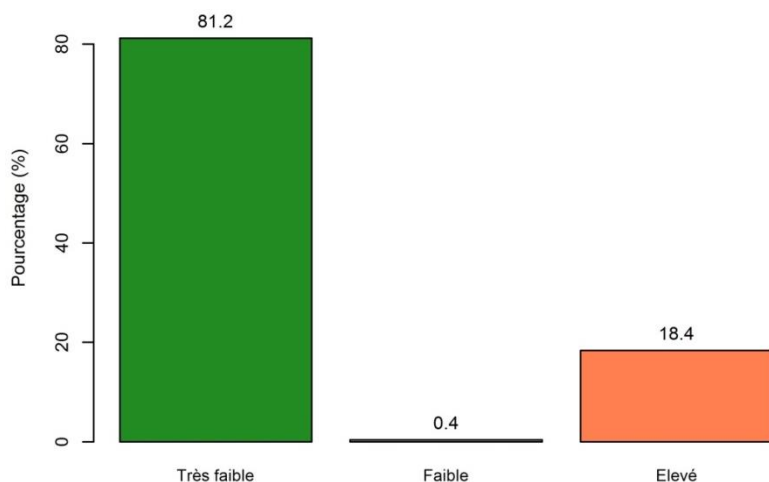


Figure 46. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate liées aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.

Les sols de la ZAC de Cornesse sont majoritairement (57 % de la surface) sensibles à très sensibles à la lixiviation du nitrate (figure 47, tableau 31 et figure 48). Les captages de « Chabotte mélange » (ZAC ouest) sont situés sur des sols colluviaux limono-caillouteux peu sensibles à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines. Tandis que le captage de « Doux Fonds » (ZAC est) localisé sur des sols limono-caillouteux à substrat schisteux apparaissant à faible (40-80 cm) ou très faible (20-40) profondeur, évalués comme sensibles à très sensibles à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, du fait principalement de leur faible réserve en eau utile. Les concentrations en nitrate élevées (moyenne de 62 mg l⁻¹ à Chabotte mélange les cinq dernières années ; source : base de données CALYPSO du SPW-DGO3) observées dans les captages de cette ZAC confirment la forte sensibilité des sols de cette ZAC à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines.

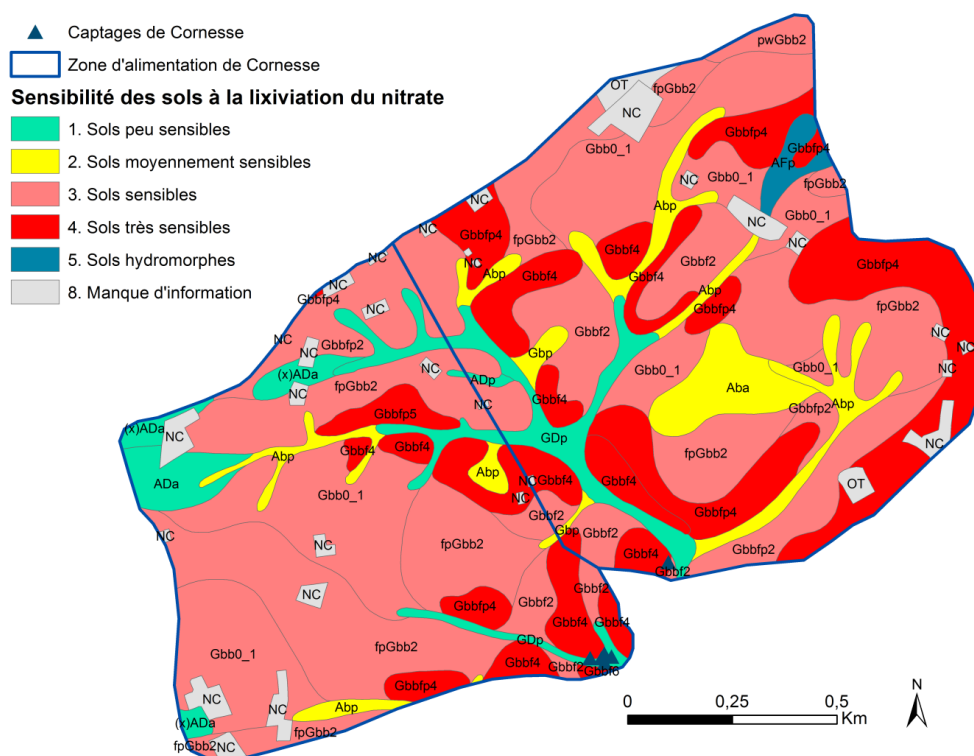


Figure 47. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.

Tableau 31. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.

Code	Classe de sensibilité à la lixiviation du nitrate	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Sols peu sensibles	14,5	7,2
2	Sols moyennement sensibles	16,2	8,0
3	Sols sensibles	116,0	57,1
4	Sols très sensibles	45,9	22,6
5	Sols hydromorphes	1,5	0,7
8	Manque d'information	8,7	4,3

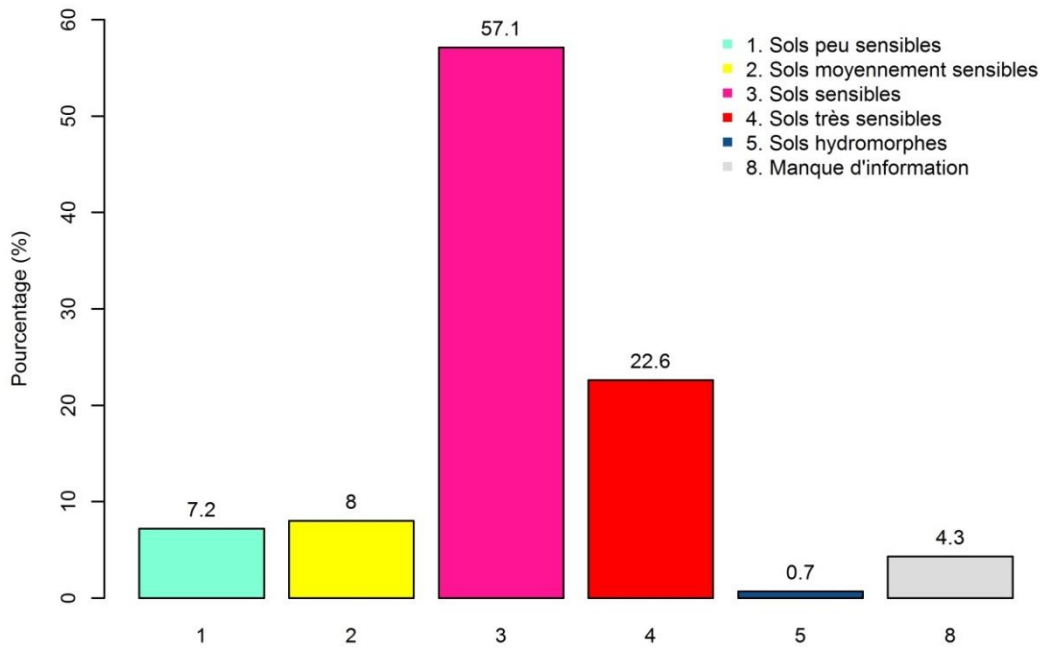


Figure 48. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Cornesse.

5.3.3 ZAC de Givry

L'application du logigramme principal sur les prises d'eau de Givry conduit au choix du programme d'action N1 (figure 1) pour la ZAC de Givry. La figure 49 reprend en grisé les étapes du logigramme N1 appliquées à ce stade-ci.

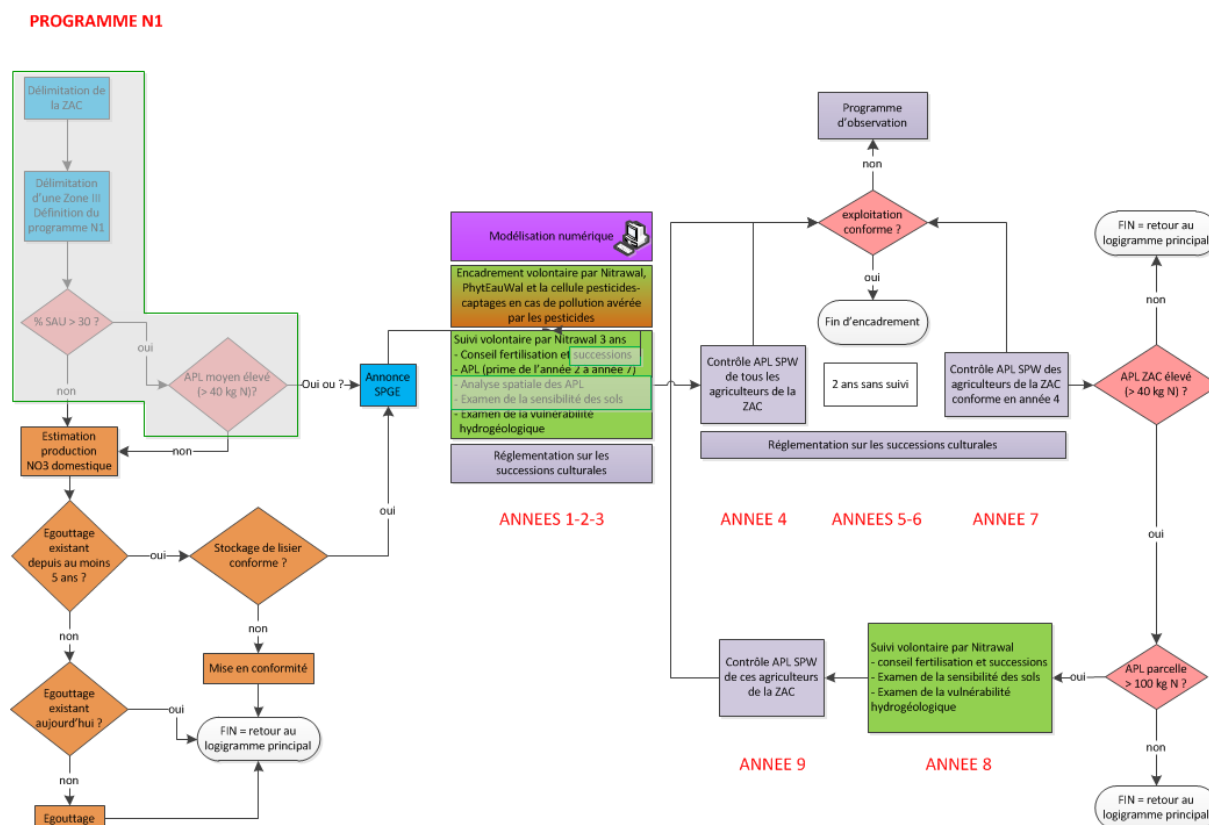


Figure 49. Etapes du logigramme N1 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Givry.

La SAU de la ZAC de Givry (tableau 32) est de 3.418,5 ha d'après la COSW (figure 50) et de 3.271 ha d'après le SIGEC 2013, soit donc au moins 38 %⁵⁵ (part SAU SIGEC) de la superficie totale de la ZAC qui est de 8.496,8 ha. La partie belge de cette ZAC est majoritairement occupée (figure 51) en cultures (65,5 %). Les prairies couvrent 19 % de la ZAC pour la partie belge. La différence en surface observée entre la COSW et le SIGEC est considérée comme négligeable (< 10 % ; cf. §4.1.3, page 32).

Tableau 32. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry.

	SAU COSW V2_07	SAU SIGEC 2013	Différence (%)
ZAC de Givry	3.418,5	3.271,0	4 %

⁵⁵ Cette part relativement faible s'explique le fait que seule la part de la SAU en Wallonie a été comptabilisée par rapport à la surface totale de la ZAC qui se prolonge quasi pour la moitié en France.

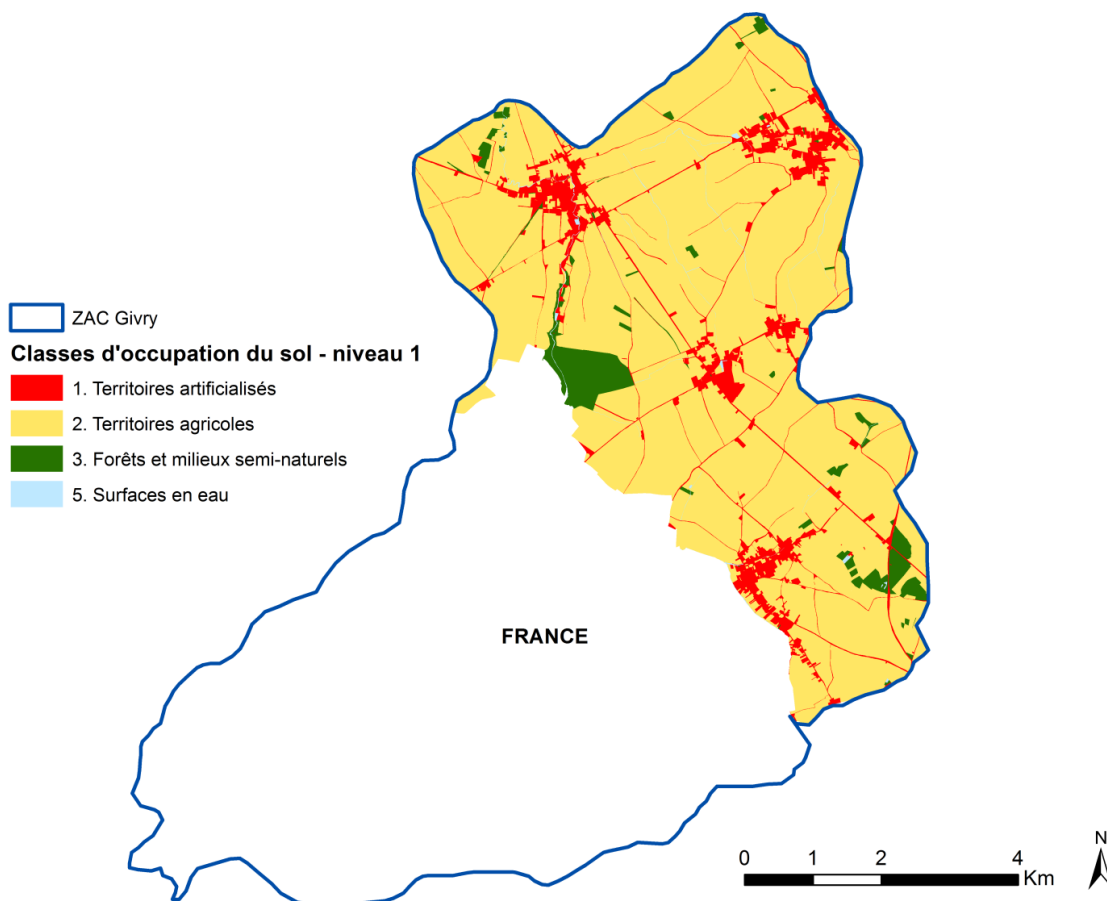


Figure 50. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry.

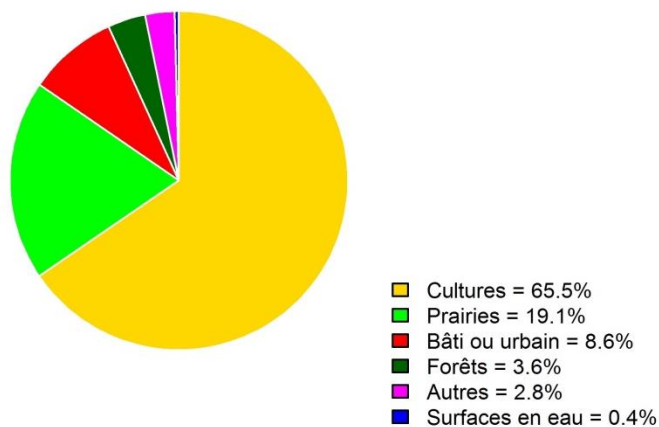


Figure 51. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).

L'APL moyen de la ZAC de Givry (tableau 33) est de $60,8 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, largement au-dessus du seuil des $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ en-deçà duquel l'APL est considéré comme faible. Cette estimation a été réalisée à partir de 33 valeurs disponibles pour la ZAC. Néanmoins, il faudra au minimum 94 valeurs

pour pouvoir estimer l'APL moyen de cette ZAC avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

La SAU 2013 de la ZAC de Givry (figure 52) est dominée par des céréales (40 %), suivies des prairies (19 %) et du maïs (11 %). On notera que même l'APL moyen en prairie (tableau 33) reste élevé (54,8 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) dans cette ZAC.

Tableau 33. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry.

ZAC	Nombre de données disponibles	APL moyen culture (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen prairie ⁵⁶ (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen pondéré global (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	Nombre de données nécessaires ⁵⁷
Givry	33	62,2	54,8	60,8	94

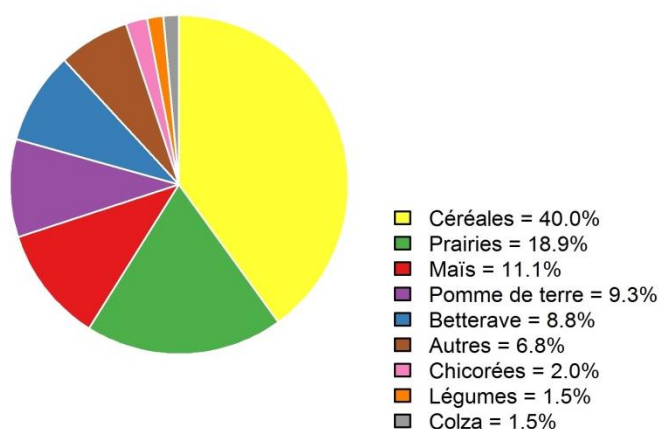


Figure 52. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Givry, estimées à partir du SIGEC 2013.

Le risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées dans cette ZAC (figure 53, tableau 34 et figure 54) est qualifié principalement de moyen (classe 3 – 59 %), les classes très faible (classe 1) et faible (classe 2) couvrant chacune 17 % de la surface agricole. Notons par ailleurs que dans cette ZAC (figure 53), des APL non conformes sont observés sur tant sur des parcelles à risque très faible qu'élévé.

⁵⁶ APL moyen 0-90 cm (qui correspond à APL 0-30 cm multiplié par 2).

⁵⁷ Pour estimer l'APL moyen avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

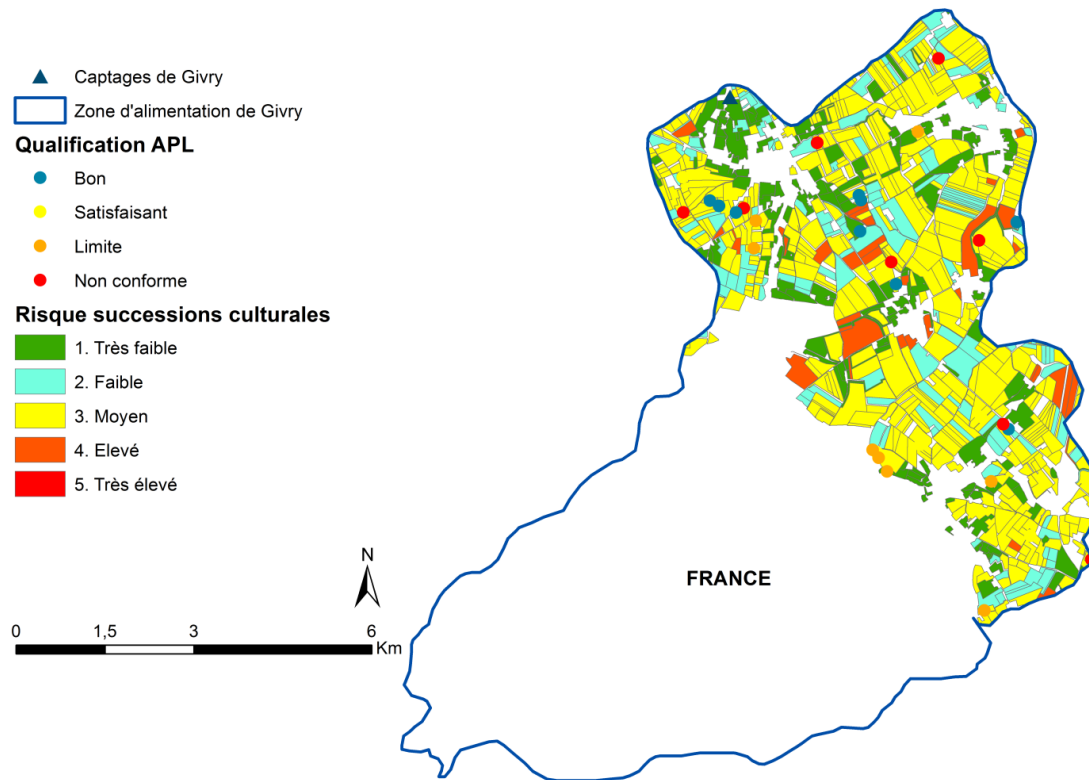


Figure 53. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry, correspondant au bassin de la Trouille.

Tableau 34. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry, correspondant au bassin de la Trouille.

Classe de risque	Définition	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Très faible	539,7	17,5
2	Faible	533,2	17,3
3	Moyen	1834,9	59,4
4	Elevé	182,7	5,9

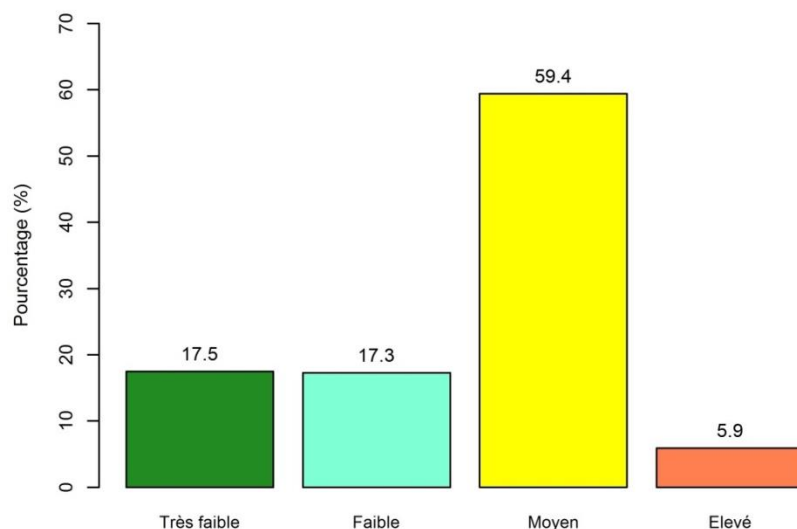


Figure 54. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.

Environ la moitié (48 %) de la surface de la ZAC de Givry est constituée de sols moyennement sensibles (sur les plateaux) à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines (figure 55, tableau 35 et figure 56). Les sols peu sensibles (29 % de la surface) sont principalement des colluvions et/ou alluvions, de part et d'autre de réseaux hydrographiques qui incisent les plateaux de la ZAC. Les sols sensibles à très sensibles sont localisés au nord-nord-est de la ZAC et correspondent à des sols limoneux ou limono-caillouteux sur substrat crayeux à faible profondeur (40-80 cm).

Le captage de Givry est situé à la limite entre des sols limoneux colluviaux à drainage modéré à pauvre (à l'ouest), peu sensibles, et des sols limono-caillouteux crayeux peu épais (à l'est), moyennement sensibles à très sensibles à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines. La concentration moyenne en nitrate dans l'eau de captage de Givry les 5 dernières années avoisinent les 60 mg l⁻¹ (source : base de données CALYPSO du SPW-DGO3).

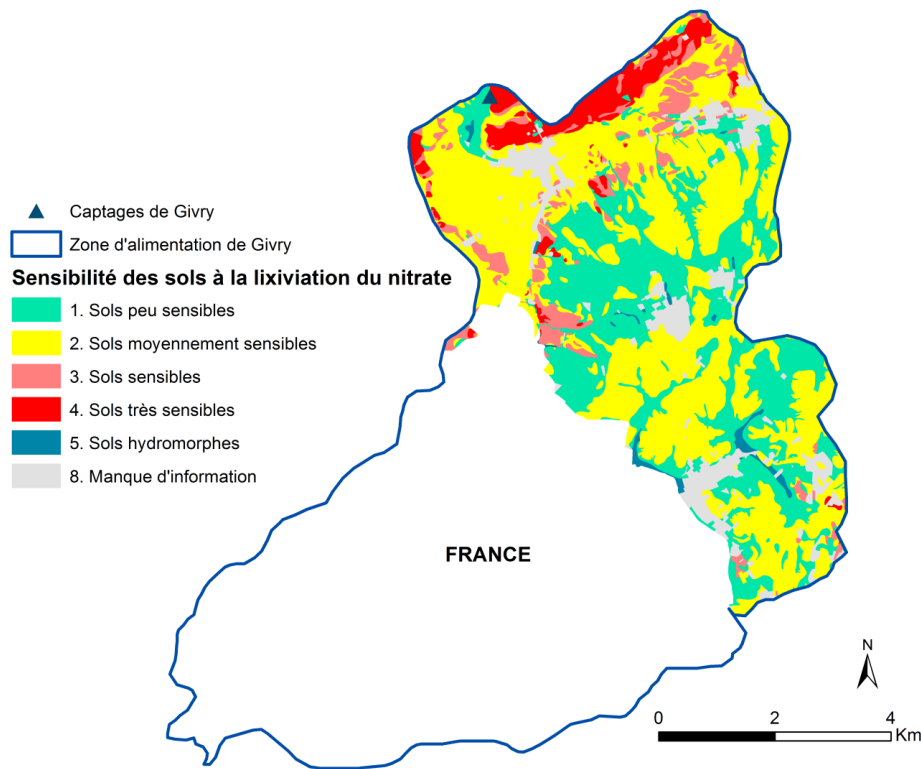


Figure 55. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.

Tableau 35. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.

Code	Classe de sensibilité à la lixiviation du nitrate	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Sols peu sensibles	1155,9	29,3
2	Sols moyennement sensibles	1899,0	48,2
3	Sols sensibles	284,7	7,2
4	Sols très sensibles	219,5	5,6
5	Sols hydromorphes	39,3	1,0
8	Manque d'information	345,4	8,8

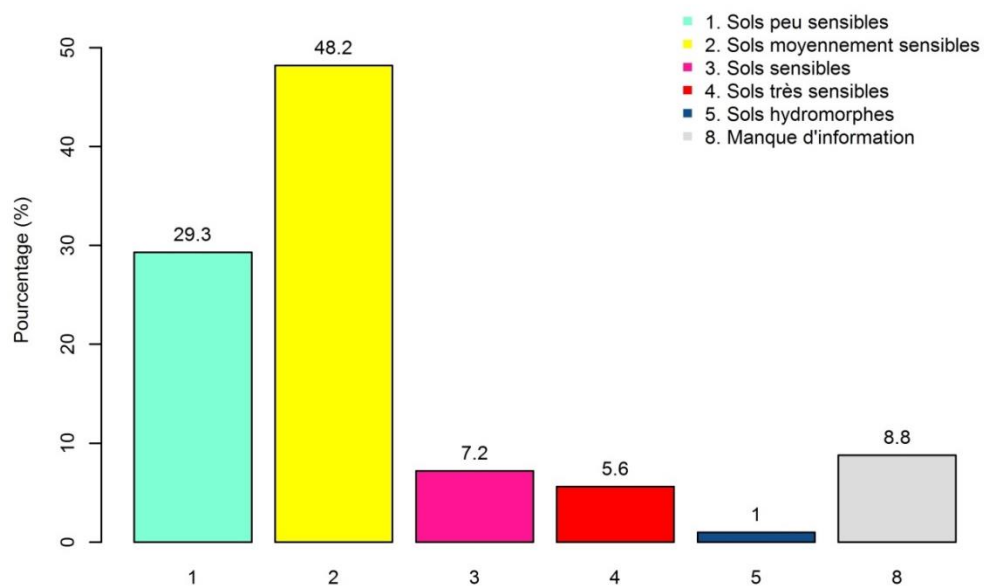


Figure 56. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Givry.

5.3.4 ZAC de Solre-sur-Sambre

L'application du logigramme principal sur la prise d'eau de Solre-sur-Sambre conduit au choix du programme d'action N2 (figure 2) pour cette ZAC. La figure 57 reprend en grisé les étapes du logigramme N2 appliquées à ce stade-ci.

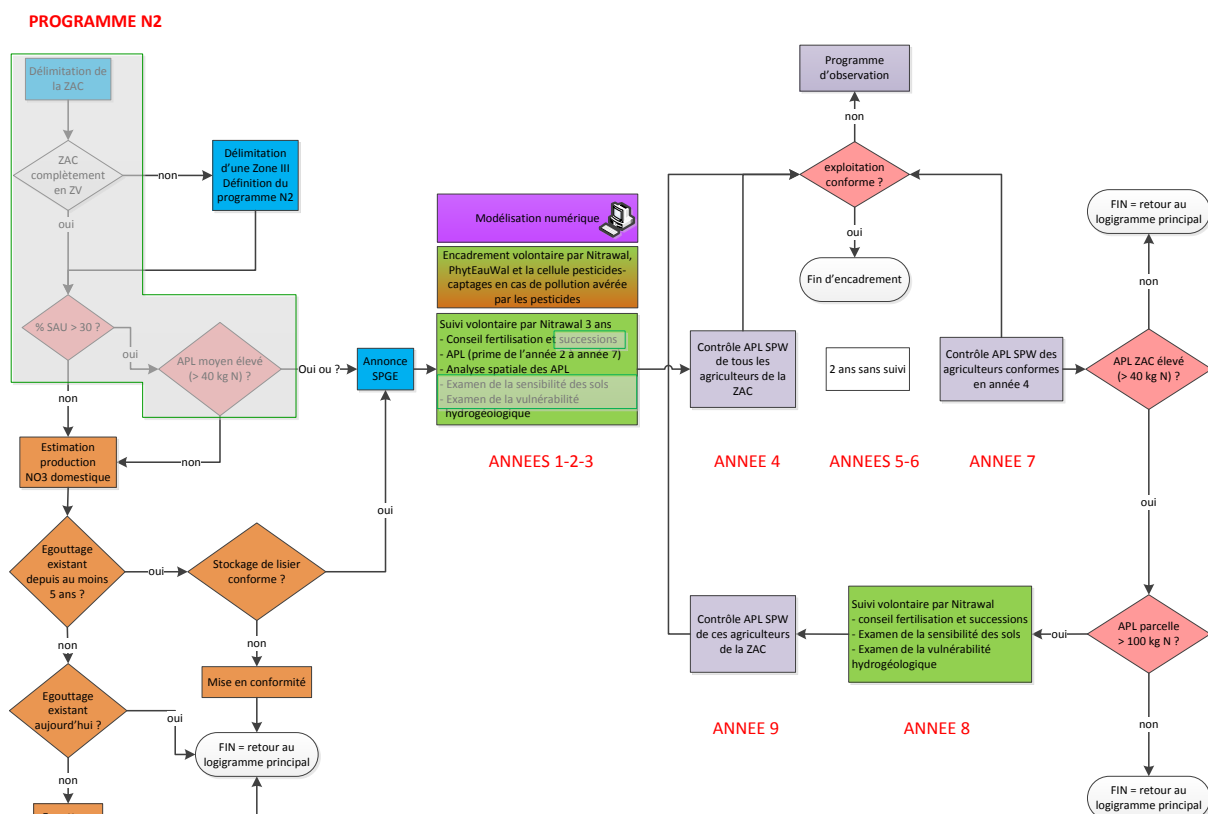


Figure 57. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Solre-sur-Sambre.

La SAU de la ZAC de Solre-sur-Sambre (tableau 36) est de 9.336,8 ha d'après la COSW (figure 58) et de 8.445,4 d'après le SIGEC, soit au moins 58 %⁵⁸ (part SAU SIGEC) de la superficie totale de la ZAC qui est de 14.506,5 ha. La partie belge de cette ZAC (figure 59) est majoritairement occupée en prairies (44 %), suivies des cultures (26 %) et de forêts (20 %).

Comme pour la ZAC de Cornesse, la différence de SAU observée (10 % ; tableau 28) entre COSW et SIGEC est occupée principalement par des prairies en marge des fermes ou de zones d'habitations. Le risque associé à cette SAU non déclarée dans le SIGEC est négligeable car l'APL mesuré en prairie (non labouré) est généralement faible (de l'ordre de 20 kg N-NO₃ ha⁻¹).

Tableau 36. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre.

	SAU COSW V2_07	SAU SIGEC 2013	Différence (%)
ZAC de Solre-sur-Sambre	9.336,8	8.445,4	10 %

⁵⁸ Seule la part de la SAU en Wallonie a été comptabilisée par rapport à la surface totale de la ZAC qui se prolonge en France.

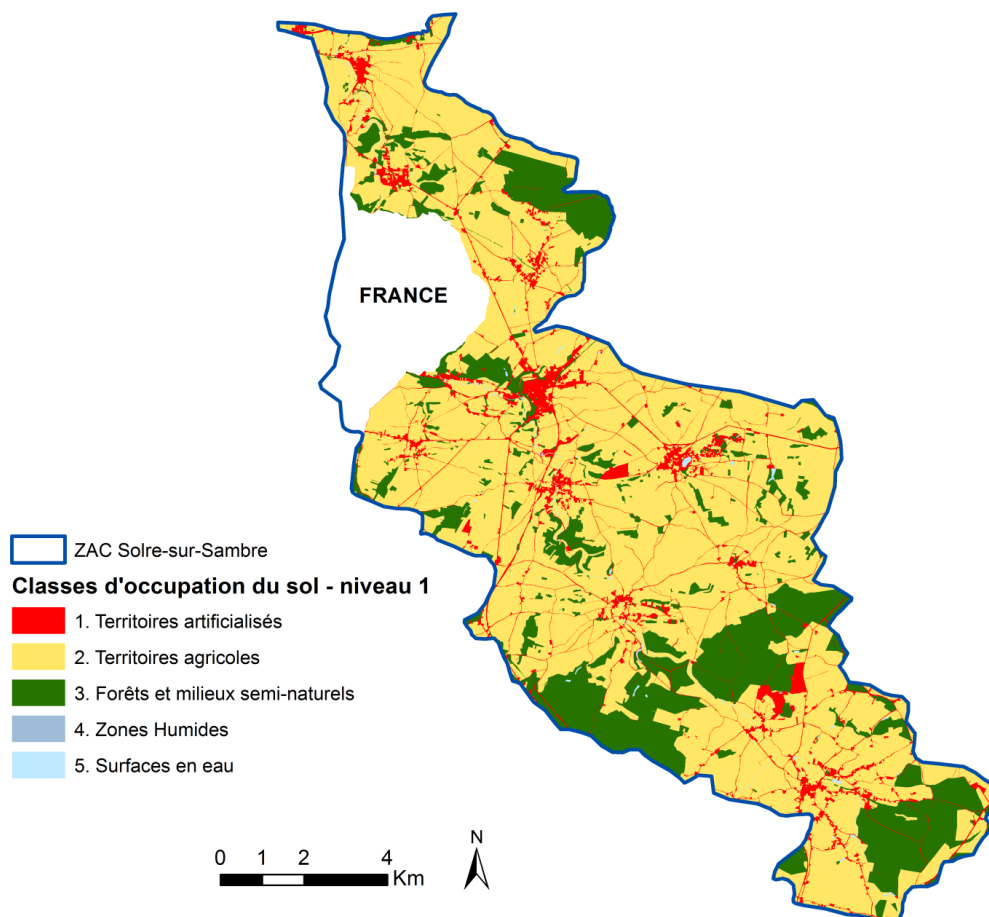


Figure 58. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre.

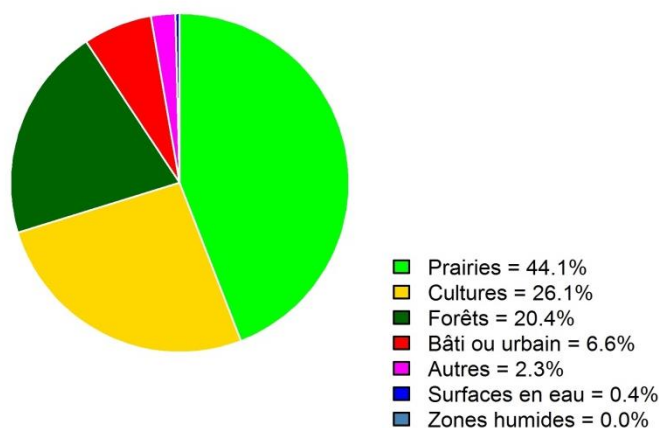


Figure 59. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).

L'APL moyen pondéré observé (sur base de 55 valeurs) au sein de la ZAC de Solre-sur-Sambre (tableau 37) est de 28,5 kg N-NO₃ ha⁻¹, donc largement inférieur au seuil de 40 kg N-NO₃ ha⁻¹ (en de ça duquel l'APL est qualifié de faible). Ce faible APL moyen s'explique par la part dominante de

prairies dans la SAU 2013 (57 % ; figure 60), conjuguée à l'APL moyen très faible (11,9 ; tableau 37) observé pour cet emblèvement.

Comme pour la ZAC d'Arquennes, ce faible APL moyen observé pour la ZAC de Solre-sur-Sambre est encourageant mais il faudra au minimum 98 valeurs (tableau 37) pour pouvoir estimer l'APL moyen de cette ZAC avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

Tableau 37. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblèvements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre.

ZAC	Nombre de données disponibles	APL moyen culture (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen prairie ⁵⁹ (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen pondéré global (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	Nombre de données nécessaires ⁶⁰
Solre-sur-Sambre	55	50,5	11,9	28,5	98

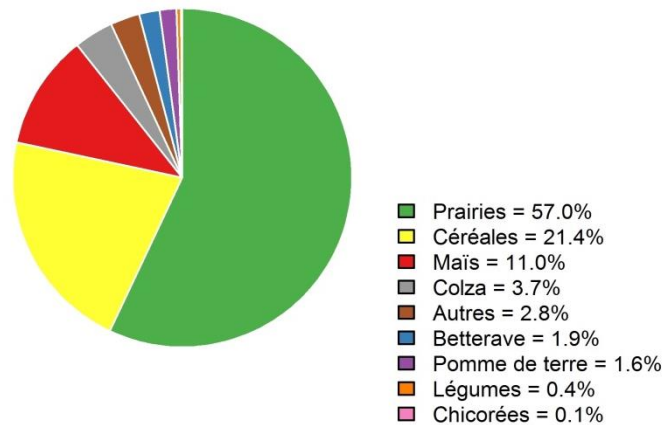


Figure 60. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Solre-sur-Sambre, estimées à partir du SIGEC 2013.

Le risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées dans cette ZAC (figure 61, tableau 38 et figure 62) est qualifié principalement de très faible (classe 1 – 53 %) et moyen (classe 3 – 33 %). On remarque par ailleurs que dans cette ZAC (figure 61), des APL non conformes sont observés sur tant sur des parcelles à risque très faible qu'élevé.

⁵⁹ APL moyen 0-90 cm (qui correspond à APL 0-30 cm multiplié par 2).

⁶⁰ Pour estimer l'APL moyen avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

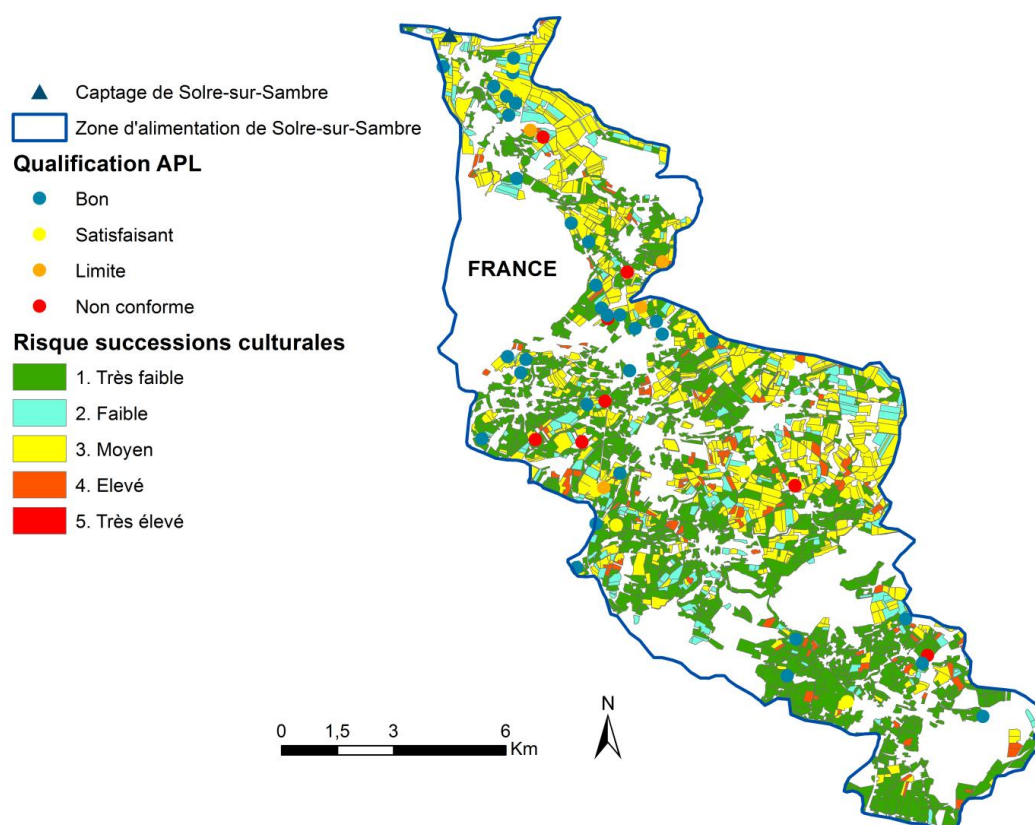


Figure 61. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre, correspondant au bassin de la Hantes.

Tableau 38. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre, correspondant au bassin de la Hantes.

Classe de risque	Définition	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Très faible	4.043,8	52,9
2	Faible	764,5	10,0
3	Moyen	2.499,0	32,7
4	Elevé	343,6	4,5

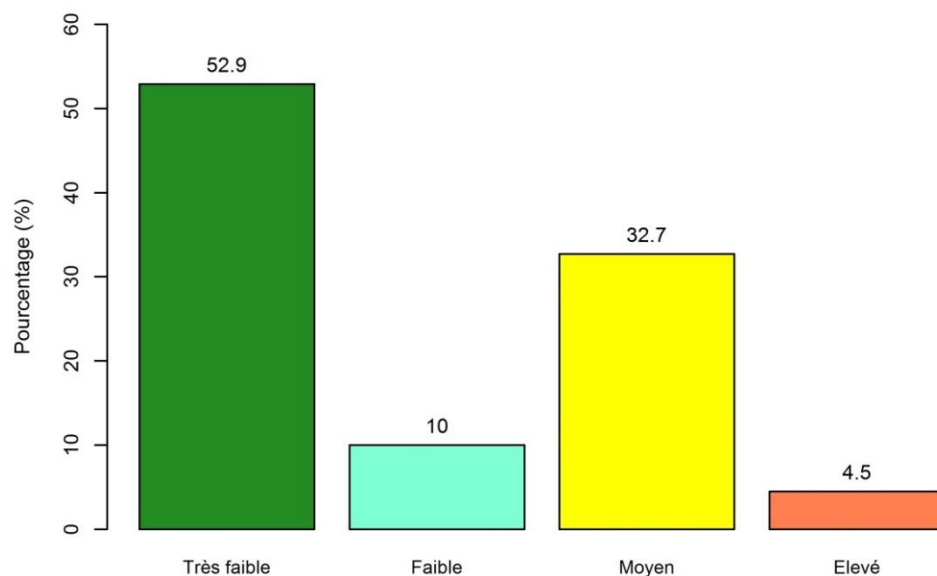


Figure 62. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.

Environ 50 % de la surface de la ZAC de Solre-sur-Sambre sont constitués de sols sensibles (39 %) à très sensibles (10 %) à la lixiviation du nitrate (figure 63, tableau 39 et figure 64). L'autre moitié comprend des sols peu sensibles (19 %) et moyennement sensibles (25 %). Le captage de Solre-sur-Sambre est situé sur des sols moyennement sensibles à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, du fait principalement de leur drainage favorable. Notons la proximité des sols limoneux d'alluvions de la Hantes, évalués comme peu sensibles à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, du fait de leur importante épaisseur et de leur drainage naturel modéré à imparfait. La concentration moyenne en nitrate dans l'eau de captage de Solre-sur-Sambre les 5 dernières années est de 39 mg l⁻¹ (source : base de données CALYPSO du SPW-DGO3).

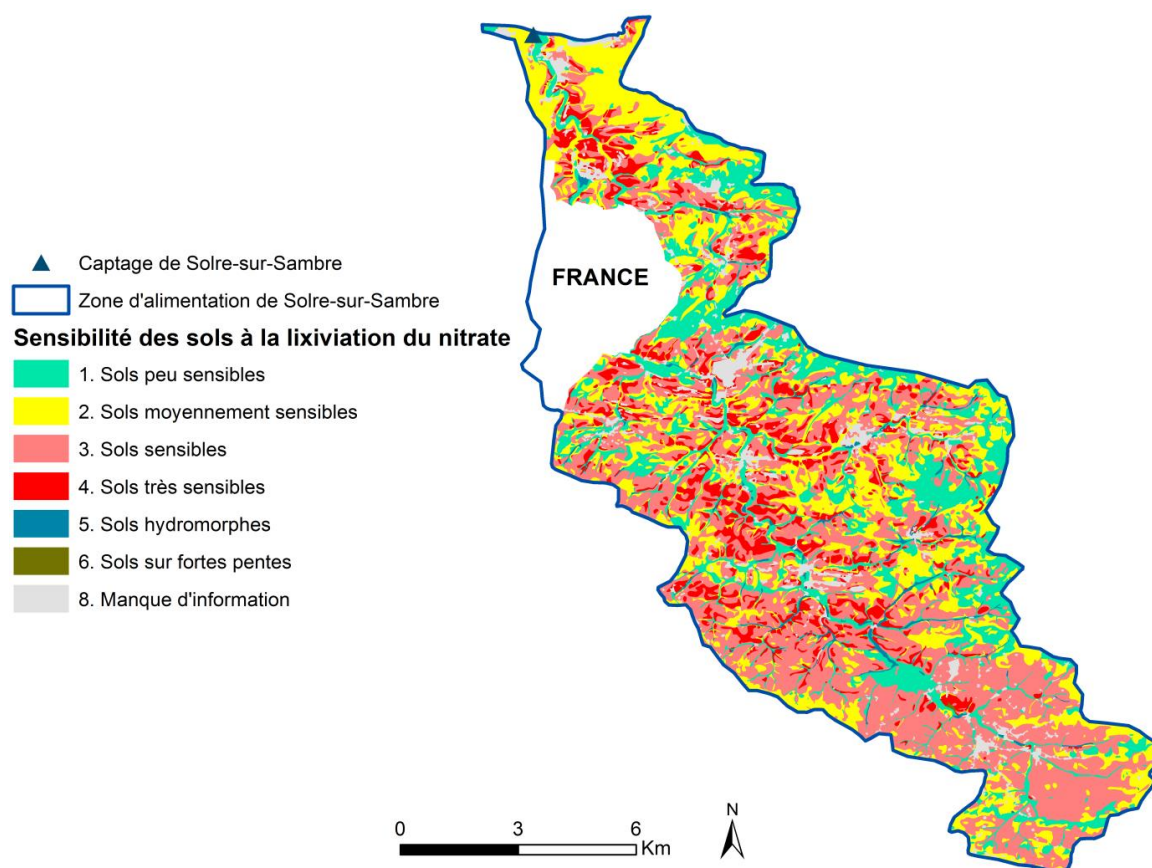


Figure 63. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.

Tableau 39. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.

Code	Classe de sensibilité à la lixiviation du nitrate	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Sols peu sensibles	2.456,6	18,7
2	Sols moyennement sensibles	3.275,7	25
3	Sols sensibles	5.136,3	39,2
4	Sols très sensibles	1.337,6	10,2
5	Sols hydromorphes	161,4	1,2
6	Sols sur fortes pentes	2,3	0,0
8	Manque d'information	739,2	5,6

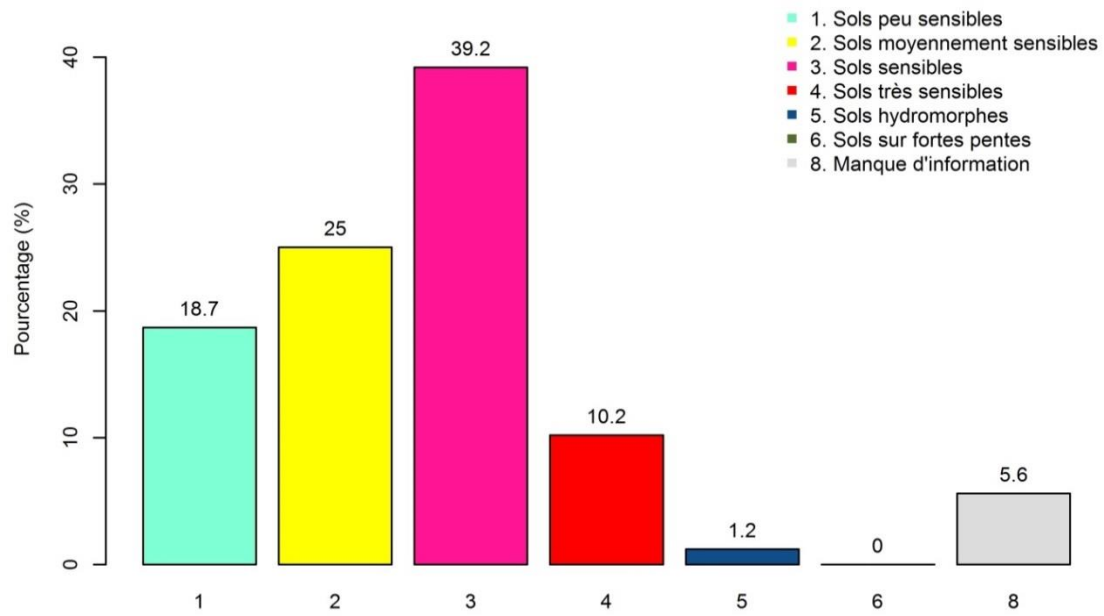


Figure 64. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Solre-sur-Sambre.

5.3.5 ZAC de Waremme

L'application du logigramme principal sur les prises d'eau de Waremme conduit au choix du programme d'action N2 (figure 2) pour cette ZAC. La figure 65 reprend en grisé les étapes du logigramme N2 appliquées à ce stade-ci.

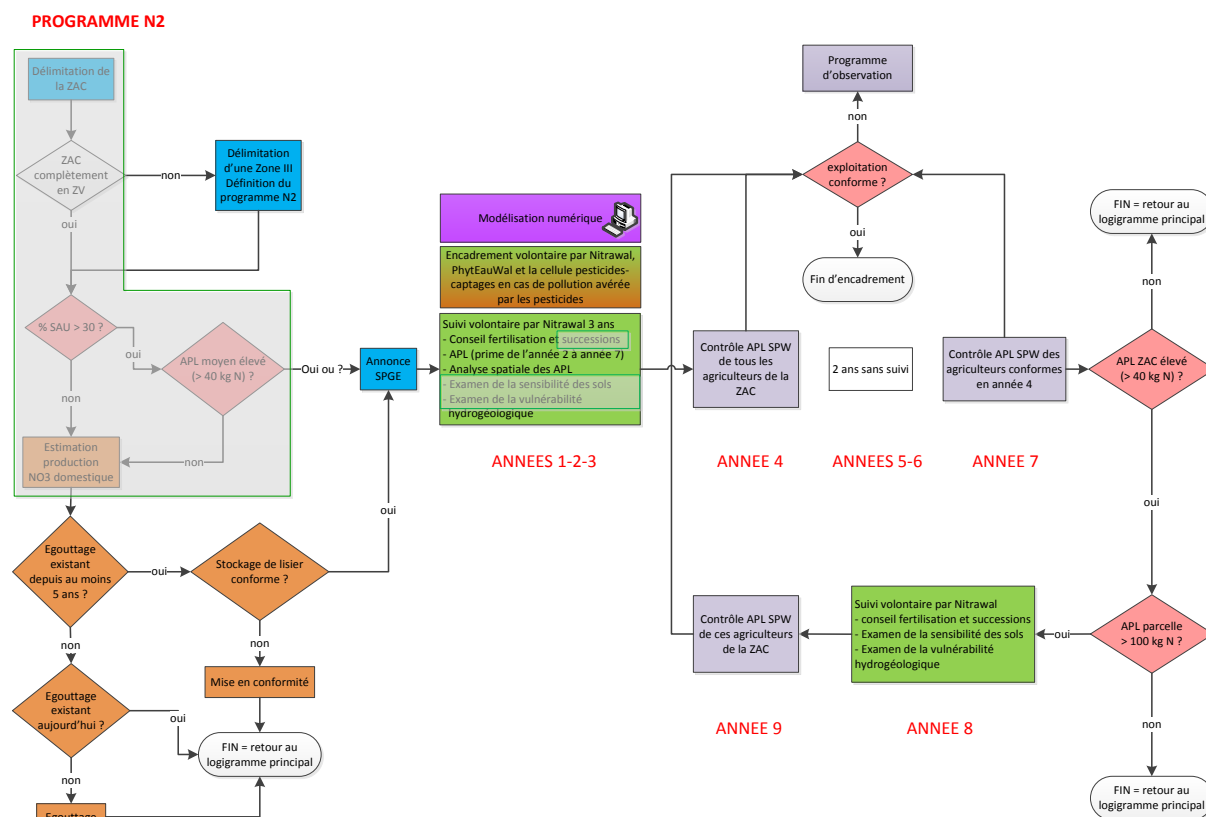


Figure 65. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Waremme.

La SAU de la ZAC de Waremme (tableau 40) est de 2.918,3 ha d'après la COSW (figure 66) et de 2.775,4 ha d'après le SIGEC, soit au moins 84 % (part SAU SIGEC) de la superficie totale de la ZAC qui est de 3.307,1 ha. Cette ZAC est majoritairement occupée (figure 67) par des cultures (77 %). Les zones urbanisées couvrent 11 % de la ZAC, tandis que les prairies occupent 10 % de la surface. La différence en surface observée entre la COSW et le SIGEC est considérée comme négligeable (< 10 % ; cf. §4.1.3, page 32).

Tableau 40. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme.

	SAU COSW V2_07	SAU SIGEC 2013	Différence (%)
ZAC de Waremme	2.918,3	2.775,4	5 %

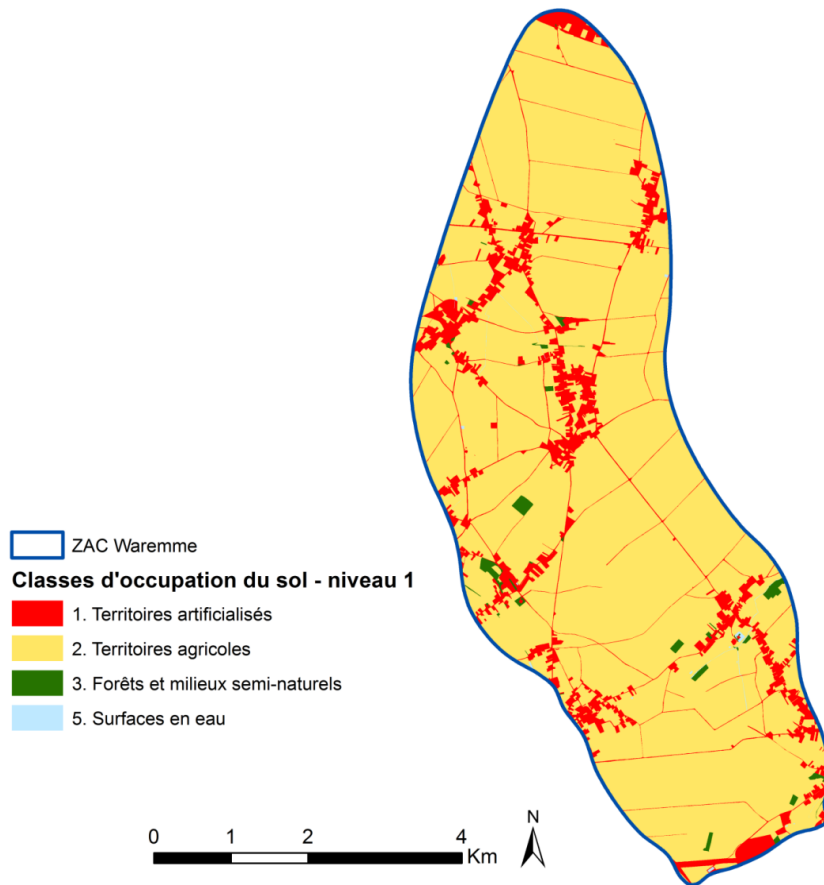


Figure 66. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme.

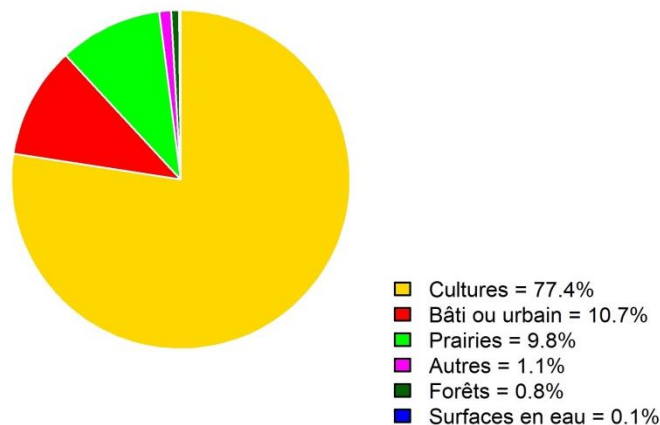


Figure 67. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).

L'APL moyen observé (sur base de 42 valeurs) au sein de la ZAC de Waremme (tableau 41) est de $71,2 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, donc supérieur au seuil de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ (en deçà duquel l'APL est qualifié de faible). Notons l'APL moyen élevé ($89,4 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) observé en prairie dans cette ZAC. Néanmoins, il faudra au minimum 91 valeurs pour pouvoir estimer l'APL moyen de cette ZAC avec une marge d'erreur maximale de $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$.

La SAU 2013 de la ZAC de Waremme (figure 68) est dominée par des céréales (44 %), suivies de la pomme de terre (13 %), de la betterave (12 %) et des prairies (11 %).

Tableau 41. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme.

ZAC	Nombre de données disponibles	APL moyen culture (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen prairie ⁶¹ (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen pondéré global (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	Nombre de données nécessaires ⁶²
Waremme	42	69	89,4	71,2	91

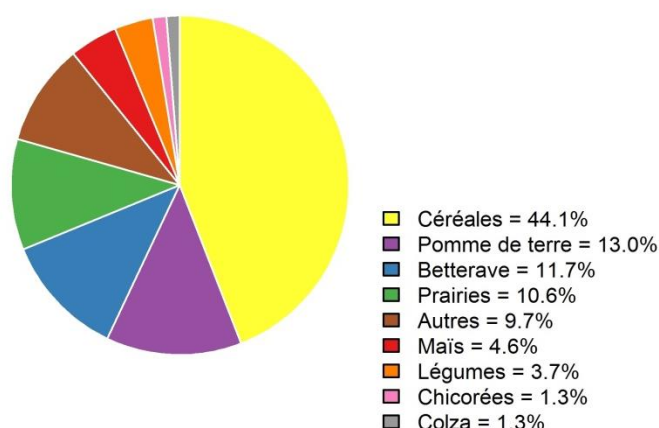


Figure 68. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Waremme, estimées à partir du SIGEC 2013.

La part de l'urbanisation étant non négligeable (11 %) dans la ZAC de Waremme, nous avons évalué l'impact potentiel maximum des eaux usées domestiques sur la qualité de l'eau en estimant le « flux massique potentiel domestique maximum » et en le comparant au « flux massique annuel d'azote à l'exutoire des captages » (cf. §4.4, page 47). Le tableau 42 fournit les données utilisées pour estimer les deux paramètres d'après les équations 3 et 4 (pages 47 et 48). Les volumes d'azote en jeu pour les eaux usées domestiques (5,4 tonnes) sont équivalents à ceux observés au niveau des captages de Waremme (5,3 tonnes). Une réflexion sur l'assainissement (raccordement au réseau d'assainissement, étanchéité, etc.) ne peut donc être négligée dans cette ZAC.

⁶¹ APL moyen 0-90 cm (qui correspond à APL 0-30 cm multiplié par 2).

⁶² Pour estimer l'APL moyen avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

Tableau 42. Données utilisées pour calculer le flux massique annuel d'azote à l'exutoire des captages et le flux massique potentiel domestique maximum, à l'échelle de la ZAC de Waremmé.

Débit annuel moyen capté ⁶³ (m ³ an ⁻¹)	566543 m ³ an ⁻¹
Concentration moyenne ⁶⁴ en nitrate (mg l ⁻¹)	41,6 mg l ⁻¹
Facteur de conversion nitrate	4,42
Flux massique annuel d'azote à l'exutoire des captages (kg N an⁻¹)	5332 kg N an⁻¹
Population totale ZAC de Waremmé ⁶⁵	6051 habitants
Production kg N/EH (par équivalent habitant)	1,8
Hypothèse pessimiste d'un assainissement conforme pour 50% des habitants	0,5
Flux massique potentiel domestique maximum	5446 kg N an⁻¹

Le risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées dans cette ZAC (figure 69, tableau 43 et figure 70) est qualifié principalement de moyen (classe 3 – 56 %) et faible (classe 2 – 32 %). On remarque par ailleurs que dans cette ZAC (figure 69), des APL non conformes sont observés sur tant sur des parcelles à risque très faible, faible et moyen.

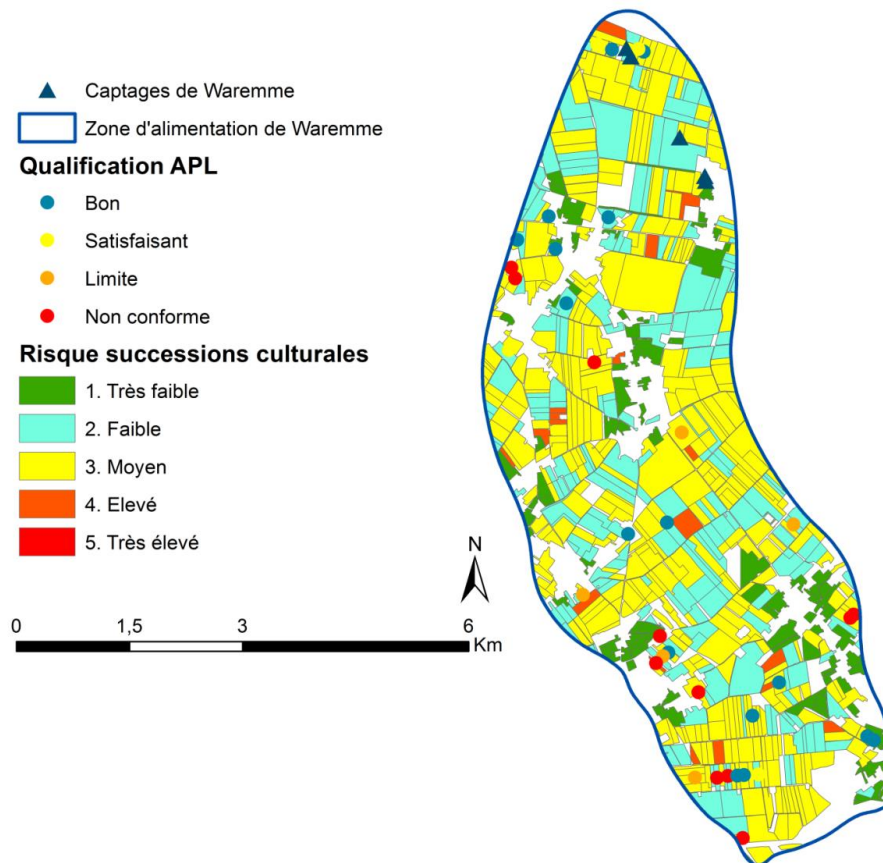


Figure 69. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremmé.

⁶³ Sur base des données CALYPSO (années 1995 à 2007)

⁶⁴ Calculée sur base des données Calypso, pour les captages Waremmé P1, P2, P3, P4 et P5.

⁶⁵ D'après les données sur les secteurs statistiques de 2001.

Tableau 43. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.

Classe de risque	Définition	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Très faible	240,2	9,4
2	Faible	832,0	32,4
3	Moyen	1.435,0	55,9
4	Elevé	58,3	2,3

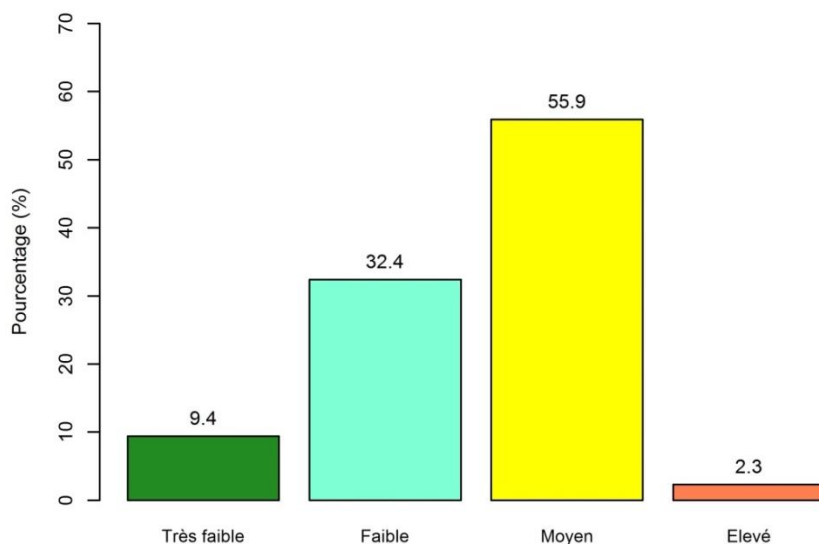


Figure 70. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.

Les sols de la ZAC de Waremme sont à très grande majorité (89 % de la surface) moyennement sensibles à la lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines (figure 71, tableau 44 et figure 72). Il s'agit de sols limoneux de plateaux ou de sols colluviaux (bas de pentes) de plus de 125 cm de profondeur à drainage favorable. Les sols peu sensibles (4,5 % de la surface) sont des limons colluviaux épais de vallons à drainage naturel modéré à assez pauvre, localisés principalement au sud de la ZAC. La concentration moyenne en nitrate dans l'eau des captages de Waremme les 5 dernières années varie de 39 à 45 mg l⁻¹ (source : base de données CALYPSO du SPW-DGO3).

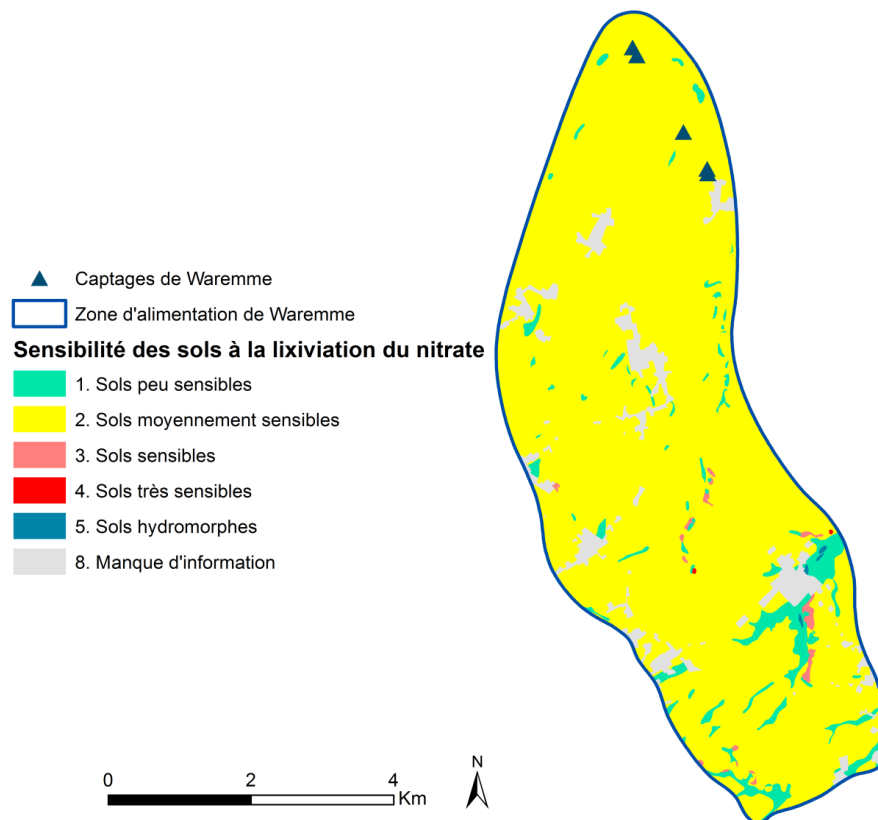


Figure 71. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.

Tableau 44. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremme.

Code	Classe de sensibilité à la lixiviation du nitrate	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Sols peu sensibles	148,4	4,5
2	Sols moyennement sensibles	2.947,2	89,1
3	Sols sensibles	16,4	0,5
4	Sols très sensibles	0,7	0,0
5	Sols hydromorphes	2,5	0,1
8	Manque d'information	191,9	5,8

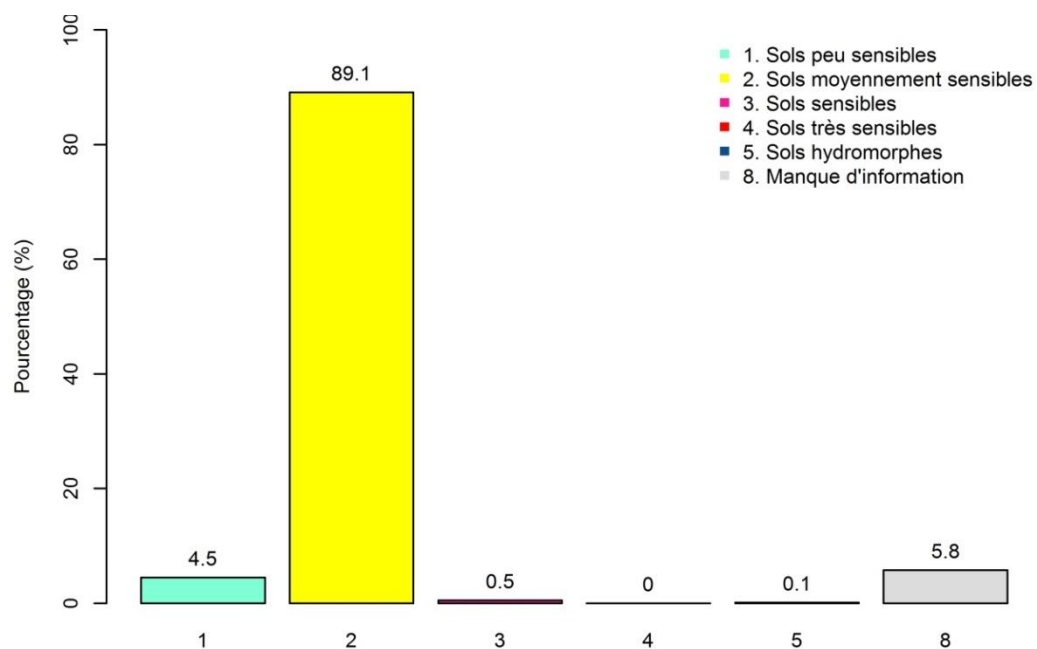


Figure 72. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Waremmes.

5.3.6 ZAC de Petit Houmart

L'application du logigramme principal sur la prise d'eau de Petit-Houmart conduit au choix du programme d'action N2 (figure 2) pour la ZAC de cette prise d'eau. La figure 73 reprend en grisé les étapes du logigramme N2 appliquées à ce stade-ci.

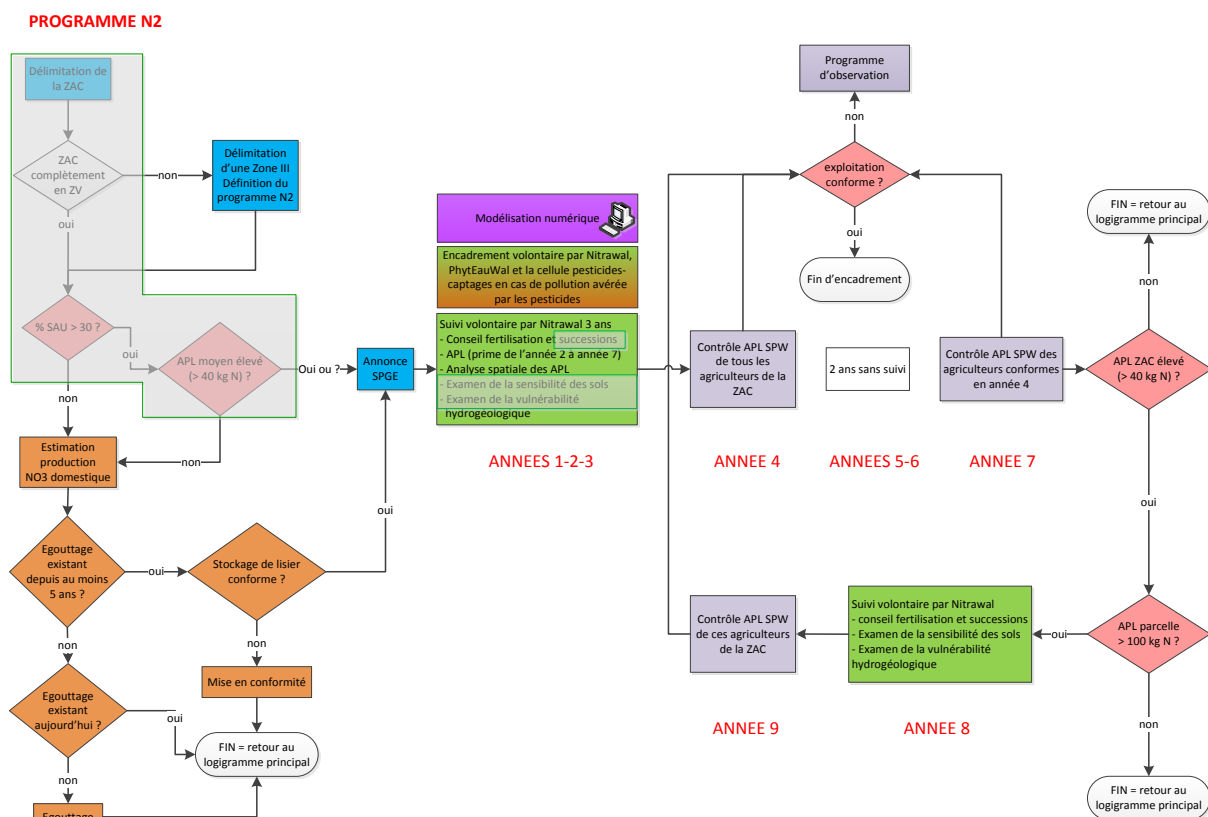


Figure 73. Etapes du logigramme N2 (en grisé) appliquées à ce stade-ci pour la ZAC de Petit-Houmart.

La SAU de la ZAC de Petit-Houmart est de 222,2 ha d'après la COSW et de 189,3 ha d'après le SIGEC 2013, soit au moins 65 % (part SAU SIGEC) de la superficie totale de la ZAC qui est de 291,2 ha. Dans cette ZAC également, la différence de SAU observée (15 % ; tableau 28) entre COSW et SIGEC est occupée principalement par des prairies en marge des fermes ou de zones d'habitations. Le risque associé à cette SAU non déclarée dans le SIGEC est négligeable car l'APL mesuré en prairie (non labouré) est généralement faible (de l'ordre de 20 kg N-NO₃ ha⁻¹).

La ZAC de Petit-Houmart est majoritairement occupée (figure 75) par des prairies (77 %), suivies des cultures (15 %) et de forêts (14 %).

Tableau 45. Comparaison des SAU de la COSW_V2_07 (2007) et du SIGEC 2013, à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart.

	SAU COSW V2_07	SAU SIGEC 2013	Différence (%)
ZAC de Petit-Houmart	222,2	189,3	15%

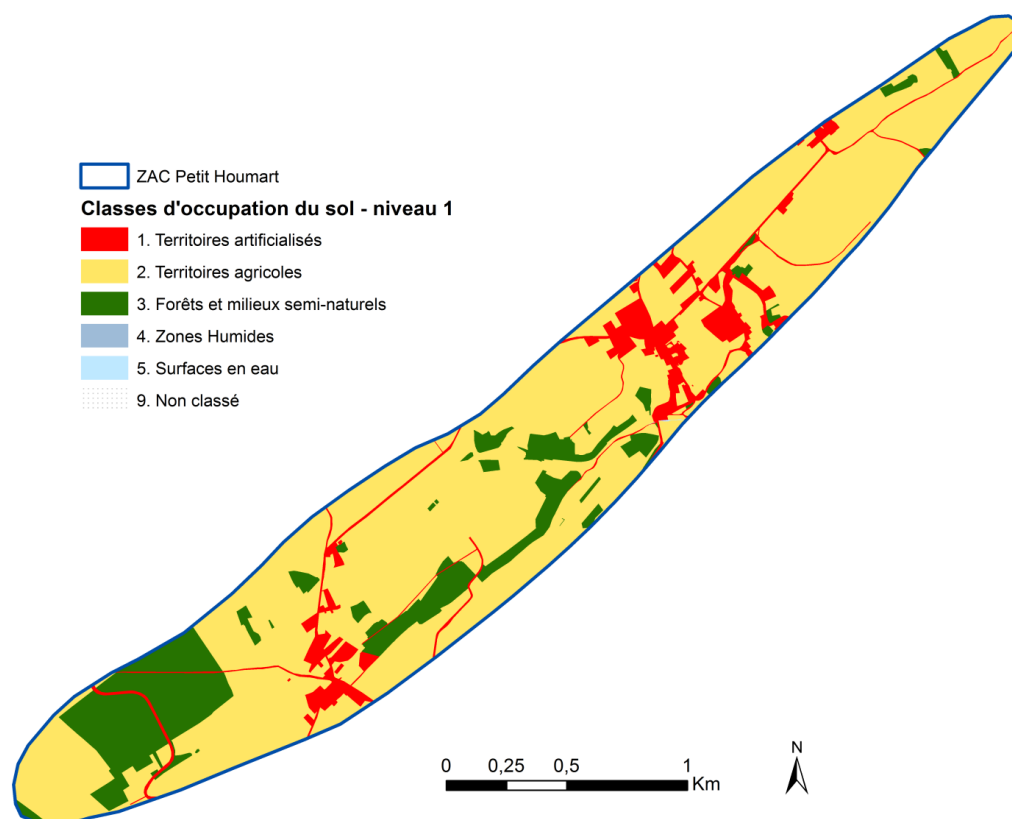


Figure 74. Carte d'Occupation des Sols de Wallonie (version V2_07, 2007), à l'échelle de la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart.

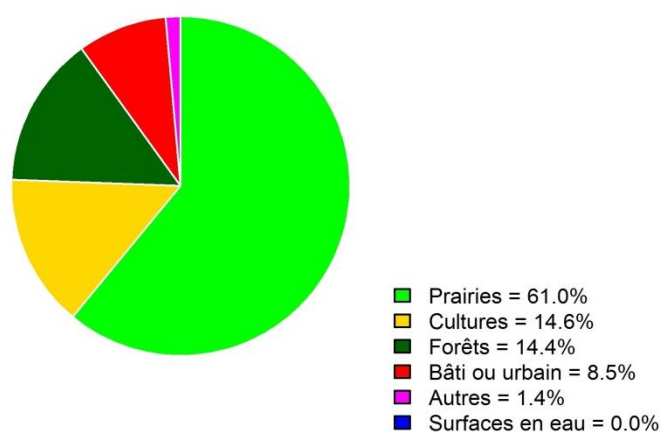


Figure 75. Parts en surface des principales occupations du sol dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart, estimées à partir de la Carte d'occupation des sols de Wallonie (version V2_07, 2007).

La SAU de la ZAC de petit-Houmart (figure 76) est constituée de 75 % de prairies, 18 % de céréales et 5 % de maïs. Une seule valeur de contrôle APL (2007 – 2013) est disponible en culture (pois non récoltés secs) au niveau de cette ZAC (Tableau 46). Dans ce cas, l'APL moyen n'a pas été pondéré car aucune valeur n'est observée en prairie dans la ZAC. Il faudra néanmoins au minimum 53 données pour estimer la moyenne pondérée avec une marge d'erreur d'au moins $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$.

Tableau 46. Nombre de données « APL » disponibles, APL moyen (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) culture, prairie et pondéré par les parts en surface des mêmes emblavements calculés sur les données du contrôle de 2007 à 2013, nombre de données minimum nécessaires pour une erreur maximale de 10 kg N NO₃⁻ ha⁻¹ au tour de la moyenne, dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart.

ZAC	Nombre de données disponibles	APL moyen culture (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen prairie ⁶⁶ (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	APL moyen pondéré global (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	Nombre de données nécessaires ⁶⁷
Petit-Houmart	1	51,6		-	53

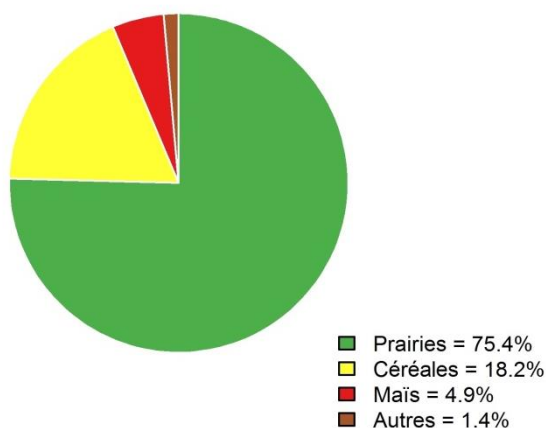


Figure 76. Parts en surface des principales cultures et prairies emblavées dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) de Petit-Houmart, estimées à partir du SIGEC 2013.

Le risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées dans cette ZAC (figure 78, tableau 47 et figure 77) est qualifié principalement de très faible (classe 1 – 70 %) et moyen (classe 3 – 21 %). La seule valeur d'APL disponible est observée sur une parcelle à risque faible.

Tableau 47. Parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation du captage (ZAC) de Petit Houmart.

Classe de risque	Définition	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Très faible	122,8	70,3
2	Faible	8,9	5,1
3	Moyen	36,5	20,9
4	Elevé	6,5	3,7

⁶⁶ APL moyen 0-90 cm (qui correspond à APL 0-30 cm multiplié par 2).

⁶⁷ Pour estimer l'APL moyen avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

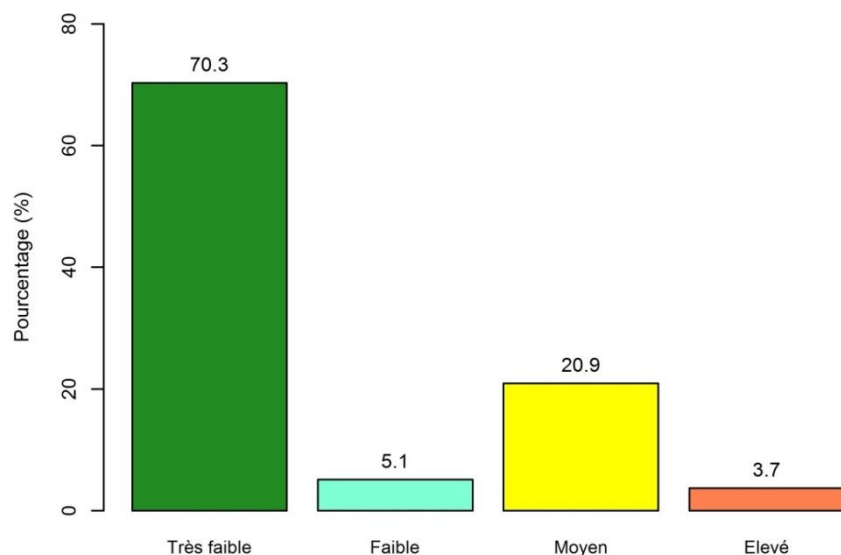


Figure 77. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.

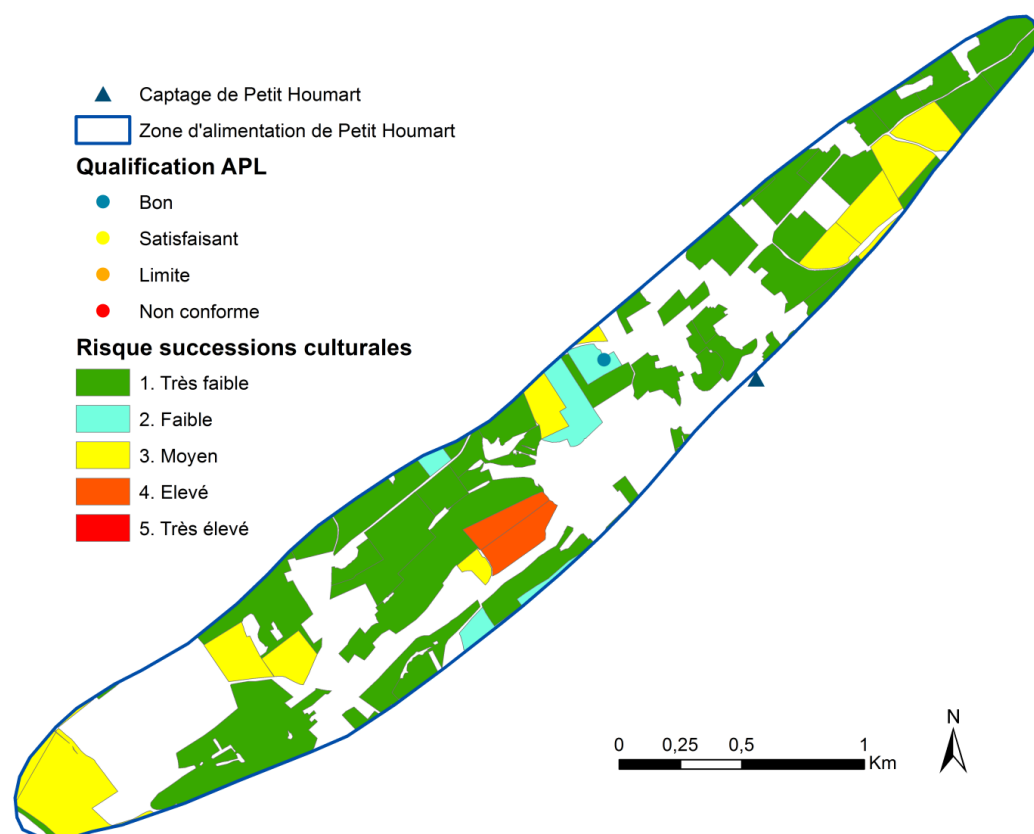


Figure 78. Représentation spatiale du risque de lixiviation du nitrate vers les eaux souterraines, lié aux types de successions culturales pratiquées, ainsi que les classes d'appréciation des données APL disponibles, à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.

Les sols de la ZAC de Petit-Houmart sont majoritairement sensibles (39 % de la surface) à très sensibles (28 %) à la lixiviation du nitrate (figure 79, tableau 48 et figure 80). Ces sols correspondent à des limons caillouteux superficiels (20-40 cm de profondeur) ou peu épais (40-80 cm de profondeur) sur substrat calcaire ou de silexite et à drainage naturel favorable. La concentration moyenne en nitrate

dans l'eau de captage de Solre-sur-Sambre les 5 dernières années est de 36 mg l⁻¹ (source : base de données CALYPSO du SPW-DGO3).

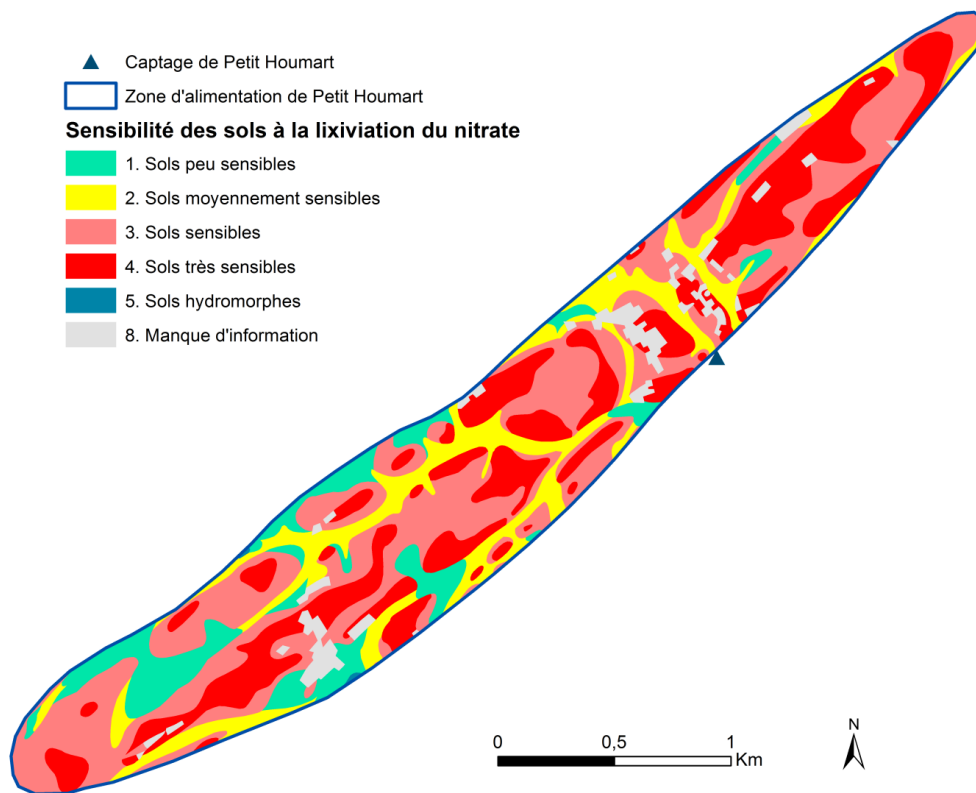


Figure 79. Représentation spatiale de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Zone d'alimentation du captage (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.

Tableau 48. Parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.

Code	Classe de sensibilité à la lixiviation du nitrate	Surface dans la ZAC	
		ha	Part (%)
1	Sols peu sensibles	32,2	11,1
2	Sols moyennement sensibles	48,4	16,6
3	Sols sensibles	114,7	39,4
4	Sols très sensibles	82,0	28,2
5	Sols hydromorphes	0,3	0,1
8	Manque d'information	13,6	4,7

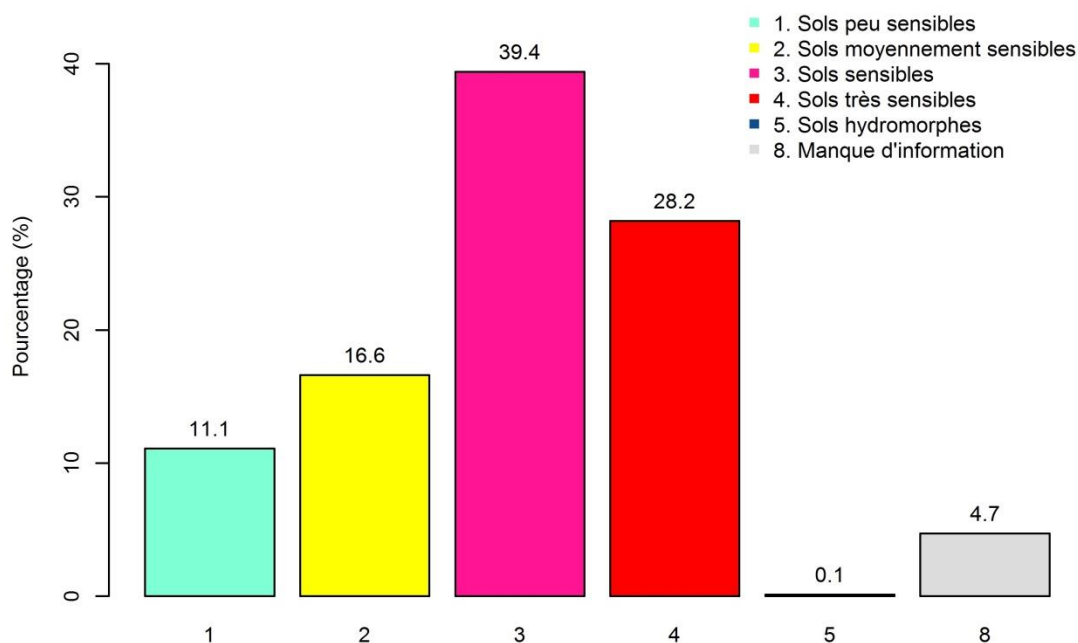


Figure 80. Diagramme en barre des parts en termes de surface des classes de sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate dans la Zone d'alimentation des captages (ZAC) d'eau de Petit-Houmart.

5.3.7 Conclusion

Aucune des six ZAC pilotes ne possède le nombre minimum requis de données APL pour pouvoir estimer l'APL moyen de la ZAC avec une marge d'erreur maximale de $10 \text{ kg N-NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ par rapport à la moyenne. L'acquisition de données APL supplémentaires est donc nécessaire afin de réévaluer l'APL moyen pondéré et apprécier l'intensité de la pression agricole (diffuse), préalable à toute action d'encadrement au sein d'une ZAC.

5.4 Estimation du coût de mise en œuvre d'un logigramme d'actions

Le coût de mise en œuvre d'un programme d'actions dépend principalement de deux paramètres : le type de programme d'actions et l'étendue de la ZAC. L'estimation du coût (en fonction de ces deux critères) est importante à deux titres :

1. dans des contextes hydrogéologiques complexes⁶⁸, la ZAC est parfois délimitée de façon relativement incertaine compte tenu des données disponibles. Le coût des investigations (forages, traçages, modélisation, ...) pouvant conduire à une réduction de la taille de la ZAC peut ainsi être comparé au gain lié à la réduction du coût du programme d'actions ;
2. pour les acteurs de terrain (tels que Nitrawal et les laboratoires provinciaux) ainsi que pour les bailleurs de fonds potentiels (tels que le SPW, la SPGE et les producteurs d'eau), il importe de pouvoir estimer l'impact d'un programme d'action sur leur activité, leur budget.

L'estimation du budget annuel global d'un programme d'actions été réalisée en considérant deux types d'actions :

- les mesures « APL » dans les parcelles et
- l'encadrement des agriculteurs par Nitrawal.

D'autres coûts pourraient exister et ne sont à ce stade pas pris en compte dans cette estimation :

- les dédommagements liés à une réglementation sur des cultures et successions culturales interdites dans la ZAC (programme N1) (non développé dans le cadre de cette convention) ;
- les primes APL (programme N1 et N2) (cf. Annexe 8.1).

5.4.1 Les mesures APL dans les parcelles

Des mesures APL sont prévues dans les trois programmes d'actions :

- dans les programmes N1 et N2 :
 - o en année 1 : autocontrôle volontaire des agriculteurs, financées par Nitrawal,
 - o en années 4 et 7 : contrôles de tous les agriculteurs, organisés par le SPW
 - o en année 9 : contrôle de certains agriculteurs, organisé par le SPW
- dans le programme N3 :
 - o en année 1 : contrôle de tous les agriculteurs, organisé par le SPW
 - o en année 4 : contrôle de certains agriculteurs, organisé par le SPW

Pour l'autocontrôle des agriculteurs, on considère un taux de participation de 100 % (puisque financé par Nitrawal), trois parcelles par exploitation et un prix unitaire de 60 €/parcelle

Pour les contrôles de tous les agriculteurs, on considère les mêmes hypothèses.

Pour le contrôle de certains agriculteurs (ceux qui présentent un $APL > 100 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$), on considère (hypothèse) que seulement 10 % d'entre eux sont concernés.

⁶⁸ Tel qu'en présence d'une interaction possible avec une autre prise d'eau (cas de la ZAC de Waremme) ou un cours d'eau (cas des ZAC de Givry et Solre-sur-Sambre)

5.4.2 L'encadrement des agriculteurs

L'encadrement évolue quantitativement en fonction et au cours des programmes d'actions :

- dans les programmes N1 et N2 :
 - o en années 1, 2 et 3 : encadrement de tous les agriculteurs,
 - o suite aux contrôles organisés en années 4 et 7 : encadrement de 20 % des agriculteurs pendant 3 ans (durée moyenne d'un programme d'observation)
 - o suite au contrôle organisé en année 9 : encadrement de 10 % des agriculteurs pendant 3 ans
- dans le programme N3 :
 - o suite au contrôle organisé en année 1 : encadrement de 20 % des agriculteurs pendant 3 ans
 - o suite au contrôle organisé en année 4 : encadrement de 10 % des agriculteurs pendant 3 ans

On considère les hypothèses suivantes pour l'estimation du coût annuel de l'encadrement : un technicien Nitrawal coûte environ 40.000 € et peut encadrer de l'ordre de 50 agriculteurs (environ 40 la première année d'encadrement et un peu plus de 50 les années ultérieures).

5.4.3 Coût global des programmes d'actions dans les ZAC pilotes

Dans le cadre de la présente convention, six sites de captage pilotes ont été choisis et ont fait l'objet d'une délimitation de ZAC (cf. rapport Géolys – ULg). Pour deux d'entre eux (Givry et Solre-sur-Sambre), la délimitation de la ZAC est réalisée avec deux hypothèses différentes :

- soit en considérant que la rivière proche alimente le site de prises d'eau. Dans ce cas, les limites de la ZAC correspondent aux limites du bassin versant topographique ;
- soit en considérant le bassin versant hydrogéologique, sur base de la piézométrie.

Le tableau 49 décrit le contexte agricole (nombre d'agriculteurs, de parcelles, superficie agricole utile) ainsi que le type de programme d'actions à mettre en œuvre en application du logigramme principal (tableau 1).

On y observe qu'un site (Arquennes) est en programme N3, compte tenu de la tendance à la baisse de la concentration en nitrate dans la principale prise d'eau, qu'un site (Givry) est en programme N1 (compte tenu d'une concentration supérieure à 50 mg NO₃⁻ l⁻¹ et de l'absence de tendance à la baisse) et que les quatre autres sites sont en programme N2.

Tableau 49. Description des ZAC pilotes.

ZAC	Programme d'actions	Nombre d'agriculteurs	Nombre de parcelles	Surface ZAC (ha)	SAU ⁶⁹ (ha)	SAU dans la ZAC (%)
Arquennes	N2	9	31	104	91	87%
Cornesse	N1	15	53	203	138	68%
Givry BV de la Trouille	N1	135	1.035	8.497	3.271	38%
Givry BV hydrogéol.		57	289	774	612	79%
Solre BV de la Hantes	N2	286	2.944	14.507	8.445	58%
Solre BV hydrogéol.		19	71	176	125	71%
Waremme	N2	171	683	3307	2775	84%
Petit Houmart	N2	16	87	291	189	65%

Le tableau 50 donne une estimation du budget global (minimum et maximum si deux hypothèses de limite de ZAC pour un seul site) des programmes d'actions.

Pour le site d'Arquennes, compte tenu de la nature du programme d'action (N2), il n'y a pas d'encadrement proactif de Nitrawal avant le contrôle APL et, par conséquent, pas d'autocontrôle (volontaire) prévu lors de ce type d'encadrement.

Tableau 50. Estimation du budget global (9 années) pour les ZAC pilotes.

ZAC	Coût APL			Coût encadrement Nitrawal			Coût total
	Volontaire	Contrôle(s) complet(s)	Contrôle partiel	Avant contrôle complet	Après contrôle complet	Après contrôle partiel	
Arquennes	-	1.620 €	162 €	-	4.320 €	720 €	6.822 €
Cornesse	2.700 €	5.400 €	270 €	36.000 €	7.200 €	1.200 €	52.770 €
Solre BV de la Hantes	51.480 €	102.960 €	5.148 €	686.400 €	137.280 €	22.880 €	1.006.148 €
Solre BV hydrogéol.	3.420 €	6.840 €	342 €	45.600 €	9.120 €	1.520 €	66.842 €
Givry BV de la Trouille	24.300 €	48.600 €	2.430 €	324.000 €	64.800 €	10.800 €	474.930 €
Givry BV hydrogéol.	10.260 €	20.520 €	1.026 €	136.800 €	27.360 €	4.560 €	200.526 €
Waremme	30.780 €	61.560 €	3.078 €	410.400 €	82.080 €	13.680 €	601.578 €
Petit Houmart	2.880 €	5.760 €	288 €	38.400 €	7.680 €	1.280 €	56.288 €

L'observation de ce tableau indique que l'incertitude quant à la limite (bassin versant topographique ou hydrogéologique) de la ZAC des sites de Solre-sur-Sambre et Givry a un impact important sur le coût total du programme d'actions.

L'examen de la figure 81 (établie sur base du tableau 50) indique que le coût de l'encadrement représente environ 85 % du coût total.

⁶⁹ Sur base du SIGEC 2013

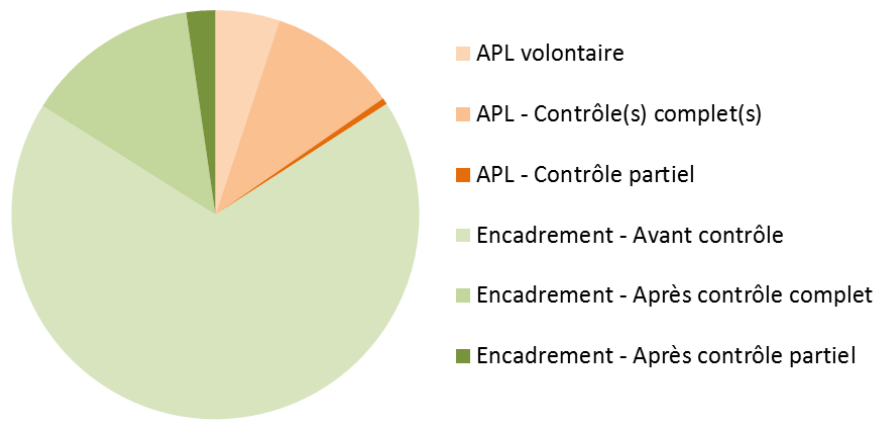


Figure 81. Répartition du budget d'un programme d'actions en fonction des actions.

6 CONCLUSIONS

Ce projet s'inscrit dans le cadre des « contrats de captages » dont la mise en œuvre est assurée par la SPGE. Les objectifs étaient :

- d'établir une méthodologie unique de diagnostic et de détermination des actions à entreprendre autour de captages en vue d'y préserver ou restaurer la qualité de l'eau,
- de tester la méthodologie autour de six prises d'eau pilotes et
- de mettre en œuvre les actions proposées sur 2 à 3 sites pilotes.

In fine, il s'agissait d'établir un cahier des charges applicable par des bureaux d'études afin notamment de définir les ZAC.

La méthodologie mise au point pour répondre aux objectifs de l'étude se décline sous la forme :

- d'un logigramme principal qui permet de classer les prises d'eau en fonction de critères et d'indicateurs et
- des logigrammes décisionnels qui, compte tenu des enjeux et/ou délais imposés, proposent des actions à mettre en œuvre en vue de préserver ou restaurer la qualité de l'eau.

Concrètement, dans le cas des captages préoccupants, les logigrammes décisionnels renvoient vers différents outils (APL moyen pondéré, impact des successions culturales, sensibilité intrinsèque des sols à la lixiviation du nitrate, etc.) de caractérisation du contexte environnemental autour des captages d'eau afin de proposer des actions concrètes de préservation et/ou de restauration de la qualité de l'eau, à entreprendre en partie ou en totalité au sein de la ZAC définie.

Six sites de prises d'eau ont été sélectionnés afin de servir de support pour l'établissement de la méthodologie. Ils ont été choisis de manière à couvrir l'ensemble des contextes hydrogéologiques, pédologiques et anthropiques rencontrés en région wallonne.

Un premier logigramme principal renvoie ainsi vers trois logigrammes/programmes d'actions de restauration de la qualité de l'eau, allant du plus contraignant (N1) au plus souple (N3). Le choix du logigramme d'action est fonction de la concentration en nitrate mesurée dans l'eau du captage et de la tendance d'évolution (à la hausse ou à la baisse) de celle-ci les cinq ou dix dernières années. En effet, pour tout captage, lorsque la concentration observée est supérieure à 35 mg l⁻¹ (70 % de la norme de potabilité de 50 mg l⁻¹) avec une tendance à la hausse, la réglementation prévoit l'inversion de la tendance jusqu'à 20 mg l⁻¹.

Les logigrammes décisionnels orientent les actions à entreprendre autour des prises d'eau sur base de critères tels que la situation géographique de la ZAC et plus particulièrement son inclusion entière en zone vulnérable, la part de la SAU dans la ZAC, l'appréciation de la pression agricole sur la qualité de l'eau par l'estimation de l'APL moyen à l'échelle de la ZAC, l'existence ou non d'un réseau d'assainissement approprié, l'état des dispositifs de stockage de lisier, etc.

L'hypothèse est de considérer que la pollution est de type diffus si la part de la SAU est supérieure à 30 %, où l'investigation débute par l'estimation de l'APL moyen pondéré par les superficies des spéculations à condition que des données « APL » suffisantes soient disponibles au sein de la ZAC. Un nombre de données minimum nécessaires est estimé en fonction de la variabilité intra-parcellaire et inter-parcellaire de l'APL, de la marge d'erreur souhaitée autour de la moyenne et du nombre de parcelles de la ZAC.

En cas d'APL moyen qui dépasse la limite fixée de 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹, les agriculteurs exploitant au sein de la ZAC sont informés de la pollution diffuse observée. Ils sont invités à participer à un programme d'actions sur une base volontaire. Une prime pourra être octroyée aux agriculteurs participants si l'APL moyen (pondéré par les superficies) des occupations agricoles de leur exploitation dans la ZAC est inférieur à la limite fixée (40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹).

Le programme d'actions a pour objectif final d'afficher un APL moyen à l'échelle de la ZAC inférieur à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹. Dans tous les cas, chaque exploitation de la ZAC est contrôlée par le SPW trois

années après un encadrement par Nitrawal des agriculteurs « volontaires ». Un délai de 4 (N3) à 9 (N1 et N2) années est nécessaire pour l'application complète des logigrammes d'actions, l'évaluation des effets des mesures de restauration et la remise en route du logigramme principal.

Dans le cas d'hypothèse de pollution présumée (car SAU inférieure à 30%) ponctuelle, les actions débutent par un examen du réseau d'assainissement et des infrastructures de stockage de lisier.

L'évaluation de l'impact des successions culturales sur la qualité de l'eau à partir du SIGEC et de la sensibilité intrinsèque des sols à la lixiviation du nitrate grâce à la CNSW et l'expérimentation de terrain permettent de cibler les zones les plus à risque afin d'y appliquer/concentrer les mesures adéquates pour protéger et/ou restaurer la qualité de l'eau. La méthodologie développée sur les six sites pilotes sera transposée sur d'autres captages préoccupants en Wallonie afin d'y restaurer la qualité de l'eau.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Bah B., Legrain X., Engels P., Colinet G. & Bock L. (2007). Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Belgique) – Version 2. Sur base de la légende originale de la Carte des sols de la Belgique de l'IRSIA à 1/20.000. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Laboratoire de Géopédologie. 41p. + annexes.
- Bah B., Vandenberghe C., Bachelart F., Colinet G. (2014). *Suivi de deux bassins versants pilotes à Arquennes*. Dossier GRENeRA **14-03**. 15p. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Bah B., Imbrecht O., Bachelart F., Lambert R., Colinet G., 2014. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2014 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement Nitrawal*. Université catholique de Louvain et Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, 65p. + annexes.
- Bah B., Vandenberghe C., Bachelart F., Colinet G. 2014. *Suivi lysimétrique de l'azote nitrique dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en Agriculture*. **Dossier GRENeRA 14-04**. 25p. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Bah B., Imbrecht O., Bachelart F., Lambert R., Colinet G., 2014. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2014 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement Nitrawal*. Université catholique de Louvain et Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, 65p. + annexes.
- Baize D. (2004). *Petit lexique de pédologie*. Paris : INRA éditions, 271 p.
- Baltus C., Feltz C., Veron P., Lejeune P. (2007). *Carte de l'Occupation du Sol de Wallonie – Version 1. Notice explicative*. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux – Unité de Gestion des Ressources forestières et des milieux naturels, Unité Sol-Ecologie-Territoire, Laboratoire d'Aménagement du territoire. Convention PCNOSW, Région Wallonne – DGA. 9 p.
- Borgers N., Warin A., Vandenberghe C., Marcoen J.M. (2006). *Possibilité d'utilisation de la Carte Numérique des Sols de Wallonie pour l'évaluation de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale*. Dossier GRENeRA **05-04** 45 p.. In Vandenberghe C., Bontemps P.Y., Hulpiau A., Marcoen J.M., 2006. *Convention-cadre relative au programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne. Rapport d'activités annuel intermédiaire 2005*. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
http://www.gembloux.ulg.ac.be/gp/grenera/Doc1_fichiers/DG/2005/DG_05-04Sensibilitealinfiltration.pdf
- Bracke C., Veron P., Bah B. (2004). Dir. Sc. Lejeune P., Bock L. *Mise en œuvre du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie (P.C.N.S.W.). Phases « restitution » et « intégration »*. Gembloux, Faculté universitaire des Sciences agronomiques, Unité Sol - Ecologie - Territoire, Laboratoire de Géopédologie, Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels. Rapport final des activités de la convention. 53 p.
- Buczko, U., Kuchenbuch R.O., Lennartz B. (2010) Assessment of the predictive quality of simple indicator approaches for nitrate leaching from agricultural fields. *Journal of Environmental Management*, **91** (2010), 1305-1315.
- Cam C., Froger D., Moulin J., Rassineux J., Servant J. (1996). Représentation cartographique de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale. Carte thématique à l'infiltration verticale. *Etudes et Gestion des Sols*, **3** (2). 97-119.
- Dagnélie P. (1998). *Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférence statistique à une et à deux dimensions*. Bruxelles: De Boeck Université. 501 p.
- Deneufbourg M., Vandenberghe Ch., Heens B. & Marcoen J.M. (2013). Suivi de la lixiviation du nitrate en plein champ par la technique lysimétrique : retour de huit années d'expérience. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **17**(S1), 177-186. <http://hdl.handle.net/2268/147728>

- De Paz J. M., Delgado J. A., Ramos C., Shaffer M. J., Barbarick K. K. (2009). Use of a new GIS nitrogen index assessment tool for evaluation of nitrate leaching across a Mediterranean region. *Journal of Hydrology*, **365** (2009), 183–194.
- De Toffoli M., Oost J-F. & Lambert R. (2013). Impact de la destruction de prairie sur le reliquat d'azote et la gestion de la fertilisation azotée. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **17**(S1), 187-194.
- Fonder N., Deneufbourg M., Vandenberghe Ch., Xanthoulis D. & Marcoen J.M. (2010). Suivi de la percolation du nitrate en terres cultivées par la technique lysimétrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **14**(S1), 17-25. <http://hdl.handle.net/2268/32735>
- Huby, M., Orban, Ph., Wittorski, O., Piront, L., Brouyère, S. (2014). Rapport d'activité n°1 du consortium Geolys - HGE-ULg dans le cadre du projet « Méthodologie de diagnostic environnemental autour de captages d'eau potabilisable sensibles qualitativement du point de vue du nitrate », Convention SPGE, 33 p.
- Ibnoussina M., El Haroui M., Maslouhi A. (2006). Expérimentation et modélisation de la lixiviation de l'azote nitrique dans un sol sableux. *C. R. Geoscience*, **338** (2006), 787-794.
- Lehman J., Schroth G. (2003). Chapter 7. Nutrient Leaching. In *Trees, Crops and Soil Fertility*. Eds G. Schroth and F. L. Sinclair. CAB International. 16p.
- Leteinturier B., Tychon B., Oger R. (2007). Diagnostic agronomique et agro-environnemental des successions culturales en Wallonie (Belgique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **11**(1), 27-38.
- Lozet J., Mathieu C. (2002). *Dictionnaire de Science du Sol*. Paris : Lavoisier, Collection Technique et Documentation, 575 p.
- Muller J-C, ed. (1996). Un point sur ... trente ans de lysimétrie en France (1960-1990). Paris: INRA.
- Sohier C. Développement d'un modèle hydrologique sol et zone vadose afin d'évaluer l'impact des pollutions diffuses et des mesures d'atténuation sur la qualité des eaux en Région wallonne (thèse de doctorat). Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 338 p., 30 tabl., 146 fig.
- SPW-DGARNE. (2013). *Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie. Vol. Décembre 2013. Douzième année*: Service public de Wallonie (SPW). Direction générale opérationnelle, Agriculture Ressources naturelles et Environnement (DGARNE). Direction de la Coordination des données. Direction des eaux souterraines. 28 p.
- Vandenberghe C., Laroche J., Colinet G., Mohimont A-C., Marcoen J.M., Bock L.. (2002). Mise en œuvre du Survey Surfaces Agricoles - Appréhension de la variabilité spatiale et temporelle à la parcelle du profil des concentrations en azote de sols agricoles. Dossier GRENERA 02-09. Rapport d'activités intermédiaire 2002. Fac. Univ. Sci. Agron., Gembloux. 56p.
- Vandenberghe C., Marcoen J.M. (2004). Transposition de la Directive Nitrate (CE) en Région wallonne : azote potentiellement lessivable de référence pour les sols cultivés en Région wallonne. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 8 (2), 111-118. <http://hdl.handle.net/2268/32606>
- Vandenberghe C., De Toffoli M., Bachelart F., Imbrecht O., Lambert R., Marcoen J.M. (2013). Contrôle de l'azote potentiellement lessivable dans le sol en début de période de lixiviation. Etablissement des valeurs de référence. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17 (S1), 231-236. <http://hdl.handle.net/2268/147729>
- Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007). Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874-FR, 74p.
- Vernoux J.F., Buchet R. (2010). *Améliorer la protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine*. BRGM. 66p. <http://sigesnpc.brgm.fr/IMG/pdf/captages.pdf>
- Vernoux J.F., Barrez F., Wuilleumier A. (2011). *Analyse des études de délimitation et de vulnérabilité des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine « Grenelle »*, rapport BRGM/RP- 59583 RFR, 87 pages, 54 illustrations, 1 annexe. http://captages.onema.fr/system/files/vernoux_et_al_2011_1.pdf

8 ANNEXES

8.1 APL – probabilité d’octroyer une prime à un agriculteur

8.1.1 Introduction – méthode d’estimation

L’objectif de cette annexe est d’évaluer, dans le cadre de l’octroi d’une prime APL, la probabilité ou proportion d’agriculteurs qui pourraient obtenir cette prime.

Cet aspect est important puisque, conjugué au nombre de programmes d’actions en cours, au nombre d’agriculteurs par ZAC, à la SAU moyenne d’une exploitation dans la ZAC et au montant (par unité de surface) de la prime, il permettra d’estimer un budget annuel des éventuelles primes.

L’estimation s’appuie sur la base de données des ‘contrats captage’ mise en œuvre par Nitrawal. Dans le cadre de ces encadrements, Nitrawal fait mesurer l’APL dans bon nombres de parcelles des exploitations actives à proximité du captage.

Pour cet exercice, nous considérons la ‘proximité’ du captage comme étant la ZAC.

L’APL moyen pondéré se calcule comme suit : $\sum_{i=C1}^{C8} (APL_i \times \%SAU_i)$

i = classe de la culture présente dans la ZAC

%SAU_i : pour une exploitation agricole donnée, il s’agit de la part de la SAU de la classe de culture i, dans la ZAC.

8.1.2 Source de données

Les résultats de quatre actions ‘contrat captage’ ont été valorisés pour cette estimation.

Dans le cadre de ces actions ‘contrat captage’, les conseillers Nitrawal élaborent des plans prévisionnels de fertilisations avec les agriculteurs engagés volontairement. A l’automne, des mesures d’APL sont réalisées sur une partie des parcelles de ces agriculteurs, situées dans la ZAC. Il s’agit là d’une forme d’autocontrôle.

Ces plans prévisionnels de fertilisation permettent de calculer la part de chaque classe de culture, pour une exploitation agricole donnée, dans la ZAC.

Certaines situations ont dû être écartées par manque d’information :

- la somme des superficies de parcelles d’une exploitation agricole donnée variait sensiblement d’une année à l’autre, ce qui indique que le plan de fertilisation n’était pas réalisé (par faute de temps) sur l’entièreté des parcelles situées dans la ZAC
- certaines cultures à APL très variable et élevé (donc pas prédictible avec faible une probabilité d’erreur en valeur absolue) n’ont pas fait l’objet d’une mesure d’APL

Cette base de données ainsi ‘nettoyée’ comporte quelques 246 parcelles couvrant cinq années d’observations (2010 à 2014) pour 54 exploitations agricoles.

8.1.3 Résultats

Au cours de cette période, on constate (figure 82) dans un peu moins de la moitié des situations que l'APL moyen des parcelles (situées dans la ZAC) d'une exploitation agricole est inférieur à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

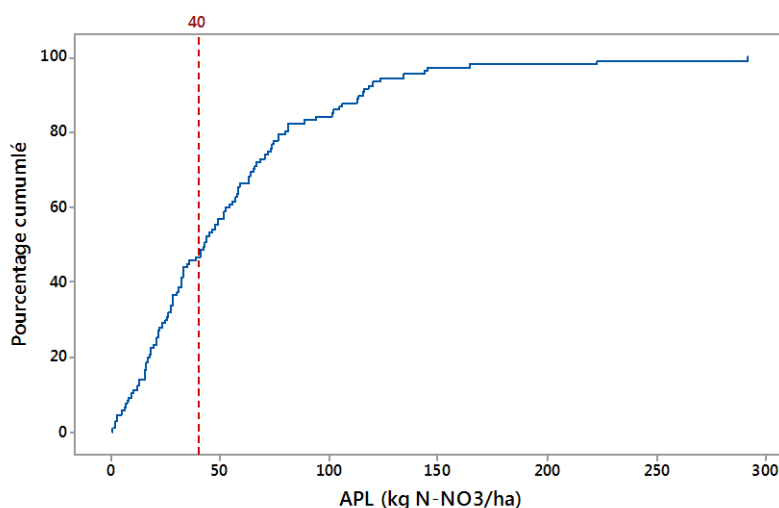


Figure 82. Distribution de fréquence (cumulée) des APL moyens pondérés par exploitation suivie dans le cadre d'un contrat captage.

Lorsqu'il y a plusieurs années d'observations exploitables pour une même exploitation agricole, on observe (figure 83) très peu de situations pour lesquels l'APL moyen annuel est chaque fois supérieur ou inférieur à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹. Ceci signifie que d'une année à l'autre, l'impact environnemental d'une exploitation dans une ZAC est très variable ; cette variabilité est logiquement liée aux successions culturales et à la gestion de l'azote (ce dernier aspect étant illustré par les quelques valeurs très élevées d'APL).

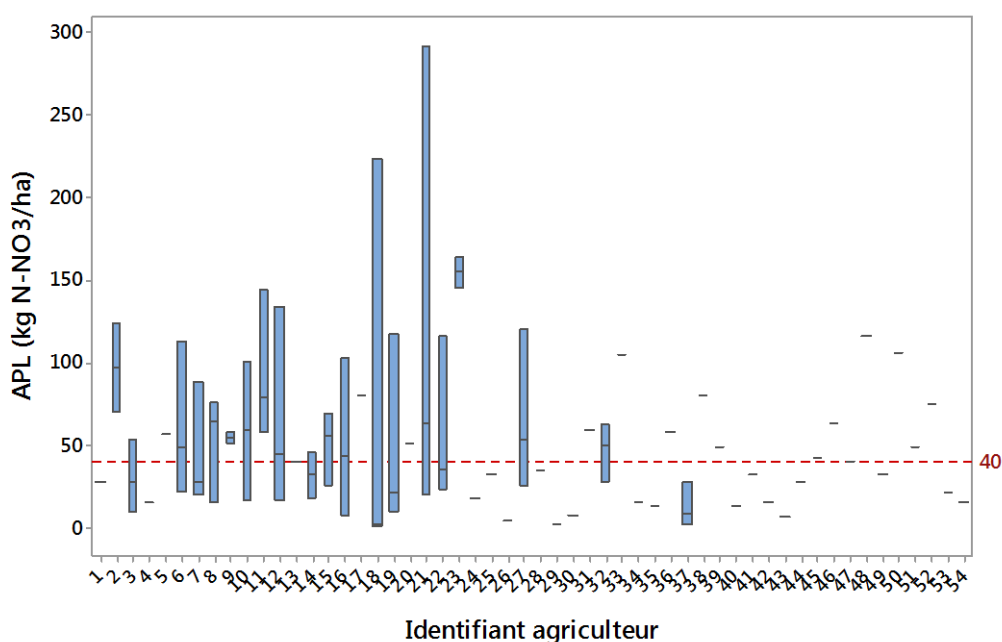


Figure 83. APL moyens annuels (min, médiane, max) des exploitations suivies dans le cadre d'un contrat captage.

8.1.4 Estimation budgétaire et conclusion

Si une prime APL devait être octroyée aux agriculteurs qui s'investiraient significativement dans la restauration/maintien de la qualité de l'eau d'une ZAC, on peut estimer que la moitié des superficies pourraient être primée. Cependant, cette évaluation est sans doute sous-estimée puisque, si le montant de la prime est attractif, il est vraisemblable que des changements de pratiques en matière de successions cultures s'opèrent plus régulièrement, avec pour effet escompté, une diminution de l'APL moyen dans la ZAC.

Sur cette hypothèse d'une moitié de superficie primée et en considérant⁷⁰ une ZAC moyenne de 150 ha dont 70% serait agricole (Tableau 49) et une prime de 200 €/ha, le budget annuel de la prime APL serait de l'ordre de 10.000 €⁷¹ par ZAC.

Par contre, si l'on s'appuie sur les ratios 'volume capté / taille de ZAC' (entre 0.02 et 0.005 m³/ha) des six ZAC pilotes, la ZAC moyenne aurait une superficie de l'ordre de 2000 ha. Le budget annuel de prime APL serait alors de l'ordre de 140.000 €⁷².

En considérant une production annuelle d'eau par ZAC de l'ordre de 400.000 m³, la prime APL représente un coût de l'ordre de 2,5 à 35 cents/m³.

Pour placer le montant de la prime dans un contexte agricole, il convient d'avoir à disposition quelques ordres de grandeur :

- prix de vente des céréales (hors coûts de production) : entre 1000 et 2000 €/ha
- prix de location d'une parcelle (en bail pluriannuel) : entre 100 et 300 €/ha
- prix de location d'une parcelle (à l'année, pour un contrat de pomme de terre) : environ 1500€/ha

Au vu de ces montants, il est important, pour que l'éventuelle prime APL puisse être incitative, de ne pas la situer sous 200 €/ha.

⁷⁰ Sur base du bilan hydrogéologique simplifié (volumes captés et infiltration efficace de l'ordre de 150 à 200 mm)

⁷¹ = 150 ha x 70%SAU x 50% réussite x 200 €/ha

⁷² = 2000 ha x 70%SAU x 50% réussite x 200 €/ha

8.2 APL – extrapolation 0-30cm à 0-90cm dans le cadre de l’octroi d’une prime

8.2.1 Introduction

Depuis 2008, la mesure du reliquat azoté dans le sol (couche 0-90 cm) en début de période de lixiviation (APL) fait partie des outils de contrôle déployés par le SPW pour s’assurer de la bonne gestion de l’azote par les agriculteurs situés en zone vulnérable.

Ainsi, chaque année, quelques 5 % de ces agriculteurs sont contrôlés dans trois de leurs parcelles. Les résultats des analyses sont comparés à des valeurs de référence établies chaque année par Gembloux Agro-Bio Tech (GRENeRA) et l’UCL, membres de Nitrawal, sur base d’observations réalisées dans des parcelles où la fertilisation azotée y a été raisonnée.

Par ailleurs, depuis 2003, GRENeRA exploite six lysimètres situés en terrain limoneux profond. Ces équipements permettent de récolter l’eau de percolation à 2 mètres de profondeur afin d’y doser le nitrate. Ce suivi de la concentration dans l’eau est couplé à un suivi de l’APL dans ces parcelles. Sur base des observations réalisées dans celles-ci, il apparaît logiquement une relation entre l’azote nitrique présent dans le sol en début de lixiviation et la concentration moyenne en nitrate de l’eau qui percole au cours des six à dix-huit mois qui suivent. Généralement (légère variabilité liée l’importance et la distribution de la pluviométrie hivernale), il apparaît que l’ordre de grandeur du reliquat azoté (exprimé en $\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) est équivalent à l’ordre de grandeur de la concentration en nitrate de l’eau qui percole (Deneufbourg *et al*, 2013).

Ainsi, lorsque l’APL est inférieur à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, la concentration en nitrate est certainement inférieure à 50 mg l^{-1} .

Ce constat a pu être confirmé à l’échelle d’un petit bassin versant agricole (Arquennes), suivi depuis 2004 par GRENeRA. Fruit du travail réalisé par les conseillers Nitrawal entre 2004 et 2009, l’APL moyen de cette ZAC est passé de $70 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ en 2004 à environ $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ depuis 2007. La concentration en nitrate mesurée aux prises d’eau (deux galeries et deux émergences) situées à l’exutoire de ce bassin est ainsi passée en quelques années de $60\text{-}70 \text{ mg l}^{-1}$ à $40\text{-}50 \text{ mg l}^{-1}$ avec une tendance toujours à la baisse (Bah *et al*, 2013).

En plus de constituer un indicateur agronomique de bonne gestion de l’azote, l’APL peut donc également jouer un rôle d’indicateur environnemental.

Une valeur de $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ pourrait constituer un objectif à atteindre pour garantir une qualité d’eau satisfaisante.

Le présent paragraphe vise à répondre à la question suivante : comment limiter les coûts humains, administratifs et in fine financiers de ces mesures APL ?

8.2.2 Optimisation de la gestion des successions culturales et de l’azote

Depuis 2004, GRENeRA et l’UCL établissent des références APL sur base d’observations réalisées dans des parcelles où la fertilisation a été raisonnée.

Ces dix années d’observations ont permis de constater que chaque culture présente un potentiel APL spécifique, lié à des facteurs tels que

- la date de récolte (une interculture longue avant la lixiviation est propice à un enrichissement du profil sous forme d’azote nitrique produit par la minéralisation de l’humus) ;
- la nature de la culture (une légumineuse, par la présence et l’activité des nodosités situées sur ses racines, va enrichir le sol en azote qui, après la récolte, va se transformer en nitrate)
- le système racinaire de la culture (certaines cultures telles que la pomme de terre ne disposent pas d’un enracinement profond ; l’azote présent dans le sol n’étant pas alors complètement consommé par la plante)

Ainsi, des cultures telles que la betterave, une céréale suivie d'une CIPAN ou une prairie laissent, en condition de fertilisation raisonnée et de bonne implantation de la CIPAN (après récolte de la céréale), un reliquat azoté assez faible (de l'ordre de $30 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$).

A l'opposé, des cultures telles que la pomme de terre, le colza ou les légumes laissent, en condition de fertilisation raisonnée en l'absence de CIPAN, un reliquat azoté relativement élevé (de l'ordre de $90 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$).

Les céréales non suivies d'une CIPAN et le maïs occupent, toujours dans des conditions de fertilisation azotée raisonnée, un niveau intermédiaire (de l'ordre de $60 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$).

Les observations réalisées depuis plusieurs années, par les deux équipes universitaires précitées, dans le cadre d'expérimentations visant à étudier la réponse à une fertilisation azotée croissante du rendement d'une culture et du reliquat azoté dans le sol à la récolte ont montré que réduire la fertilisation, même fortement, ne permet pas d'abaisser significativement le niveau de reliquat azoté dans le sol à la récolte.

Dès lors, fixer un objectif «environnemental» par parcelle sera inefficace car trop aisé à rencontrer dans certains contextes comme la betterave et inaccessible dans d'autres comme le maïs ou la pomme de terre.

Il convient dès lors de mettre en place un système qui, d'une part, incite l'agriculteur à parfaire sa gestion de l'azote sur chaque parcelle et d'autre part, l'encourage à organiser sa sole dans la ZAC et en dehors de la ZAC de manière à, dans la ZAC, limiter la superficie de cultures à fort APL et/ou à compenser par une superficie adéquate de culture à faible APL.

Le système proposé est une mesure d'APL dans chaque classe de culture/prairie de chaque exploitation agricole active (avec au moins deux parcelles⁷³) sur la ZAC.

Ainsi, généralement entre deux et six mesures d'APL seront réalisées chez chaque agriculteur. Le choix des parcelles sera réalisé de manière aléatoire (si plusieurs parcelles d'une même classe) et une valeur moyenne pondérée par les superficies de chaque classe sera calculée. Si celle-ci est inférieure à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$, une prime pourra être octroyée.

La fixation d'une valeur unique, non dépendante de l'année, rencontre l'objectif environnemental et permet en outre aux conseillers Nitrawal de ne pas devoir attendre fin janvier (date de fixation des références APL et début de la période de conseil en fertilisation azotée) pour faire le bilan de chaque exploitation agricole.

8.2.3 Réduction des coûts par une mesure unique dans le 0-30 cm

8.2.3.1 Principe

La mise en œuvre d'un tel système dans des ZAC de plusieurs milliers d'hectares et donc concernant potentiellement une centaine d'agriculteurs et des centaines de parcelles va rencontrer quelques problèmes de divers ordres :

- humain : les laboratoires en charge de l'échantillonnage et l'analyse de sol disposent-ils d'un effectif et équipement suffisant pour réaliser le travail ?
- administratif : demande d'autorisation (via www.klim-cicc.be) aux gestionnaires d'impétrants⁷⁴, le délai entre le choix de la parcelle et l'échantillonnage de celle-ci est allongé
- financier : le rendement d'un échantillonneur est de l'ordre d'une dizaine de parcelles par jour pour un échantillonnage jusqu'à 90 cm.

⁷³ nombre minimum pour que l'une puisse compenser l'autre

⁷⁴ vérification de l'absence d'impétrants sur chaque parcelle et, le cas échéant, contact avec l'impétrant pour piquetage de la conduite/du câble dans la parcelle préalablement à chaque échantillonnage jusqu'à 90 cm

Le présent chapitre évalue la possibilité (précision) de ne mesurer le reliquat azoté que dans la couche 0-30 cm et d'extrapoler celui-ci à 90 cm. Ce faisant, le rendement des échantillonneurs serait plus que triplé (les couches 30-60 cm et 60-90 cm sont toujours nettement plus difficiles à échantillonner que la couche 0-30 cm) et le coût en serait réduit certainement de moitié.

8.2.3.2 Méthodologie d'évaluation

Deux aspects sont traités dans un premier temps pour mener à bien cette évaluation :

- quelle est la qualité de la relation (corrélation) entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm
- existe-t-il une variabilité interannuelle importante ?

Pour répondre à ces deux questions, les résultats des contrôles APL réalisés par le SPW en 2011 et 2012 seront traités pour chaque classe de culture :

- histogramme des valeurs 0-30 cm
- régression entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm

Dans un second temps, la base de données des résultats 2008 à 2013 a été traitée d'un seul tenant (en faisant ainsi fi de l'effet année) pour évaluer l'erreur d'estimation commise pour deux cultures contrastées (betterave et maïs).

8.2.3.3 Résultats pour le contrôle APL de 2011

Le tableau 51 donne une vue synthétique de l'effectif et de la distribution des résultats APL observés en parcelles cultivées lors du contrôle mené par le SPW en 2011. On y observe que les céréales (classes C2 et C3) représentent 45 % des parcelles échantillonnées. Le maïs est la deuxième culture en termes d'importance dans le contrôle : 24 %.

Deux cultures (betterave et céréales suivies de CIPAN) présentent un quartile 3 légèrement supérieure à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ (0-90 cm) et deux cultures (maïs et pomme de terre) présentent un quartile 1 nettement supérieure à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ (0-90 cm). Donc, lors du contrôle APL 2011, il a été assez fréquent d'observer des valeurs APL inférieures à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ en betterave et céréales suivies de CIPAN et très rare d'en observer en maïs et pomme de terre.

En ce qui concerne les prairies, 17 des 120 parcelles contrôlées ont présenté un APL (0-30 cm) supérieure à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

Tableau 51. Synthèse des résultats du contrôle APL 2011.

Variable	Classe reliqu.	N	Mean	StDev	Q1	Median	Q3
Résultat 0-30cm	C1	180	18,01	17,50	8,00	12,60	22,98
	C2	288	15,102	14,678	6,300	9,710	17,330
	C3	333	33,74	25,21	15,25	28,16	43,03
	C4	322	66,97	47,72	34,99	52,70	83,20
	C5	164	55,96	26,96	39,00	49,44	65,51
	C6	45	41,53	24,53	23,00	36,80	50,30
	C7	35	58,84	39,25	28,14	50,46	78,68
Résultat 0-90cm	C1	180	36,32	35,11	16,00	25,00	43,50
	C2	288	35,58	29,08	15,77	25,42	47,14
	C3	333	68,60	47,65	35,45	56,32	85,44
	C4	322	129,63	82,64	68,50	110,13	165,31
	C5	164	105,33	56,80	72,04	91,01	124,16
	C6	45	72,93	44,43	42,40	68,50	90,06
	C7	35	125,1	75,2	75,5	110,1	154,0

Dans la couche 0-30 cm, les figures 84 et 85 illustrent également le constat observé dans la couche 0-90 cm, à savoir une fréquence relativement élevée de faibles valeurs pour les classes C1 et C2 et une fréquence plus importante de valeurs relativement élevées pour les classes C4, C5 et C6.

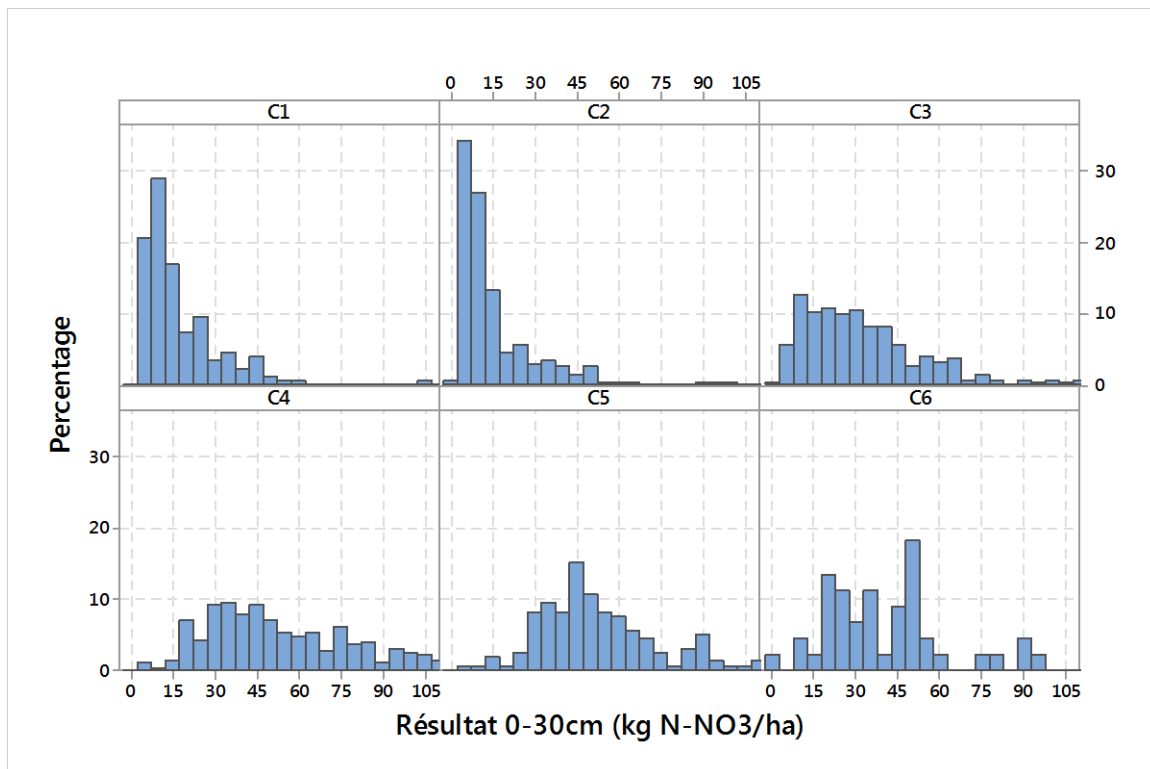


Figure 84. Histogramme, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2011.

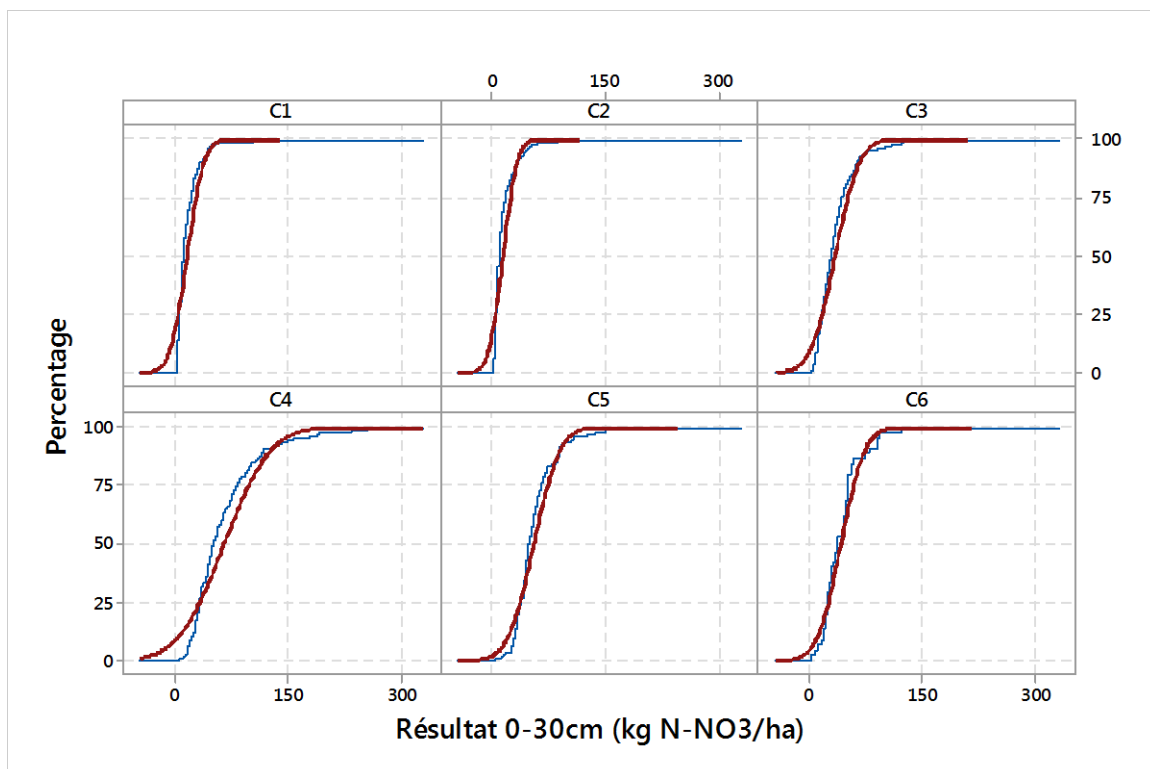


Figure 85. Distribution cumulée, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2011.

La Figure 86 illustre la relation, pour les classe C1 à C6, entre le résultat de la mesure dans la couche 0-30 cm et le résultat dans la couche 0-90 cm.

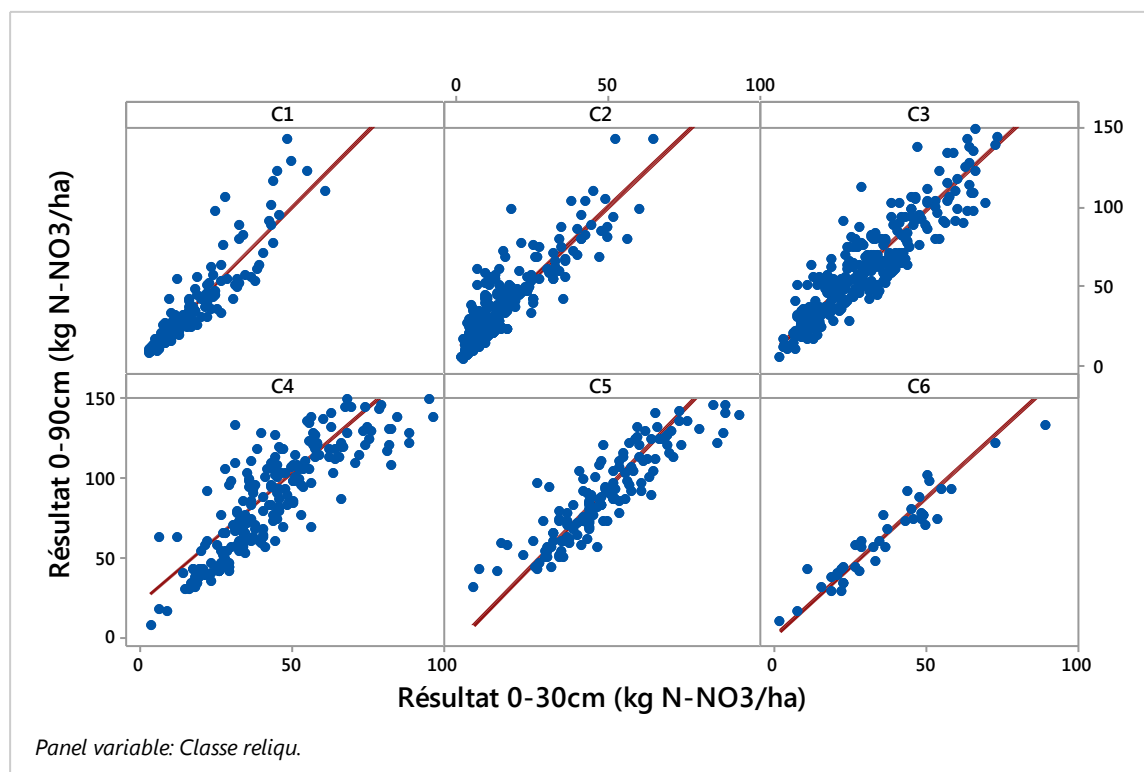


Figure 86. Relation, par classe de culture, entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm en 2011.

Ces relativement bonnes relations sont confirmées par des coefficients de corrélation toujours supérieurs à 85 % (tableau 52). Les équations de régression présentées dans ce même tableau mettent en évidence l'importance du facteur 'culture' :

- l'ordonnée à l'origine est très variable (de -4 à 20 kg N-NO₃ ha⁻¹) et donc importante sur le résultat 0-90 cm en cas de résultat 0-30 cm très faible;
- la pente est assez peu variable (de 1.6 à 1.9). Elle n'a donc un impact significatif (en valeur absolue) sur le résultat 0-90 cm qu'en cas de résultat 0-30 cm élevé.

Tableau 52. Relation, en 2011, par classe de culture entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm.

Classe de culture	Coefficient de corrélation	Equation
C1	90,63%	Résultat 0-90cm = 1,91 + 1,9102 x Résultat 0-30cm
C2	85,25%	Résultat 0-90cm = 7,950 + 1,8294 x Résultat 0-30cm
C3	88,00%	Résultat 0-90cm = 8,77 + 1,7731 x Résultat 0-30cm
C4	89,19%	Résultat 0-90cm = 20,10 + 1,6354 x Résultat 0-30cm
C5	86,84%	Résultat 0-90cm = -4,54 + 1,9635 x Résultat 0-30cm
C6	93,44%	Résultat 0-90cm = 0,20 + 1,7511 x Résultat 0-30cm
C7	89,09%	Résultat 0-90cm = 18,72 + 1,808 x Résultat 0-30cm

8.2.3.4 Résultats pour le contrôle APL de 2012

Le tableau 53 livre un aperçu synthétique de l'effectif et de la distribution des résultats APL observés en parcelles cultivées lors du contrôle mené par le SPW en 2011. On y observe que les céréales (classes C2 et C3) représentent 48 % des parcelles échantillonnées. Le maïs est la deuxième culture en termes d'importance dans le contrôle : 33 %.

La betterave présente un quartile 3 nettement inférieure à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ (0-90 cm) et deux cultures (pomme de terre et colza) présentent un quartile 1 nettement supérieure à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ (0-90 cm). Donc, lors du contrôle APL 2012, il a été très fréquent d'observer des valeurs APL inférieures à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ en betterave et très rare d'en observer en pomme de terre et colza.

En ce qui concerne les prairies, 3 des 121 parcelles contrôlées ont présenté un APL (0-30 cm) supérieure à $40 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$.

Tableau 53. Synthèse des résultats du contrôle APL 2012.

Variable	Classe reliqu.	N	Mean	StDev	Q1	Median	Q3
Résultat 0-30cm	C1	112	9,282	6,347	6,050	7,605	10,497
	C2	377	13,932	11,902	6,195	10,000	17,220
	C3	402	21,147	13,792	11,038	17,335	27,558
	C4	543	24,171	16,960	14,120	20,000	29,000
	C5	148	29,06	15,34	19,41	26,00	36,17
	C6	31	29,46	10,81	23,00	30,30	36,00
	C7	9	23,24	15,15	14,64	16,74	37,00
	C8	121	10,385	8,738	4,000	8,000	13,395
Résultat total	C1	112	21,52	18,94	12,42	16,36	24,61
	C2	377	46,71	32,33	22,00	40,00	62,92
	C3	402	65,32	36,03	40,97	62,00	84,00
	C4	543	61,29	45,06	32,00	50,00	76,00
	C5	148	86,01	40,21	58,35	78,78	107,60
	C6	31	77,80	29,94	57,00	83,00	96,00
	C7	9	76,3	54,7	41,0	64,4	83,3
	C8	121	10,385	8,738	4,000	8,000	13,395

Dans la couche 0-30 cm, les figures 87 et 88 illustrent également le constat observé dans la couche 0-90 cm, à savoir une fréquence relativement élevée de faibles valeurs pour les classes C1 et C2 et une fréquence plus importante de valeurs relativement élevées pour les classes C5 et C6.

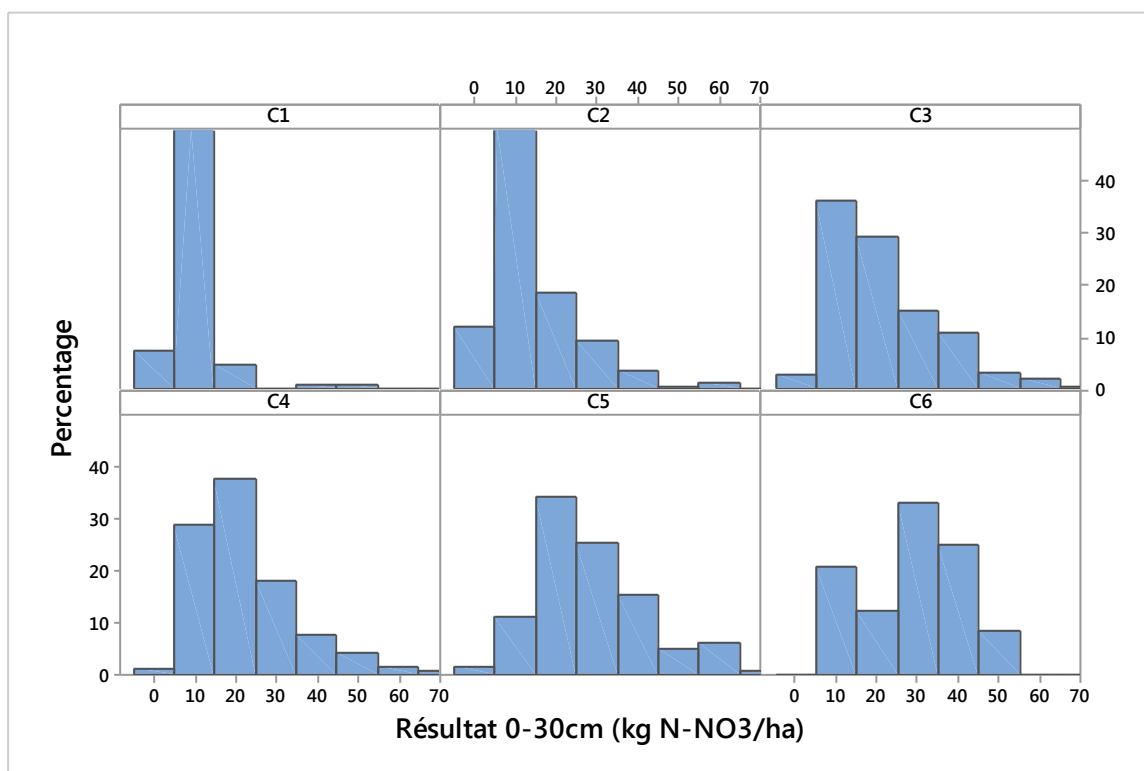


Figure 87. Histogramme, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2012.

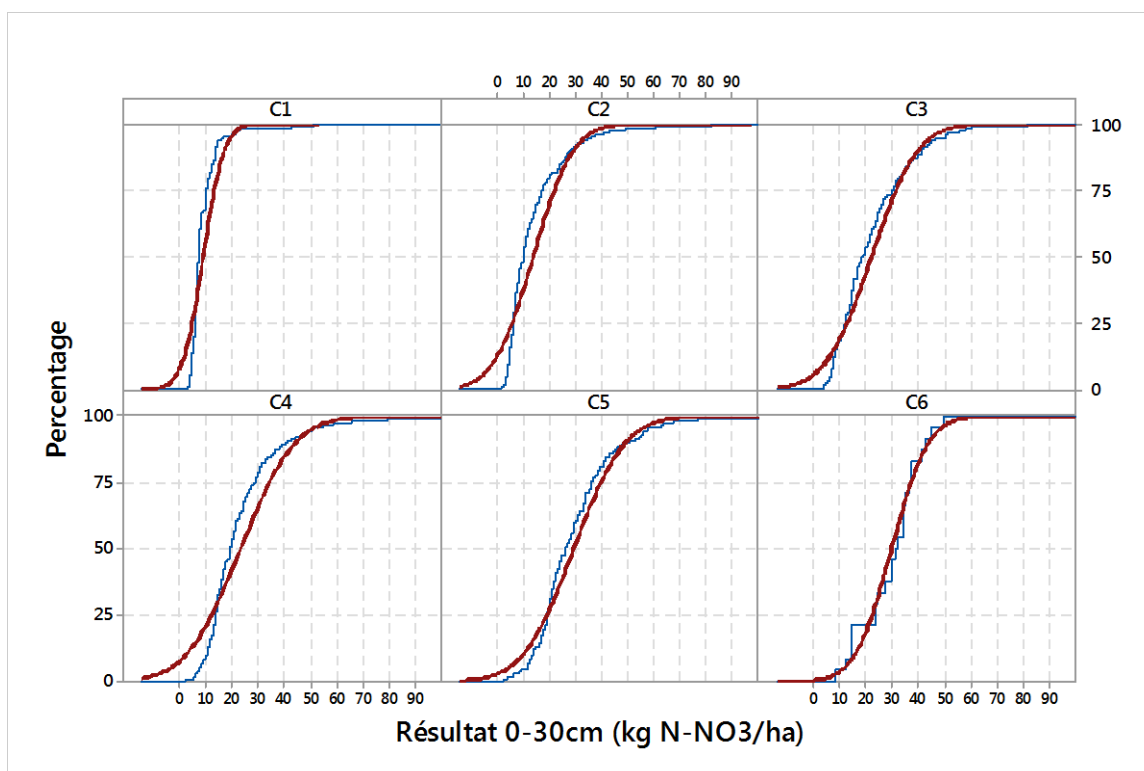


Figure 88. Distribution cumulée, par classe de culture, des APL 0-30 cm en 2012.

La figure 89 illustre la relation, pour les classe C1 à C6, entre le résultat de la mesure dans la couche 0-30 cm et le résultat dans la couche 0-90 cm.

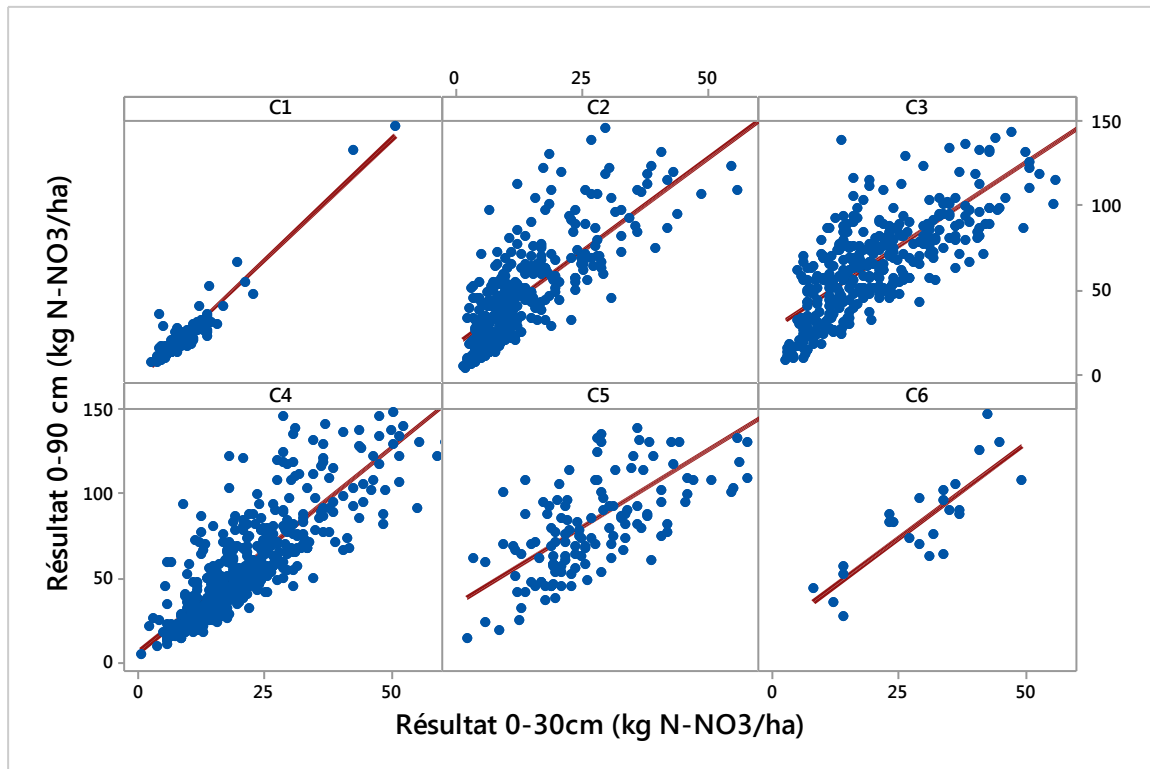


Figure 89. Relation, par classe de culture, entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm en 2012.

Ces relations sont visuellement moins bonnes que celles observées en 2011. Ceci est confirmé par des coefficients de corrélation compris, à une exception près, entre 51 et 75 % (tableau 54). Les équations de régression présentées dans ce même tableau mettent également en évidence l'importance du facteur 'culture' :

- l'ordonnée à l'origine est très variable (de -5 à 33 kg N-NO₃ ha⁻¹) et donc importante sur le résultat 0-90 cm en cas de résultat 0-30 cm très faible;
- la pente est également assez variable (de 1.9 à 2.9) et donc importante sur le résultat 0-90 cm en cas de résultat 0-30 cm élevé.

Tableau 54. Relation en 2012, par classe de culture, entre l'APL 0-30 cm et l'APL 0-90 cm.

Classe de reliquat	Coefficient de détermination	Equation
C1	91.04%	Résultat 0-90cm = -4,952 + 2,8502 x Résultat 0-30cm
C2	67.34%	Résultat 0-90cm = 16,21 + 2,2274 x Résultat 0-30cm
C3	59.70%	Résultat 0-90cm = 26,11 + 1,9890 x Résultat 0-30cm
C4	75.48%	Résultat 0-90cm = 4,66 + 2,4270 x Résultat 0-30cm
C5	51.71%	Résultat 0-90cm = 32,79 + 1,859 x Résultat 0-30cm
C6	70.70%	Résultat 0-90cm = 17,28 + 2,237 x Résultat 0-30cm
C7	effectif insuffisant	

8.2.3.5 Résultats pour les contrôles APL 2008 à 2013

Le paragraphe précédent a montré l'importance de l'effet année. A titre d'exemple, le tableau 55 illustre en fonction des équations utilisées, les écarts d'estimation.

Tableau 55. Estimation du résultat APL 0-90 cm (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹), par classe de culture, à partir des équations établies en 2011 et 2012 (en rouge, les valeurs inférieures à 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹).

Année	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Culture	C1	C1	C2	C2	C3	C3	C4	C4	C5	C5	C6	C6
0-30 cm	0-90 cm											
5	11	9	17	27	18	36	28	17	5	42	9	28
10	21	24	26	39	26	46	36	29	15	51	18	40
15	31	38	35	50	35	56	44	41	25	61	26	51
20	40	52	45	61	44	66	53	53	35	70	35	62
25	50	66	54	72	53	76	61	65	44	79	44	73

Cependant, tenir compte d'un effet année implique que le débriefing des résultats avec les agriculteurs ne peut se faire qu'après avoir établi les équations de régressions sur base des contrôles APL ; ce débriefing n'aurait donc lieu qu'en fin de printemps, après que les fertilisations aient été appliquées sur les cultures suivantes. Une année culturale serait donc perdue si « le tir » devait être corrigé.

Pour 'diluer' au maximum l'effet année, tous les résultats des contrôles APL réalisés entre 2008 et 2013 ont été rassemblés dans une seule base de données.

Des régressions (linéaires et quadratiques) ont été calculées pour la betterave (APL généralement faible) et pour le maïs (APL généralement élevé), soit pour le jeu de données complet, soit pour les données dont le résultat (0-90 cm) était compris entre 20 et 60 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

Les erreurs (écart entre la prédiction et la mesure, en valeur absolue ou pas) d'estimation ont été calculées pour ces deux cultures et pour les deux jeux de données par culture.

Pour le maïs, le tableau 56 indique une erreur (différence entre l'observation et l'estimation) médiane absolue comprise entre 11 et 17 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ et une erreur médiane toujours négative, ce qui signifie une surestimation générale de l'APL.

Tableau 56. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en maïs sur le jeu de données complet.

Variable	Annee	N	Mean	StDev	Q1	Median	Q3
erreur abs	2008	233	16,85	15,54	7,58	13,45	20,23
	2009	130	14,66	15,06	5,81	11,06	18,84
	2010	227	24,46	26,10	8,60	17,01	30,47
	2011	322	21,74	18,58	8,92	18,45	28,23
	2012	506	17,424	18,293	7,350	13,958	20,406
	2013	460	17,885	20,322	6,624	12,930	21,143
	erreur	2008	233	0,56	22,94	-15,66	-5,24
2009		130	-4,78	20,50	-16,98	-8,42	-0,20
2010		227	7,35	35,04	-14,15	-1,98	20,81
2011		322	-7,57	27,59	-23,19	-11,02	5,75
2012		506	0,03	25,28	-15,68	-7,67	6,96
2013		460	2,71	26,95	-13,98	-4,22	10,90

L'objectif étant d'estimer au mieux l'APL autour de 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹, la régression calculée sur un jeu de données réduit (résultats 0-90 cm compris entre 20 et 60 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) permet d'améliorer la prédiction en diminuant de moitié l'erreur dans cette gamme de résultats choisie (tableau 57).

Tableau 57. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en maïs sur le jeu de données réduit.

Variable	Annee	N	Mean	StDev	Q1	Median	Q3
erreur abs	2008	104	6,482	4,353	2,739	6,166	10,338
	2009	79	7,182	4,600	3,561	6,722	10,417
	2010	83	7,516	5,627	3,278	6,688	10,935
	2011	55	5,789	3,474	2,350	6,128	8,618
	2012	289	7,348	4,799	3,491	6,857	10,180
	2013	227	7,821	5,332	3,612	7,057	11,210
erreur	2008	104	-0,944	7,776	-7,131	-0,403	3,881
	2009	79	1,190	8,484	-5,459	0,532	7,858
	2010	83	1,18	9,35	-6,92	-0,23	6,69
	2011	55	-4,049	5,432	-8,056	-5,672	-0,499
	2012	289	-0,957	8,735	-8,488	-2,261	5,142
	2013	227	1,766	9,313	-5,972	1,236	8,388

Lorsque l'APL est généralement peu élevé (cas de la betterave), on observe une erreur logiquement plus faible sur l'entièreté du jeu de données (tableau 58).

Tableau 58. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en betterave sur le jeu de données complet.

Variable	Annee	N	Mean	StDev	Q1	Median	Q3
erreur abs	2008	56	5,28	7,63	1,65	3,49	6,50
	2009	43	7,61	11,45	1,58	3,43	8,50
	2010	83	6,73	9,79	1,72	4,04	6,67
	2011	180	7,118	8,211	2,104	4,368	8,544
	2012	111	4,691	6,983	2,018	3,237	4,368
	2013	98	4,933	5,833	1,815	3,202	5,614
erreur	2008	56	-1,11	9,23	-4,17	-1,21	1,83
	2009	43	0,02	13,80	-4,85	-1,58	1,63
	2010	83	3,35	11,42	-2,90	0,76	5,94
	2011	180	-1,509	10,774	-5,862	-2,990	0,186
	2012	111	0,056	8,424	-4,107	-2,498	1,045
	2013	98	0,492	7,639	-4,027	-1,906	1,819

La réduction du jeu de données n'améliore, dans ce cas-ci (APL peu élevés), pas clairement la qualité de la prédiction (tableau 59).

Tableau 59. Statistique descriptive des erreurs d'estimation en betterave sur le jeu de données réduit.

Variable	Annee	N	Mean	StDev	Q1	Median	Q3
erreur abs	2008	38	5,993	5,572	3,200	4,937	6,733
	2009	21	5,20	5,33	1,51	3,85	7,96
	2010	55	5,302	5,021	2,085	3,915	6,478
	2011	91	5,049	4,149	2,080	4,111	7,309
	2012	36	4,835	4,326	1,505	3,992	6,133
	2013	39	5,504	5,164	1,915	3,799	7,585
erreur	2008	38	-0,72	8,21	-4,96	-2,16	4,98
	2009	21	2,28	7,17	-2,76	0,56	7,62
	2010	55	1,707	7,132	-3,565	-0,130	5,825
	2011	91	-1,386	6,407	-5,371	-2,302	0,553
	2012	36	0,12	6,54	-4,16	-1,28	2,61
	2013	39	0,18	7,60	-4,44	-1,91	3,13

8.2.4 Synthèse et conclusion

L'étude des données variabilité interannuelle importante de la droite de régression : un résultat dans la couche 0-30 cm de 20 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹, en betterave donne 52 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ en 2012 et 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ en 2011.

En faisant fi du facteur année et en concentrant l'étude de l'estimation sur la tranche 20 - 60 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ (en dehors de cette fourchette, l'erreur peut être importante puisqu'on est de toute façon assez éloigné de la valeur pivot de 40 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹), pour une culture telle que le maïs (APL et variabilité relativement élevés), dans 25 % des situations (quartile 1) l'erreur d'estimation est inférieure à 3 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ et dans 75 % des situations (quartile 3), l'erreur d'estimation est inférieure à 10 kg N-NO₃⁻ ha⁻¹.

Pour une culture telle que la betterave (APL faible), le niveau d'erreur est quasiment réduit de moitié.

Au vu de cette première approche qui pourrait être ultérieurement complétée pour les autres classes de culture et améliorée par l'intégration d'autres paramètres (tels que la région agricole), voire à terme, en choisissant les équations dans une base de données d'équations 'antérieures' sur base d'une similarité climatique, il apparaît que dans le contexte de l'octroi d'une prime (démarche volontaire de l'agriculteur, aux conditions fixées par l'organisme payeur) l'estimation d'un APL sur la couche 0-90 cm puisse être réalisée de façon suffisamment précise sur base d'une mesure dans la couche 0-30 cm.

8.3 Code « culture » affecté à chaque culture du SIGEC (2009 – 2013), correspondant à la concaténation des codes des groupes définis aux tableaux 1 et 2, sur base des critères d'évaluation « APL mesuré dans le sol en automne » et « période de semis et date de récolte des cultures »

ID Culture	Nom Culture	Classe APL	Classe Période de semis / Date de récolte	Code Risque
1	Etables - Batiments	0	0	00
201	Mais ensilage	2	1	21
202	Mais grain	2	1	21
311	Froment d'hiver	1	2	12
312	Froment de printemps ou froment alternatif	1	1	11
321	Orge d'hiver	1	2	12
322	Orge de printemps	1	1	11
323	Orge de brasserie	1	1	11
331	Seigle d'hiver	1	2	12
332	Seigle de printemps	1	1	11
34	Avoine	1	1	11
35	Triticale	1	2	12
36	Epeautre	1	2	12
37	Sarrasin	1	1	11
38	Autres cereales (Sorgho, millet, alpiste et ble dur)	1	1	11
39	Melange de cereales	1	2	12
411	Colza et navette d'hiver	3	2	32
412	Colza et navette de Printemps	3	1	31
42	Tournesol	2	1	21
43	Soja	3	1	31
45	Lin oleagineux	2	1	21
51	Pois (recoltes en sec)	3	3	33
52	Fèves et fèveroles (recoltees en sec)	3	3	33
53	Lupin doux	3	1	31
54	Mélange protéagineux (culture principale) + céréales	3	2	32
61	Prairie permanente	3	0	30
611	Prairie permanente au moins paturee une fois	3	0	30
612	Prairie permanente non paturee	3	0	30
613	Pâturage à statut particulier	3	0	30
62	Prairie temporaire	1	0	10
621	Prairie temporaire au moins paturee une fois	1	0	10
622	Prairie temporaire non paturee	1	0	10
636	Ray grass	1	1	11
643	Moutarde jaune	1	1	11
701	pas utilise en RW	0	0	00
71	Betterave fourragère	1	1	11
72	Trèfle	1	1	11
721	Trèfle annuel	1	1	11
73	Luzerne	1	2	12
731	Luzerne annuelle	1	2	12
741	Colza fourrager (feuille de chou)	3	2	32
742	Carotte fourragère	1	1	11
743	Autres fourrages	2	1	21
7431	Ortie	1	1	11
745	Mélange de graminées et légumineuses	1	0	10
751	Tournière enherbée	1	0	10
81	Couvert naturel	1	0	10
82	Couvert de graminees	1	0	10
821	Graminées fourragères uniquement pour la production de semences bio	1	0	10
83	Couvert de legumineuses	1	0	10
831	Pois (autres que récoltés secs)	3	3	33
832	Fèves et fèveroles (autres que récoltés secs)	3	3	33
84	Couvert graminees + legumineuses	1	0	10
8410	Haricots mange-tout	3	1	31
85	Autres couvertures (Moutarde, Phacelie, etc...)	1	1	11
851	Couvert a base d'un melange certifie de semences avec au moins 20pc de chaque famille	1	1	11
8512	Choux de Bruxelles	1	1	11
8515	Chicons (pour le feuillage)	1	1	11
8517	Rhubarbe	1	2	12
8519	Epinard	3	1	31
852	Mélange jachère faune (autre que 851)	1	0	10
8523	Chou-fleur	1	1	11

ID Culture	Nom Culture	Classe APL	Classe Période de semis / Date de récolte	Code Risque
8535	Carotte (non hâtive) (consommation)	1	1	11
8561	Chicon (pour la racine)	2	1	21
86	Autres couverts permettant l'utilisation de droits ordinaires (moutarde, ...)	1	1	11
861	Colza non alimentaire d'hiver	3	2	32
862	Colza non alimentaire de printemps	3	1	31
87	Terres retirées de la production / couvert à finalité environnementale rénuméré par des tiers	1	0	10
872	Chanvre non textile	2	1	21
873	Terres retirées de la production	1	0	10
874	Couvert à finalité environnementale rénuméré par des tiers	1	0	10
881	Angelique	0	0	00
882	Cultures non alimentaires de l'annexe 5 bis	0	0	00
883	Cultures forestières à rotation courte	3	0	30
884	Miscanthus	3	0	30
891	Boisement	1	0	10
893	Terres non agricoles en couvert forestier	3	0	30
895	Boisement de terre agricole (art 31 du R.(CE) 1257/1999 - dérogation	1	0	10
90	Pommes de terre	3	1	31
901	Pomme de terre de consommation	3	1	31
902	Pomme de terre (Plants)	3	3	33
903	Pomme de terre féculière	3	1	31
904	Pomme de terre (arrachage avant le 1er août)	3	3	33
905	Pomme de terre (primeur, arrachage avant le 20 juin)	3	3	33
91	Betterave sucrière	1	1	11
92	Noisettes et noix	1	0	10
9201	Noisetier	3	0	30
9202	Noyer	3	0	30
921	Lin textile	1	1	11
922	Chanvre textile	2	1	21
931	Pois (non récoltes secs)	3	3	33
932	Fèves et fêveroles (non récoltes en sec)	3	3	33
94	Haricots	3	1	31
95	Légumineuses annuelles	1	0	10
951	Cultures maraichères	3	1	31
9514	Oignon (non hâtif)	3	1	31
9515	Chicon	1	1	11
952	Cultures maraichères sous verre	0	0	00
9520	Pépinières de plants fruitiers ou de plantes ornementales	3	0	30
953	Plantes aromatiques	1	0	10
9535	Carotte (de consommation - non primeur)	1	1	11
9560	Pépinières de plants forestiers	3	0	30
957	Plantes médicinales	3	0	30
9585	Pépinière - plants forestiers	3	0	30
9586	Pépinière - arbres fruitiers	3	0	30
96	Cultures horticoles non comestibles	3	1	31
962	Sapins de Noël	3	0	30
966	Légumes légumineuses	3	1	31
967	Légumes à racine	1	1	11
971	Cultures fruitières pluri-annuelles	1	0	10
9710	Cultures fruitières pluri-annuelles (pommes)	1	0	10
9716	Vignes	1	0	10
972	Cultures fruitières annuelles	3	2	32
981	Chicoree	2	1	21
9811	Chicorée à inuline	2	1	21
9812	Chicorée à café	2	1	21
982	Autres couvertures végétales	0	0	00
9821	Tabac	2	1	21
9822	Houblon	2	1	21
9824	Graminée en gestion de la nature	1	0	10
99	Cultures inconnues	0	0	00
991	Parcelle bâtie (zoning, lotissement, habitation, ... y compris terrassement)	0	0	00
9943	Parcelle couverte ou plantée d'arbres ou d'arbustes	1	0	10

8.4 Evaluation du risque de lixiviation du nitrate lié aux types de successions culturales pratiquées sur les terres agricoles wallonnes entre 1999 et 2013

Culture 1	CIPAN possible	Culture 2	Risque	Exemple
10	non	10	1	Prairie temporaire - Prairie temporaire
10	non	30	1	Prairie temporaire - Prairie permanente
10	non	11	3	Prairie temporaire - Betterave sucrière
10	non	12	3	Prairie temporaire - Froment d'hiver
10	non	21	3	Prairie temporaire - Maïs
10	non	32	3	Prairie temporaire - Colza
10	non	31	4	Prairie temporaire - Pomme de terre
10	non	33	4	Prairie temporaire - Pomme de terre (Plants)
11	non	10	2	Betterave sucrière - Prairie temporaire
11	non	11	2	Betterave sucrière - Betterave sucrière
11	non	12	2	Betterave sucrière - Froment d'hiver
11	non	21	2	Betterave sucrière - Maïs
11	non	30	2	Betterave sucrière - Prairie permanente
11	non	31	2	Betterave sucrière - Pomme de terre
11	non	33	2	Betterave sucrière - Pomme de terre (Plants)
12	non	10	2	Froment d'hiver - Prairie temporaire
12	oui	11	2	Froment d'hiver - Betterave sucrière
12	oui	21	2	Froment d'hiver - Maïs
12	non	30	2	Froment d'hiver - Prairie permanente
12	oui	31	2	Froment d'hiver - Pomme de terre
12	non	32	2	Froment d'hiver - Colza
12	oui	33	2	Froment d'hiver - Pomme de terre (Plants)
12	non	12	3	Froment d'hiver - Froment d'hiver
21	non	12	3	Maïs - Froment d'hiver
21	non	32	3	Maïs - Colza
21	non	10	4	Maïs - Prairie temporaire
21	non	30	4	Maïs - Prairie permanente
21	non	11	4	Maïs - Betterave sucrière
21	non	21	4	Maïs - Maïs
21	non	31	4	Maïs - Pomme de terre
21	non	33	4	Maïs - Pomme de terre (Plants)
30	non	30	1	Prairie permanente - Prairie permanente
30	non	10	4	Prairie permanente - Prairie temporaire
30	non	11	4	Prairie permanente - Betterave sucrière
30	non	12	5	Prairie permanente - Froment d'hiver
30	non	21	5	Prairie permanente - Maïs
30	non	31	5	Prairie permanente - Pomme de terre
30	non	32	5	Prairie permanente - Colza
30	non	33	5	Prairie permanente - Pomme de terre (Plants)
31	non	32	3	Pomme de terre - Colza
31	non	12	4	Pomme de terre - Froment d'hiver
31	non	30	2	Cultures maraichères - Prairie permanente
31	non	32	4	Pomme de terre - Colza
31	non	10	5	Pomme de terre - Prairie temporaire
31	non	11	5	Pomme de terre - Betterave sucrière
31	non	21	5	Pomme de terre - Maïs
31	non	31	5	Pomme de terre - haricot
31	non	33	5	Pomme de terre - Pomme de terre (Plants)
32	non	10	3	Colza - Prairie temporaire
32	oui	11	3	Colza - Betterave sucrière
32	oui	21	3	Colza - Maïs
32	non	30	2	Colza - Prairie permanente
32	oui	31	3	Colza - Pomme de terre
32	non	32	3	Colza - Colza
32	oui	33	3	Colza - Pomme de terre (Plants)
32	non	12	4	Colza - Froment d'hiver
33	oui	10	2	Pomme de terre (Plants) - Prairie temporaire
33	oui	11	2	Pomme de terre (Plants) - Betterave sucrière
33	oui	21	2	Pomme de terre (Plants) - Maïs
33	non	30	2	Fèves - Prairie permanente
33	oui	31	2	Pomme de terre (Plants) - Pomme de terre
33	non	32	3	Pomme de terre (Plants) - Colza
33	non	12	4	Pomme de terre (Plants) - Froment d'hiver

8.5 APL – effectif minimum pour l'établissement d'une moyenne à l'échelle de la ZAC

8.5.1 Méthodologie

Dans le cadre de l'estimation de l'APL moyen à l'échelle de la ZAC, le nombre d'observations nécessaires pour atteindre une précision donnée peut être déterminé à partir de l'intervalle de confiance, puisque la longueur de cet intervalle est directement fonction de l'effectif de l'échantillon considéré.

En pratique, quand n est suffisamment grand (de l'ordre de 30 au moins) et pour un degré de confiance égal à 0,95, l'équation suivante peut être utilisée pour déterminer le nombre de mesures nécessaires (Dagnélie, 1998) :

$$n \cong 4 \times \sigma^2 / d_r^2 \quad (\text{éq. 5})$$

Où σ^2 est la variance totale « APL » estimée de l'échantillon et d_r est la marge d'erreur (erreur maximum de précision).

Pour une ZAC donnée, la variance totale estimée de l'échantillon ($\sigma^2_{\text{totale ZAC}}$) est la somme de la variance intra-parcellaire ($\sigma^2_{\text{intra-parcelle ZAC}}$; liée à l'échantillonnage composite réalisé à l'échelle de la parcelle) et de la variance inter-parcellaire ($\sigma^2_{\text{inter-parcelle ZAC}}$), calculée sur base des observations APL réalisées à l'échelle des zones agro-pédologiques wallonnes situées en totalité ou en partie en zone vulnérable, pour lesquelles des mesures de contrôle APL sont disponibles (figure 90) :

$$\sigma^2_{\text{totale ZAC}} = \sigma^2_{\text{intra-parcelle ZAC}} + \sigma^2_{\text{inter-parcelle ZAC}} \quad (\text{éq. 6})$$

La variabilité spatiale intra-parcellaire a été déterminée à partir de l'étude de Vandenberghe *et al.* (2002) qui fixe la densité d'échantillonnage nécessaire afin de réduire le biais engendré sur le résultat d'analyse APL lors du prélèvement à la parcelle. La variabilité spatiale intra-parcellaire a été calculée à partir des variances observées à l'échelle de deux parcelles (Sites Poucet et Biesmerée) situées au sein des "sites de références" du Survey Surface Agricole (SSA) mis en place par GRENeRA dans le cadre de la caractérisation régionale des sols agricoles. Ces sites de références sont définis comme des aires-échantillons représentatives de régions naturelles. La variabilité intra-parcellaire est calculée comme étant la moyenne des variances observées dans chacune des parcelles étudiées :

$$\sigma^2_{\text{intra-parcelle}} = \frac{\sigma^2_{\text{parcelle 1}} + \sigma^2_{\text{parcelle 2}}}{2} \quad (\text{éq. 7})$$

Avec $\sigma^2_{\text{parcelle 1}}$ la variance observée dans la parcelle 1, liée à la densité d'échantillonnage et $\sigma^2_{\text{parcelle 2}}$ le même type de variance observée dans la parcelle 2. La variance $\sigma^2_{\text{intra-parcelle}}$ est considérée comme étant la variabilité intra-parcelle observée en région wallonne quelle que soit la zone étudiée (tableau 60).

Tableau 60. Ecart-types considérés pour le calcul de l'écart-type moyen considéré comme l'écart-type intra-parcellaire à l'échelle de la Wallonie.

Sites	Ecart-type ($\sqrt{\sigma^2}$) ⁷⁵ (kg N NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)
Parcelle 1 (site Poucet)	33,8
Parcelle 2 (site Biesmerée)	9,1
Moyenne (Ecart-type intra-parcellaire - Wallonie)	24,8

La variabilité inter-parcellaire à l'échelle d'une ZAC ($\sigma_{inter-parcelle\ ZAC}^2$) est calculée comme suit :

$$\sigma_{inter-parcelle\ ZAC}^2 = \left(1 - \frac{N_{APL\ ZAC}}{N_{parcelles\ ZAC}}\right) * \sigma_{inter-parcelle\ ZP}^2 \quad (\text{éq. 8})$$

Avec $N_{APL\ ZAC}$ le nombre de données du contrôle APL disponibles dans la ZAC, $N_{parcelles\ ZAC}$ le nombre de parcelles de la ZAC et $\sigma_{inter-parcelle\ ZP}^2$ la moyenne pondérée des variances « APL » observées au sein des zones agro-pédologiques situées en zone vulnérable (figure 90), calculée comme suit :

$$\sigma_{inter-parcelle\ ZP}^2 = \frac{N_{APL-ZP1} * \sigma_{ZP1}^2 + N_{APL-ZP2} * \sigma_{ZP2}^2 + \dots + N_{APL-ZPn} * \sigma_{ZPn}^2}{N_{APL-ZP1} + N_{APL-ZP2} + \dots + N_{APL-ZPn}} \quad (\text{éq. 9})$$

Avec σ_{ZP}^2 la variance « APL » observée à l'échelle d'une zone agro-pédologique donnée et N_{APL-ZP} le nombre de données de contrôle APL disponibles dans une zone agro-pédologique. Comme pour la moyenne, la variance APL à l'échelle d'une zone agro-pédologique a été pondérée par les parts en surface des cultures et prairies avec des mesures APL au sein de la zone agro-pédologique considérée.

Le tableau 61 reprend les écart-types par rapport aux APL moyens pondérés calculés à l'échelle des zones agro-pédologiques couvrant la zone vulnérable.

⁷⁵ L'écart-type correspond à la racine carrée de la variance.

Tableau 61. Nombre de données APL disponibles, APL moyen pondéré par les parts des cultures, écart-type inter-parcelle à l'échelle des zones agro-pédologiques et écart-type moyen pondéré global sur base des zones agro-pédologiques couvrant la zone vulnérable de Wallonie.

Zone agro-pédologique	Nombre de données « APL » disponibles ⁷⁶	APL moyen pondéré ⁷⁷ (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)	Ecart-type ($\sqrt{\sigma_{inter-parcelle}^2 ZP}$) (kg N-NO ₃ ⁻ ha ⁻¹)
Condroz	1.171	39,6	42,2
Famenne	569	31,5	37,8
Herbagère (Liège)	232	43,1	26,3
Limoneuse humide	2.488	61,7	47,9
Limoneuse sèche	3.055	56,3	42,2
Pays de Herve	413	44,3	38,8
Sablo-limoneuse	985	68,8	46,1
Ecart-type moyen pondéré global ($\sqrt{\sigma_{inter-parcelle}^2 ZP}$)			49,5

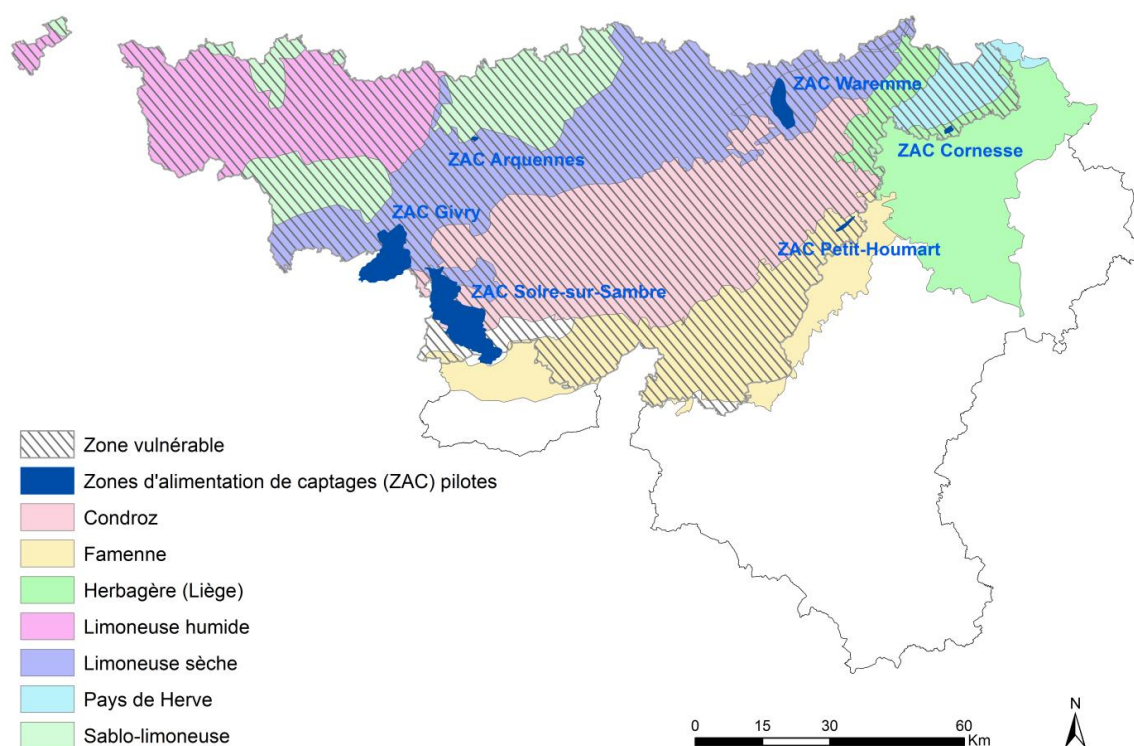


Figure 90. Zones agro-pédologiques situées en zone vulnérable, ayant servi pour le calcul de la variabilité inter-parcellaire des données APL.

⁷⁶ Données du contrôle APL du SPW, de 2007 à 2013.

⁷⁷ Par les parts en surface des cultures et prairies de chaque zone agro-pédologique.

8.5.2 Application aux six ZAC pilotes

Le tableau 62 fournit la superficie (ha) de chaque ZAC, le nombre de données APL actuellement disponibles dans chaque ZAC, le nombre de parcelles, l'APL moyen pondéré par les parts des cultures et prairies, ainsi que le nombre minimal d'observations/échantillons nécessaires pour une erreur de précision de $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ autour de la « vraie valeur » de l'APL moyen de la ZAC, pour un niveau de confiance de 95 % (éq. 5).

Tableau 62. Superficie (ha), nombre de données APL disponibles, nombre de parcelles dans la ZAC, APL moyen pondéré ($\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$) et Nombre de données « APL » minimum nécessaires pour l'estimation de l'APL moyen à l'échelle des six ZAC pilotes, pour une erreur maximale (précision) de $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ autour de la moyenne.

ZAC	Superficie (ha)	Nombre de données « APL » disponibles ⁷⁸	Nombre de parcelles dans la ZAC	APL moyen pondéré ⁷⁹ ($\text{kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$)	Nombre de données « APL » nécessaires pour une erreur de $10 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ autour de la moyenne
Arquennes	103,7	3	31	22,4	29
Cornesse	202,9	10	53	45,7	41
Givry	8.496,8	33	1.035	60,8	94
Solre-sur-Sambre	14.506,5	55	2.944	28,5	98
Waremme	3.307,1	42	683	71,2	91
Petit Houmart	291,2	1	83	12,7	53

⁷⁸ Données du contrôle APL du SPW, de 2007 à 2013.

⁷⁹ Par les parts en surface des cultures et prairies de chaque ZAC.

8.6 Contenu du DVD des différents outils développés

L'ensemble des rapports et résultats fournis à la SPGE et à la SWDE sont repris dans un DVD joint au présent rapport.

Le contenu et l'arborescence des dossiers du DVD sont détaillés au tableau 63.

Tableau 63. Arborescence des dossiers et contenu du DVD des données et résultats du projet.

Dossiers	Contenus (nom des fichiers)	Description
Rapports		
Rapport_intermédiaire décembre_2014	RI_Faitier_captages20141212.pdf	Rapport d'activités intermédiaire faitier
	RI_Logigrammes_actions_captages20141212.pdf	Rapport présentant les logigrammes d'actions
	RI_Successions_culturelles_captages20141212.pdf	Rapport décrivant la méthodologie d'évaluation du risque lié aux successions culturelles
Rapport_final_octobre_2015	RF_Captages_GRENERA_201510XX	Rapport d'activités final
	RF_Faitier_captages201510XX.pdf	Rapport d'activités final faitier
Outils		
Logigrammes	Logigrammes_Captages_v1.4_ProgrammeN1.pdf Logigrammes_Captages_v1.4_ProgrammeN2.pdf Logigrammes_Captages_v1.4_ProgrammeN3.pdf	Logigrammes principal et logigrammes d'actions N1 et N2 et N3 reprenant les programmes de restauration de la qualité de l'eau
SAU	COSW.gdb	Base de données géographiques (Geodatabase) reprenant la COSW V2_07 à l'échelle de la Wallonie ainsi que sur les ZAC des 6 sites pilotes
	SIGeC_2009_2013.gdb	Base de données géographiques (Geodatabase) reprenant le SIGEC de 2009 à 2013 (cinq dernières années) de la Wallonie ainsi que sur les ZAC des 6 sites pilotes
	SAU_Surface_ZAC.pdf	Fichier reprenant les superficies et les SAU des ZAC des six sites pilotes
APL_moyen	XY_APL2007_2013_Merge.xlsx	Base de données reprenant les résultats du contrôle APL de 2007 à 2013
	Samplesize_final.R Function_Erreur_mesure_pondere.R FunctClasseAPL.R FunctClasseCult.R	Programmes développés avec le logiciel R pour le calcul du nombre d'observations « APL » minimum nécessaires pour le calcul de la moyenne pondérée avec une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO ₃ ha ⁻¹
Successions_Culturelles	Success_cult_Wallonie.png	Carte des successions culturelles à l'échelle de la Wallonie
	Success_cult_APL_Arquennes.png Success_cult_APL_Cornesse.png Success_cult_APL_Givry.png	Carte des successions culturelles à l'échelle des ZAC des 6 sites pilotes

Dossiers	Contenus (nom des fichiers)	Description
	Success_cult_APL_Solre.png Success_cult_APL_Waremme.png Success_cult_APL_PetitHoumart.png	
	Success_cult.mxd	Projet « Arcmap » pour la cartographie du risque lié aux successions culturelles
	SuccessCult.gdb	Base de données géographiques (Geodatabase) reprenant les couches cartographiques (shapefiles) du risque lié aux successions culturelles à l'échelle de la Wallonie et des 6 ZAC pilotes
Sensibilité_Sols	SensibSols_Wallonie.png	Carte de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Wallonie
	SensibSols_ZacArquennes.png SensibSols_ZacCornesse.png SensibSols_ZacGivry.png SensibSols_ZacSolre.png SensibSols_ZacWaremme.png SensibSols_ZacPetitHoumart.png	Carte de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle des ZAC des 6 sites pilotes
	SensibSols.mxd	Projet « Arcmap » pour la cartographie de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate
	SensibiliteSols.gdb	Base de données géographiques (Geodatabase) reprenant les couches cartographiques (shapefiles) de la sensibilité des sols à la lixiviation du nitrate à l'échelle de la Wallonie et des 6 ZAC pilotes