

ETUDE DE FAISABILITÉ POUR
L'UTILISATION DES BASSINS VERSANTS
PILOTES D'ARQUENNES COMME
OBSERVATOIRE
AGROENVIRONNEMENTAL
&
PERTINENCE DU BILAN AZOTÉ À L'ÉCHELLE
RÉGIONALE



RAPPORT FINAL

DECEMBRE 2011



Ce rapport doit être cité de la manière suivante :

Vandenberghe C., Deneufbourg M., Bachelart F., Marcoen J.M., 2011. Etude de faisabilité pour l'utilisation des bassins versants pilotes d'Arquennes comme observatoire agroenvironnemental et pertinence du bilan azoté à l'échelle régionale . Convention financée par le SPW (DGO3). ULg Gembloux Agro-Bio Tech. 91 p.

TABLE DES MATIÈRES

	LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET PHOTOS.....	5
1	L'ÉTUDE	9
1.1	CONTEXTE.....	9
1.2	DURÉE DE LA MISSION	9
1.3	PROGRAMME DE TRAVAIL.....	9
2	CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES DEUX BASSINS PILOTES	10
2.1	LOCALISATION D'ARQUENNES	10
2.2	CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE.....	10
	2.2.1 <i>Masses d'eau</i>	10
	2.2.2 <i>Bassins hydrographiques</i>	12
2.3	CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE.....	13
2.4	CONTEXTES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	14
2.5	CONTEXTE PÉDOLOGIQUE.....	15
2.6	CONTEXTE CLIMATIQUE	16
2.7	CONTEXTE AGRICOLE	17
2.8	INFRASTRUCTURES PRÉSENTES SUR LE BASSIN VERSANT	18
	2.8.1 <i>Prises d'eau, galeries et bassin déboureur de la SWDE</i>	18
	2.8.2 <i>Piézométrie</i>	19
2.9	ESSAIS DE TRAÇAGE ET QUALITÉ DE L'EAU.....	20
	2.9.1 <i>Essais de traçage (en milieux saturé et non saturé)</i>	20
	2.9.2 <i>Suivi de la qualité de l'eau dans les prises d'eau</i>	22
3	LES PROBLÉMATIQUES ENVIRONNEMENTALES.....	27
4	L'ÉROSION ET LE RUISSELLEMENT	29
5	LA MATIÈRE ORGANIQUE.....	31
6	LES CONTAMINATIONS.....	33
6.1	LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES.....	33
6.2	LES HYDROCARBURES AROMATIQUES	34
6.3	LES HYDROCARBURES CHLORÉS.....	35
6.4	LES ANTIBIOTIQUES.....	35
6.5	LES PESTICIDES.....	35
	6.5.1 <i>La situation en région wallonne</i>	36
	6.5.2 <i>Brève description des principaux pesticides</i>	37
	6.5.3 <i>Occurrence à Arquennes</i>	40
6.6	L'AZOTE.....	45
6.7	LE PHOSPHORE	46
7	L'IMPERMÉABILISATION.....	48

8	LE TASSEMENT	48
9	LA BIODIVERSITÉ	49
10	INTÉRÊT DU BASSIN VERSANT D'ARQUENNES DANS L'ÉTUDE DES PROBLÉMATIQUES ENVIRONNEMENTALES.....	52
10.1	MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION	52
10.2	APPLICATION AUX BASSINS VERSANTS D'ARQUENNES	53
	<i>10.2.1 L'érosion et le ruissellement.....</i>	<i>53</i>
	<i>10.2.2 La matière organique</i>	<i>54</i>
	<i>10.2.3 Les ETMs et hydrocarbures.....</i>	<i>55</i>
	<i>10.2.4 Les pesticides</i>	<i>56</i>
	<i>10.2.5 L'azote</i>	<i>57</i>
	<i>10.2.6 Le phosphore</i>	<i>59</i>
	<i>10.2.7 Le tassement.....</i>	<i>60</i>
	<i>10.2.8 La biodiversité</i>	<i>62</i>
10.3	CONCLUSION	63
11	EVALUATION DE LA PERTINENCE DU BILAN D'AZOTE SELON LA MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE PAR LE SPF ECONOMIE.....	65
11.1	ETABLISSEMENT DU BILAN AZOTÉ ANNUEL PAR LE SPF ECONOMIE À L'ÉCHELLE DE LA RÉGION WALLONNE ET DES ARRONDISSEMENTS ADMINISTRATIFS.....	65
	<i>11.1.1 Généralités.....</i>	<i>65</i>
	<i>11.1.2 Description des différents termes du bilan</i>	<i>66</i>
11.2	ETABLISSEMENT DU BILAN AZOTÉ ANNUEL À L'ÉCHELLE DES BASSINS D'ARQUENNES	70
11.3	COMPARAISON DES BILANS AZOTÉS ÉTABLIS À L'ÉCHELLE DES BASSINS D'ARQUENNES, DU DISTRICT DE NIVELLES ET DE LA RÉGION WALLONNE.....	73
11.4	CORRESPONDANCE DE LA QUALITÉ DE L'EAU ET DU SOLDE DU BILAN D'AZOTE PAR ARRONDISSEMENT ADMINISTRATIF EN RÉGION WALLONNE	76
	<i>11.4.1 Présentation des données</i>	<i>76</i>
	<i>11.4.2 Analyse des cartes.....</i>	<i>78</i>
	<i>11.4.3 Analyse des graphiques de corrélation.....</i>	<i>82</i>
	<i>11.4.4 Conclusion.....</i>	<i>85</i>
11.5	EVALUATION DE LA MÉTHODE D'ÉTABLISSEMENT DU BILAN D'AZOTE	86
12	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	87
13	ANNEXES.....	89
13.1	ANNEXE 1: BILAN D'AZOTE ANNUEL EN RÉGION WALLONNE.....	89
13.2	ANNEXE 2 : BILAN D'AZOTE ANNUEL DANS L'ARRONDISSEMENT ADMINISTRATIF DE NIVELLES ..	89
13.3	ANNEXE 3 : BILAN D'AZOTE ANNUEL DANS LES BASSINS D'ARQUENNES.....	90
13.4	ANNEXE 4. COEFFICIENTS D'EXPORTATION DES PRINCIPALES CULTURES (COPREN).....	91

Liste des figures

Figure 1. Localisation d'Arquennes à l'échelle de la Belgique.....	10
Figure 2. District hydrographique international de l'Escaut (2005).....	11
Figure 3. Bassins hydrographiques majeurs en Belgique.....	12
Figure 4. Les deux bassins pilotes d'Arquennes et le bassin versant du ruisseau des Trieux.....	12
Figure 5. MNT des deux bassins d'Arquennes (exagération 7x) levé par DGPS (GPS Système 500 Leica).....	13
Figure 6. Contexte géologique du bassin versant ouest	14
Figure 7. Extrait des planches 128 E et 129 W de la carte des sols de Belgique	15
Figure 8. Diagramme ombrothermique à Arquennes (réalisé à partir des données du 01/01/2000 au 31/12/2009).....	16
Figure 9. Surface occupée par chaque agriculteur dans les bassins versants	17
Figure 10. Localisation des prises d'eau (G : galerie, E : émergence)	18
Figure 11. Localisation des piézomètres	19
Figure 12. Géométrie de la planche d'essai.....	20
Figure 13. Concentration en nitrate dans les prises d'eau d'Arquennes (période 2006-2011)	23
Figure 14. Formule plane de la bentazone.....	24
Figure 15. Concentration en bentazone dans les prises d'eau.....	24
Figure 16. Concentration en atrazine dans les prises d'eau et piézomètres.....	25
Figure 17. Concentration en déséthylatrazine dans les prises d'eau et piézomètres	26
Figure 18. Concentration en désisopropylatrazine dans les prises d'eau et piézomètres	26
Figure 19. Teneur moyenne en carbone organique total des terres de culture en région wallonne période 1998-2002 (Source : Réquasud)	31
Figure 20. Graphique de comparaison des concentrations en métaux lourds dans 4 parcelles par rapport aux valeurs de référence, seuil et d'intervention définie par le décret sol.	34
Figure 21. Substances et métabolites recherchés dans les eaux souterraines en région wallonne (EEW 2006-2007)	37
Figure 22. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à l'émergence E1.....	41
Figure 23. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à l'émergence E1.....	41
Figure 24. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à l'émergence E2.....	42
Figure 25. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à l'émergence E2.....	42
Figure 26. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à la galerie G3	43
Figure 27. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à la galerie G3	43
Figure 28. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à la galerie G6	44
Figure 29. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à la galerie G6	44
Figure 30. Evaluation des APL mesurés dans les parcelles des bassins versants d'Arquennes en 2009 (Source : Nitrawal asbl).....	45
Figure 31. Mesure de la compaction d'un sol au moyen d'un pénétromètre (CRAw).....	48
Figure 32. Les organismes dans le sol classés selon leur taille (EEW 2006-2007).....	49

Figure 33. Influence du nombre d'espèces de champignons mycorhiziens sur la productivité. (Van Der Heiden, 1998)	50
Figure 34. Relation entre la proportion d'un gène donné dans la population de bactérie, la dénitrification et le pH du sol (Philippot, 2009).....	50
Figure 35. Réponse de l'activité catabolique microbienne à des stress croissant causés par une augmentation de la salinité (a), une diminution du pH (b) ou de la contamination par le Cu (c), par des cycles de variation d'humidité (d) ou de température (e) dans un sol de prairie (trait pointillé) ou de culture (trait plein) (Degens et al, 2001)	51
Figure 36. Intérêt des bassins versants d'Arquennes pour le suivi de contaminations du sol et des eaux	63
Figure 37. Intérêt des bassins versants d'Arquennes pour le suivi de la dégradation du sol	64
Figure 38. Localisation des bassins d'Arquennes et arrondissements administratifs.....	65
Figure 39. Postes du bilan pris en compte dans l'établissement du bilan d'azote (d'après Gybels et al, 2009).....	66
Figure 40. Bilan d'azote en région wallonne	67
Figure 41. Bilan d'azote dans l'arrondissement de Nivelles	67
Figure 42. Bilan d'azote sur les bassins d'Arquennes.....	71
Figure 43. Retombées sèches et humides d'azote sur les terres agricoles par maille EMEP	72
Figure 44. Excédents d'azote dans les sols agricoles (Région wallonne et arrondissement de Nivelles)	73
Figure 45. Comparaison des apports d'azote organique par les effluents d'élevage pour les 3 bilans .	74
Figure 46. Comparaison de la fixation d'azote estimée dans les 3 bilans.....	75
Figure 47. Comparaison de la volatilisation estimée dans les 3 bilans	75
Figure 48. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec le bilan d'azote par arrondissement.....	78
Figure 49. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec des apports d'azote organique par arrondissement.....	79
Figure 50. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec les apports d'azote minéral par arrondissement.....	80
Figure 51. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec les exportations d'azote par arrondissement.....	81
Figure 52. Corrélation (par arrondissement) entre l'apport d'azote organique et l'apport d'azote minéral avec et sans l'arrondissement de Mouscron	82
Figure 53. Corrélation (par arrondissement) entre le solde du bilan d'azote et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron	83
Figure 54. Corrélation (par arrondissement) entre de l'apport d'azote organique et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron	83
Figure 55. Corrélation (par arrondissement) entre l'apport d'azote minéral et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron.....	84
Figure 56. Corrélation (par arrondissement) entre l'exportation d'azote et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron.....	84

Liste des tableaux

Tableau 1. Description des séries pédologiques présentes sur les deux bassins versants d'Arquennes	15
Tableau 2. Vitesses de migration des traceurs chiffrées à partir des essais de traçage.....	22
Tableau 3. Pourcentage en carbone dans les sédiments prélevés dans le bassin d'orage du bassin ouest	32
Tableau 4. Pesticides présents et absents dans l'aquifère des deux bassins versants d'Arquennes.....	40
Tableau 5. Résultats d'analyse des échantillons d'eau de ruissellement	46
Tableau 6. Résultats d'analyse des échantillons de sédiments.....	47
Tableau 7. Matrice SWOT pour l'érosion	53
Tableau 8. Matrice SWOT pour la matière organique	54
Tableau 9. Matrice SWOT pour les ETMs et hydrocarbures.....	55
Tableau 10. Matrice SWOT pour les pesticides.....	56
Tableau 11. Matrice SWOT pour l'azote.....	57
Tableau 12. Matrice SWOT pour le phosphore.....	59
Tableau 13. Matrice SWOT pour le tassement	60
Tableau 14. Matrice SWOT pour la biodiversité	62
Tableau 15. Coefficients de production d'azote par animal.....	68
Tableau 16. Coefficients de fixation azotée (d'après Lauwers et al, 2004 et Vervaet et al, 2006)	69
Tableau 17. Coefficients de volatilisation utilisés sur les bassins d'Arquennes	73
Tableau 18. Bilan d'azote et postes du bilan pris en compte pour la comparaison avec les valeurs moyennes du Survey Nitrates par arrondissement.....	77

Liste des photos

Photo 1. Vue du bassin versant est.....	17
Photo 2. Vue vers l'exutoire du bassin ouest	17
Photo 3. Galerie « Arquennes G3 ».....	18
Photo 4. Bassin débourbeur.....	19
Photo 5. Planche d'essai après le dépôt d'uranine et LiCl à la surface de celle-ci.....	21
Photo 6. Dispositifs de pompage et d'échantillonnage au PZ E3.....	21
Photo 7. Injection du naphthionate dans le PZE3	21
Photo 8. Echantillonneur automatique dans la galerie G6	21
Photo 9. Ruissellement dans le bassin ouest (2010). Vue amont (photo gauche) et aval (photo droite) .	30
Photo 10. Vue du bassin d'orage suite à la pluie du 14 juillet 2010.....	30

Liste des acronymes

AWAC : Agence Wallonne pour l'Air et le Climat

APL : Azote Potentiellement Lessivable

CELINE-IRCEL : Cellule Interrégionale pour l'Environnement

DCE : Directive Cadre Eau

DGARNE : Direction Générale opérationnelle Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement

DGSIE : Direction Générale Statistique et Information Economique

EEA : European Environmental Agency

GRENeRA : Groupe de Recherche Environnement et Ressources Azotées (GxABT)

GxABT : Gembloux Agro-Bio Tech

ILVO : Instituut voor Landbouw- en VisserijOnderzoek (Institut public de Recherche pour l'Agriculture, l'Horticulture et la Pêche)

ISSeP : Institut Scientifique du Service Public

PGDA : Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture

SPF : Service Public Fédéral

SWDE : Société Wallonne Des Eaux

1 L'ÉTUDE

1.1 Contexte

L'objectif premier du projet est d'étudier la faisabilité de développer une approche bilantaire "input-output" à l'échelle d'un bassin versant pour une série d'éléments (flux d'eau, N, P, C, métaux lourds, pesticides, autres micropolluants) et pour les pertes en terre (dont le volet sédiments en particulier), sur base des expériences déjà acquises par GRENeRA en ce qui concerne l'azote dans les bassins versants d'Arquennes.

Tout en reconnaissant les limites potentielles de ce projet, en terme d'obtention de résultats et de leur niveau de précision, et en terme de représentativité à l'échelle de la région wallonne, la DGARNE souhaite initier cette réflexion qui a le mérite et la nouveauté de présenter un niveau d'intégration élevée de thématiques souvent étudiées indépendamment les unes des autres. L'échelle du bassin versant apparaît a priori pertinente, et les moyens disponibles peuvent judicieusement s'agencer les uns avec les autres : d'une part, la possibilité de financement de différents départements de la DGARNE et de partenaires extérieurs pour certains aspects (analyses de laboratoire, mise à disposition d'une station pluviométrique, analyse de la qualité du cours d'eau à l'exutoire du bassin versant...) et d'autre part, l'existence du projet actuel sur les bassins versants d'Arquennes permettant de réunir des données d'observations variées à une échelle spatiale plus facilement maîtrisable.

Avant de réaliser une installation éventuelle de dispositifs expérimentaux et/ou une campagne d'analyse des différentes composantes du bilan, en général très coûteuses, il est nécessaire de réaliser au préalable une étude théorique du potentiel d'utilisation (de manière pérenne ou à plus ou moins long terme) des bassins versants d'Arquennes comme observatoire agroenvironnemental.

Cette étude s'inscrit à la suite d'un programme d'actions pour la protection des captages contre les pollutions agricoles, programme mené entre 2004 et 2010 sur le site des bassins pilotes d'Arquennes et financé par la Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE).

1.2 Durée de la mission

La durée de la mission est fixée à 5 mois en terme de temps de travail, à étaler entre la date de notification de la convention (1^{er} mars 2011) et le 30 novembre 2011.

1.3 Programme de travail

L'étude comportera essentiellement deux volets :

1. Etablir une grille d'analyse des approches bilantaires susceptibles d'être réalisées dans le bassin versant pilote et un programme de travail phasé à court et moyen terme ;
2. En complément, vérifier la pertinence du bilan azoté calculé à l'échelle régionale selon la méthodologie appliquée par le SPF-Economie pour le rapportage de données au niveau européen et international (Gybels et al, 2009).

2 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES DEUX BASSINS PILOTES

2.1 Localisation d'Arquennes

Arquennes est un village de l'entité de Seneffe, située en région wallonne dans la province du Hainaut (Figure 1).



Figure 1. Localisation d'Arquennes à l'échelle de la Belgique

2.2 Contextes géographique et hydrographique

2.2.1 Masses d'eau

La zone d'étude appartient au district hydrographique international de l'Escaut (Figure 2) qui comporte le bassin hydrographique de l'Escaut, les bassins hydrographiques associés et les eaux souterraines et côtières qui leur sont associés.

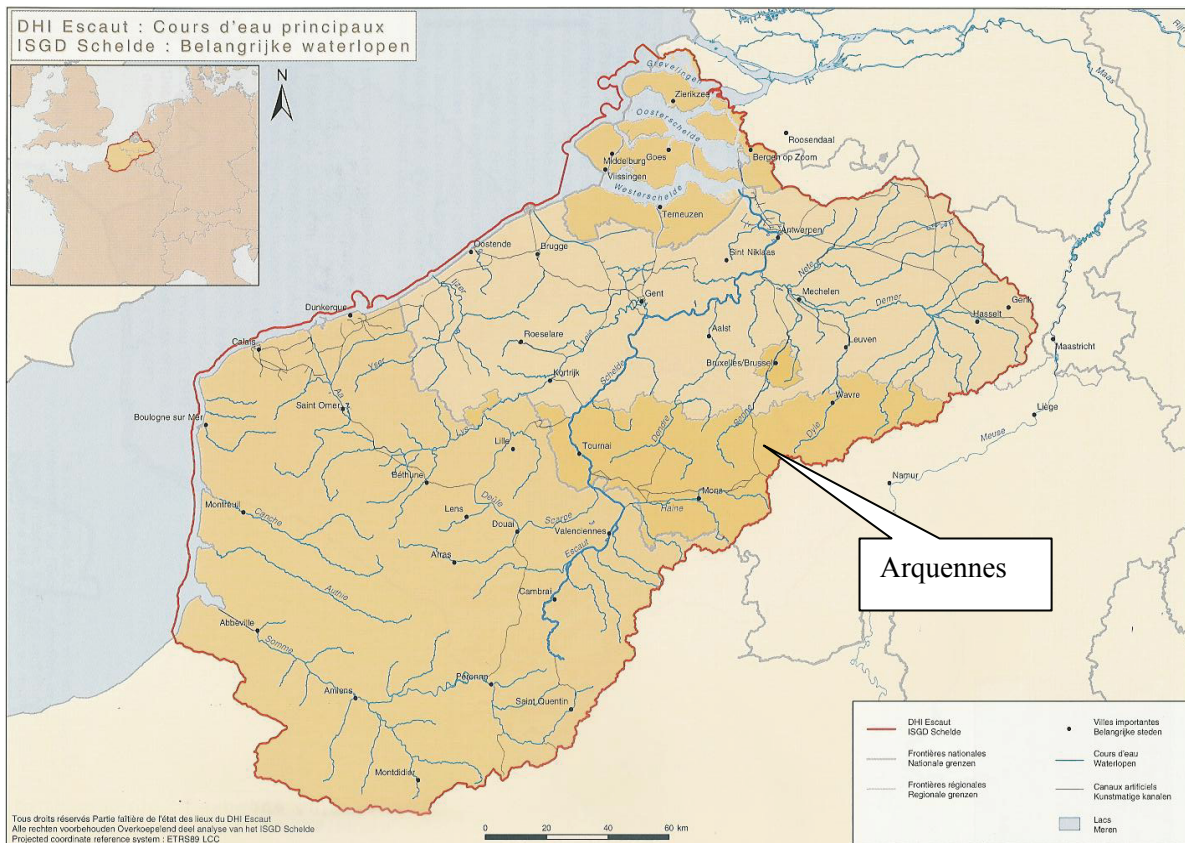


Figure 2. District hydrographique international de l'Escaut (2005)

La zone qui nous concerne appartient à la masse d'eau de surface de la Samme-Thines. Les pratiques agricoles et les pressions domestique et industrielle appliquées à cette masse d'eau ne permettent pas d'obtenir une qualité suffisante concernant l'azote, hors nitrate, et le phosphore (Collectif, 2004).

Pour ce qui est des eaux souterraines, la zone d'étude appartient à la masse d'eau du Socle du Brabant pour laquelle les risques chimiques liés à des contaminations ponctuelles sont faibles et moyens pour des contaminations diffuses (2004).

2.2.2 Bassins hydrographiques

La zone d'étude est localisée dans le bassin hydrographique de l'Escaut (Figure 3).

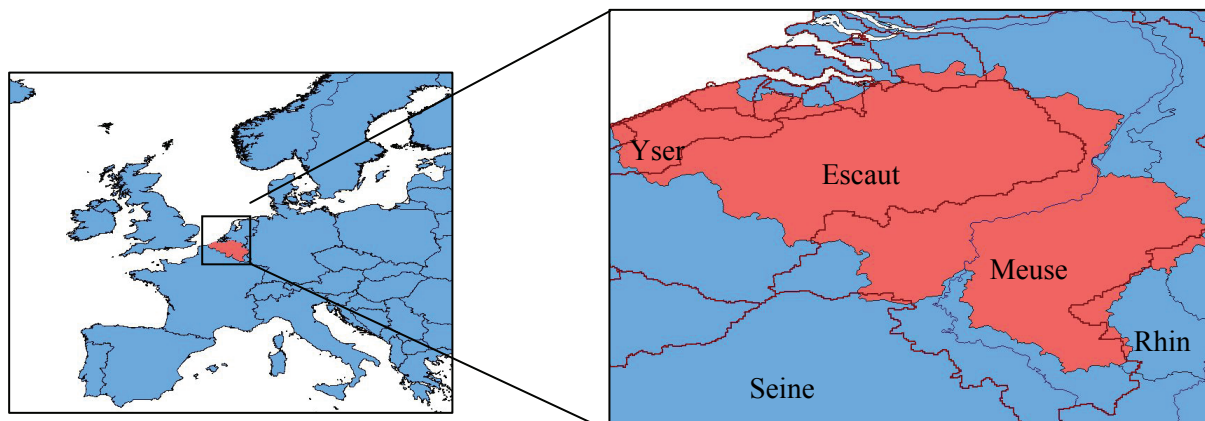


Figure 3. Bassins hydrographiques majeurs en Belgique

La zone d'étude est située plus précisément dans le bassin versant du ruisseau des Trieux, lui-même situé dans le bassin versant de la Samme, lui-même situé dans le bassin versant de la Senne (Figure 4), un des 15 sous-bassins hydrographiques définis par la Région wallonne¹ lors de l'établissement de sa politique de gestion de l'eau.

La zone d'étude est subdivisée en deux bassins topographiques, le bassin pilote ouest et le bassin pilote est. Ces deux bassins sont séparés en surface par le tracé de l'autoroute E19 reliant Mons à Bruxelles.

Le bassin ouest s'étend sur une superficie de 31 ha alors que le bassin est, plus grand, couvre une surface de 47 ha.

Les « exutoires » de ces bassins sont les prises d'eau (deux galeries G3 et G6 et deux émergences E1 et E2 - Figure 4) exploitées par la SWDE. Les deux bassins pilotes ne comportent aucun réseau hydrographique permanent.

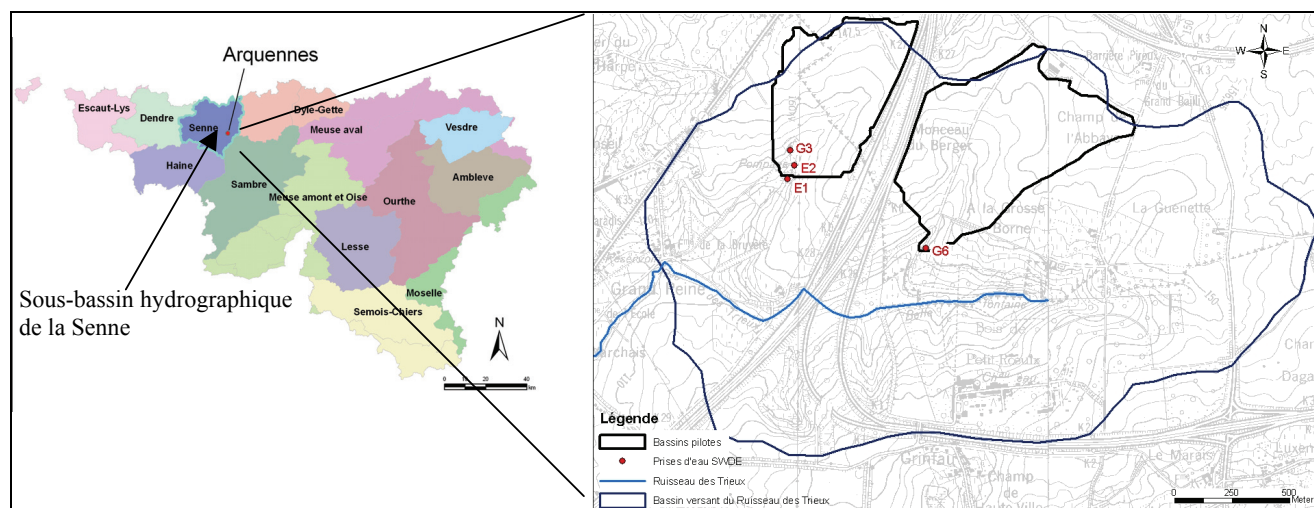


Figure 4. Les deux bassins pilotes d'Arquennes et le bassin versant du ruisseau des Trieux

¹ Décret relatif au Livre II du Code de l'Environnement constituant le Code de l'Eau (MB 23 septembre 2004)

2.3 Contexte topographique

Les bassins sont localisés sur le plateau hennuyer, un des bas-plateaux de la Moyenne Belgique. Leur relief peut être caractérisé de « mollement ondulé ». L'altitude varie entre 120 et 160 m. Un levé de terrain par DGPS (3600 points) a été réalisé afin d'élaborer le modèle numérique de terrain précis nécessaire à la délimitation des limites topographiques des deux bassins versants pilotes.

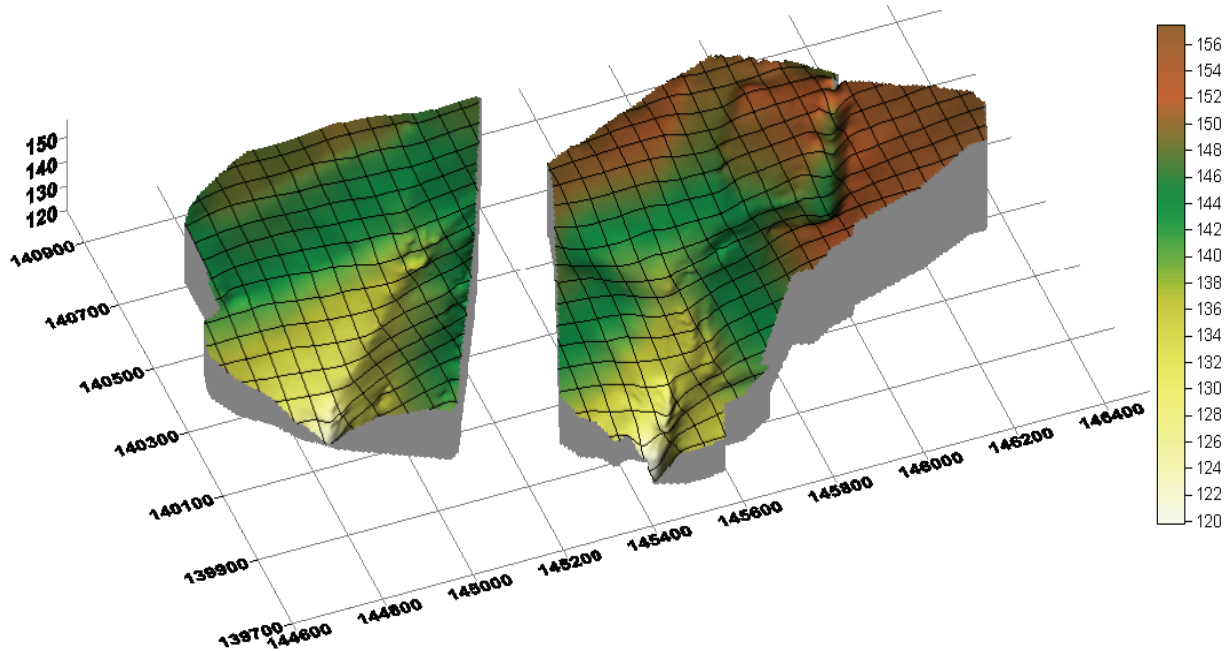


Figure 5. MNT des deux bassins d'Arquennes (exagération 7x) levé par DGPS (GPS Système 500 Leica)

La précision obtenue par ce levé DGPS montre que ces limites (ligne en noir - Figure 4) ne correspondent pas exactement avec les limites des bassins (ligne en bleu foncé) définies dans la classification ORI (Office Régional d'Informatique).

2.4 Contextes géologique et hydrogéologique

Le sol et le sous-sol des bassins pilotes d'Arquennes sont constitués d'une couche de limon (quaternaire) recouvrant une couche de sable (formations de Bruxelles et de Mons-en-Pévèle), elle-même recouvrant une couche d'argile (formation de Carnières).

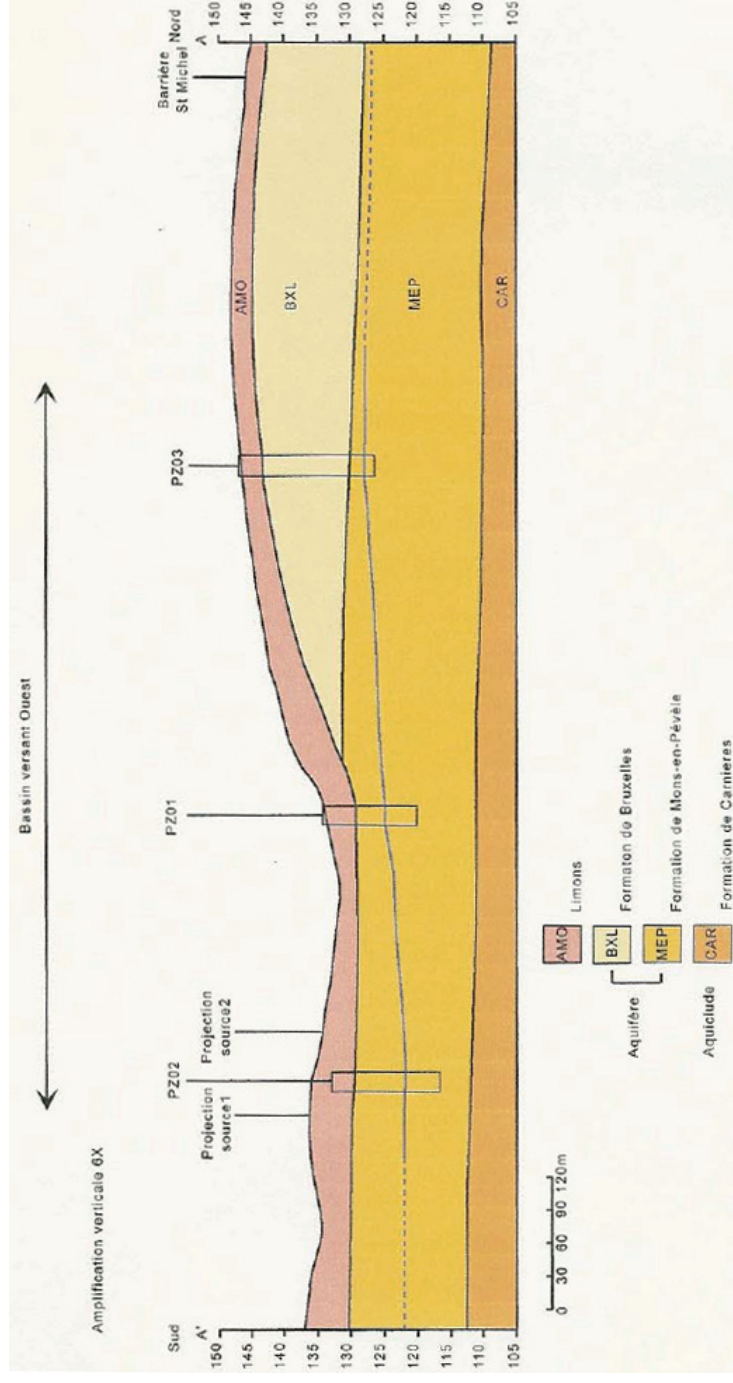


Figure 6. Contexte géologique du bassin versant ouest

La nappe d'eau étudiée s'écoule dans l'aquifère des sables éocènes qui comprend les formations de Ledé, de Bruxelles et de Mons-en-Pévèle. Cependant, au droit des bassins pilotes d'Arquennes, seules les formations de Bruxelles et de Mons-en-Pévèle sont présentes. Sous l'aquifère des sables éocènes se trouve l'aquiclude des argiles yprésiennes qui comprend la formation de Carnières. Cette formation de 10m d'épaisseur assure une barrière hydrogéologique entre l'aquifère des sables éocènes et l'aquifère des calcaires dévono-carbonifères sous-jacents.

2.5 Contexte pédologique

Les contextes pédologiques des deux bassins sont assez similaires (Figure 7, Tableau 1). Les sols des plateaux et des pentes sont des sols limoneux ou sablo-limoneux, généralement profonds à drainage favorable. Leur valeur agricole est élevée à très élevée. Ils permettent une assez bonne économie en eau : le drainage naturel est bon et le pouvoir de rétention pour l'eau est assez élevé pour pouvoir assurer un approvisionnement en eau toute l'année (Pecrot, 1957 ; Louis, 1958).

Les sols des vallées sont sans développement de profil sur des matériaux limoneux ou limono-sableux. Le drainage y varie de favorable à imparfait sauf vers l'exutoire où il ralentit fortement et devient très pauvre. La valeur agricole de ces sols est inférieure à celle des sols décrits précédemment. Toutefois, ces sols présentent toujours un grand intérêt pour l'agriculture.

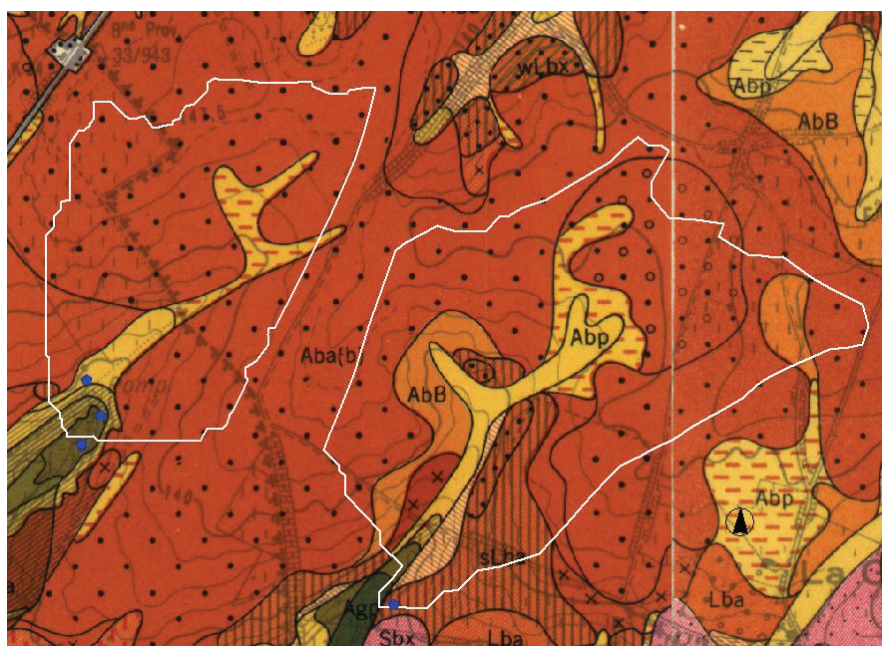


Figure 7. Extrait des planches 128 E et 129 W de la carte des sols de Belgique

Tableau 1. Description des séries pédologiques présentes sur les deux bassins versants d'Arquennes

Séries pédologiques	Description
Aba(b)	Sol limoneux, à bon drainage naturel, à horizon textural tacheté
AbB	Sol limoneux, à bon drainage naturel, à horizon B textural ou structural
Abp	Sol limoneux, à bon drainage naturel, sans développement de profil
sLba	Sol sablo-limoneux à horizon B textural ; substrat sableux

2.6 Contexte climatique

Les stations IRM utilisées pour les données climatiques relatives aux deux bassins versants sont la station d'Arquennes pour les précipitations, la station de Gosselies (≈ 25 km des deux bassins) pour l'humidité relative et la station d'Ecaussinnes (≈ 10 km des deux bassins) pour les températures ; ces deux paramètres n'étant pas mesuré à la station d'Arquennes.

Le climat de la région est qualifié de tempéré et humide, comme le montre la Figure 8. L'eau est disponible en abondance toute l'année, avec des maxima aux mois de juillet et août. Sur les dix années suivies (de 2000 à 2009), la pluviométrie moyenne à Arquennes s'élève à 930 mm par an.

Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne de $3,4$ °C. Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température moyenne de $17,9$ °C.

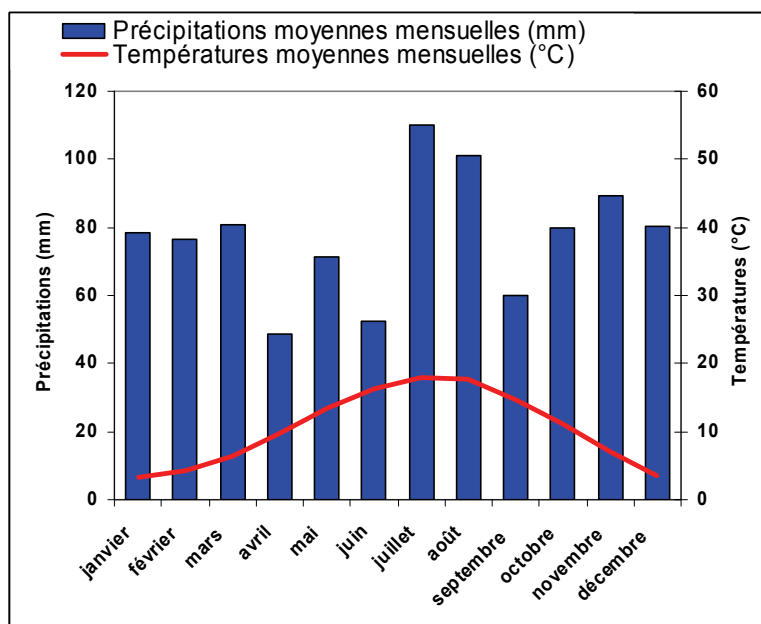


Figure 8. Diagramme ombrothermique à Arquennes (réalisé à partir des données du 01/01/2000 au 31/12/2009)

2.7 Contexte agricole

Les bassins versants (Photo 1, Photo 2) sont situés exclusivement en zone agricole. Les 20 parcelles présentes sur les deux bassins sont cultivées par sept agriculteurs (Figure 9).



Photo 1. Vue du bassin versant est



Photo 2. Vue vers l'exutoire du bassin ouest

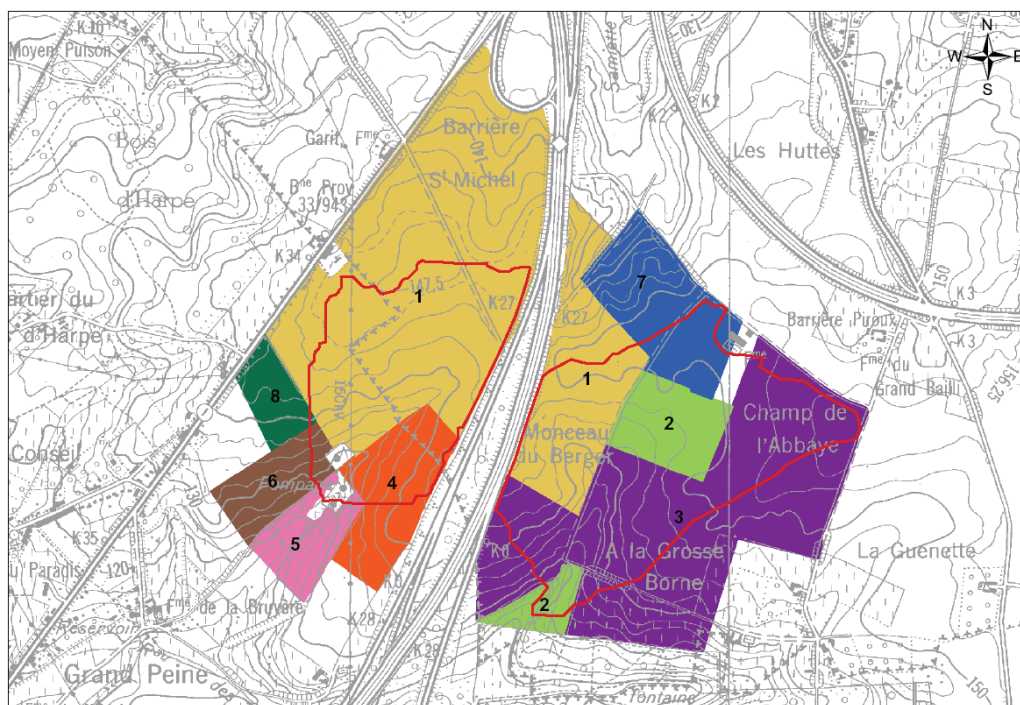


Figure 9. Surface occupée par chaque agriculteur dans les bassins versants

Les cultures principales observées sur les bassins sont les céréales (froment d'hiver, escourgeon), la betterave, le maïs, la pomme de terre et la chicorée. La prairie est peu représentée sur les bassins : une parcelle par an, représentant moins de 1 ha.

Les exploitations actives sur les deux bassins versants sont principalement de type polyculture – élevage. Les apports d'effluents d'élevage (fumier et lisier de bovin, lisier de porcin) sont modérés sur les bassins et principalement localisés sur le bassin est.

2.8 Infrastructures présentes sur le bassin versant

Les deux sous-bassins versants ne comportent pas de réseau hydrographique. Nous trouvons sur le site d'Arquennes des ouvrages réalisés par la SWDE² :

- 2 prises d'eau ;
- 2 galeries ;
- 1 bassin déboureur.

Dans le cadre d'une précédente étude, sept piézomètres ont été forés en 2005 sur le site des bassins versants et un piézomètre à proximité immédiate (Figure 11) de ceux-ci (Cf. 2.8.2).

2.8.1 Prises d'eau, galeries et bassin déboureur de la SWDE

Les prises d'eau "Arquennes E1" et "Arquennes E2" (Figure 10) sont des chambres de captage construites pour recueillir et capter des émergences naturelles. Un massif filtrant à été mis en place en amont des ouvrages.

La galerie "Arquennes G3" (Photo 3) est composée d'une chambre de captage dans laquelle aboutissent deux galeries drainantes ovoïdes (1,05 mètres de haut) de 20 mètres de long, orientées SO-NE.

La galerie "Arquennes G6" est composée d'une chambre de captage dans laquelle aboutit une galerie ovoïde (1,03 mètres de haut) de 12 mètres de long.

Les deux prises d'eau et les deux galeries fournissent ensemble un débit annuel de l'ordre de 160 000 m³ (SWDE, 2003).

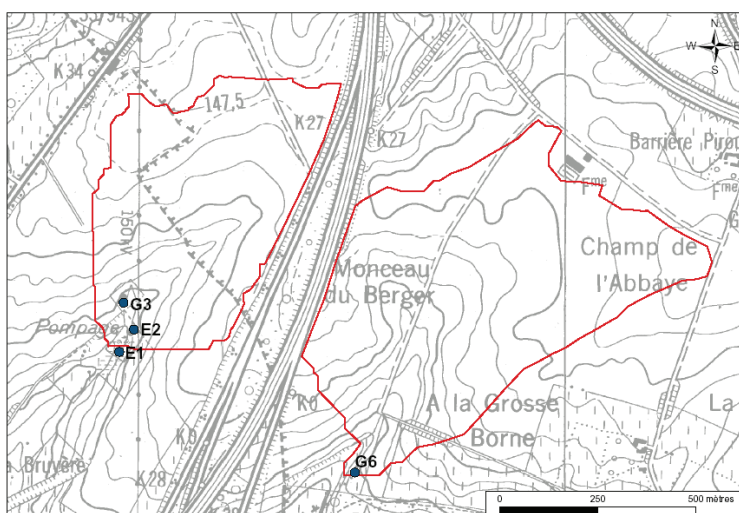


Figure 10. Localisation des prises d'eau (G : galerie, E : émergence)



Photo 3. Galerie « Arquennes G3 »

² SWDE : Société Wallonne Des Eaux

En 2000, le site de captage situé sur le bassin ouest étant régulièrement inondé par les eaux boueuses en provenance du talweg situé en amont, la SWDE a élaboré les plans d'un bassin débourbeur (Photo 4) afin de récupérer les eaux de ruissellement issues de ce bassin. Les travaux ont été réalisés et finalisés en 2009.



Photo 4. Bassin débourbeur

2.8.2 Piézométrie

Sept piézomètres ont été forés en 2005 pour couvrir les deux bassins pilotes d'Arquennes et un (nommé 'PZE4') au nord du bassin est (Figure 11). Ce dernier, situé en dehors des bassins versants, permet de mieux préciser la limite hydrogéologique des bassins pilotes.

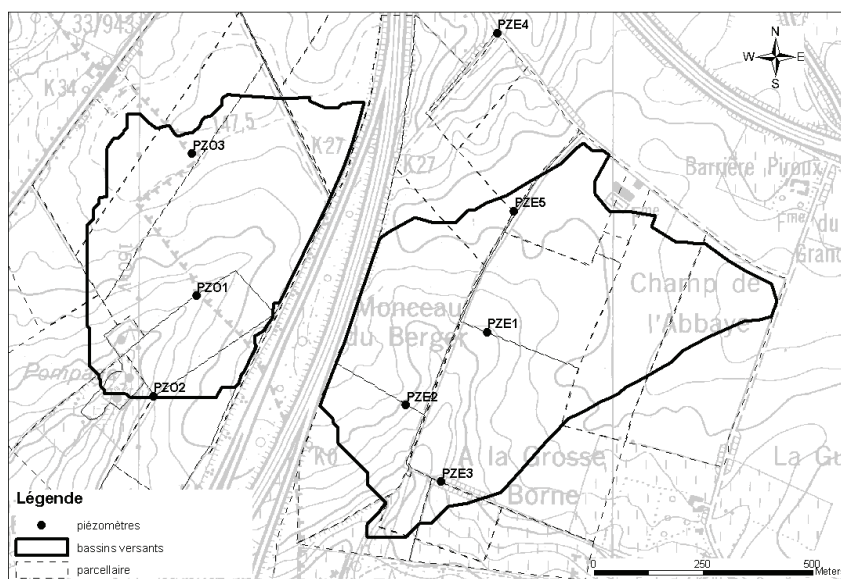


Figure 11. Localisation des piézomètres

Ces piézomètres ont permis :

- la caractérisation du sol, du sous-sol et de l'aquifère. L'identification des couches traversées lors des forages et le relevé des hauteurs piézométriques ont permis la réalisation de coupes hydrogéologiques.
- en février 2006, via une campagne de pompages d'essai dans ces piézomètres, le calcul des conductivités hydrauliques de l'aquifère ;

- un suivi de la réactivité de la nappe en fonction de la pluviométrie et la détermination des gradients d'écoulement grâce à un suivi mensuel de la hauteur d'eau piézométrique ;
- un suivi de la qualité de l'eau au toit de la nappe depuis juin 2006 par un échantillonnage mensuel (cf. paragraphe 2.9.2)
- la réalisation d'essais de traçage en milieu saturé et non saturé (cf. paragraphe 2.9.1).

2.9 Essais de traçage et qualité de l'eau

2.9.1 Essais de traçage (en milieux saturé et non saturé)

Au cours de la précédente étude sur les bassins pilotes d'Arquennes, deux essais de traçage ont été menés sur les bassins pilotes d'Arquennes : un essai en milieu non saturé et un essai en milieu saturé. L'objectif de ces essais était la détermination de l'intervalle de temps entre les actions menées en surface (pratiques agricoles) et leur impact sur la qualité de l'eau

L'essai de traçage en milieu non saturé a été mené d'avril 2006 jusqu'octobre 2008. Outre la détermination du temps de transfert d'un polluant entre la surface du sol et le toit de la nappe, l'objectif de cet essai était de préciser les paramètres hydrodispersifs verticaux locaux du milieu non saturé, pour un polluant soumis à l'influence de la pluviométrie. Le dispositif a consisté en une "planche" d'infiltration située à l'amont immédiat de PZ E3 (Figure 12), dans une zone du bassin versant présentant une épaisseur minimale (six mètres) de sous-sol en milieu non saturé, et en l'épandage de deux traceurs, l'uranine et le chlorure de lithium, sur cette planche d'infiltration. Un volume d'eau (1 m³) y a ensuite été déversé afin de faire pénétrer les traceurs dans le sol. La migration (verticale et horizontale) de ces traceurs a été suivie par des échantillonnages réguliers de sous-sol (via des tarières réalisées au droit de la planche d'infiltration) et d'eau (via des prélèvements réalisés au droit du piézomètre PZE3) (Photo 6).

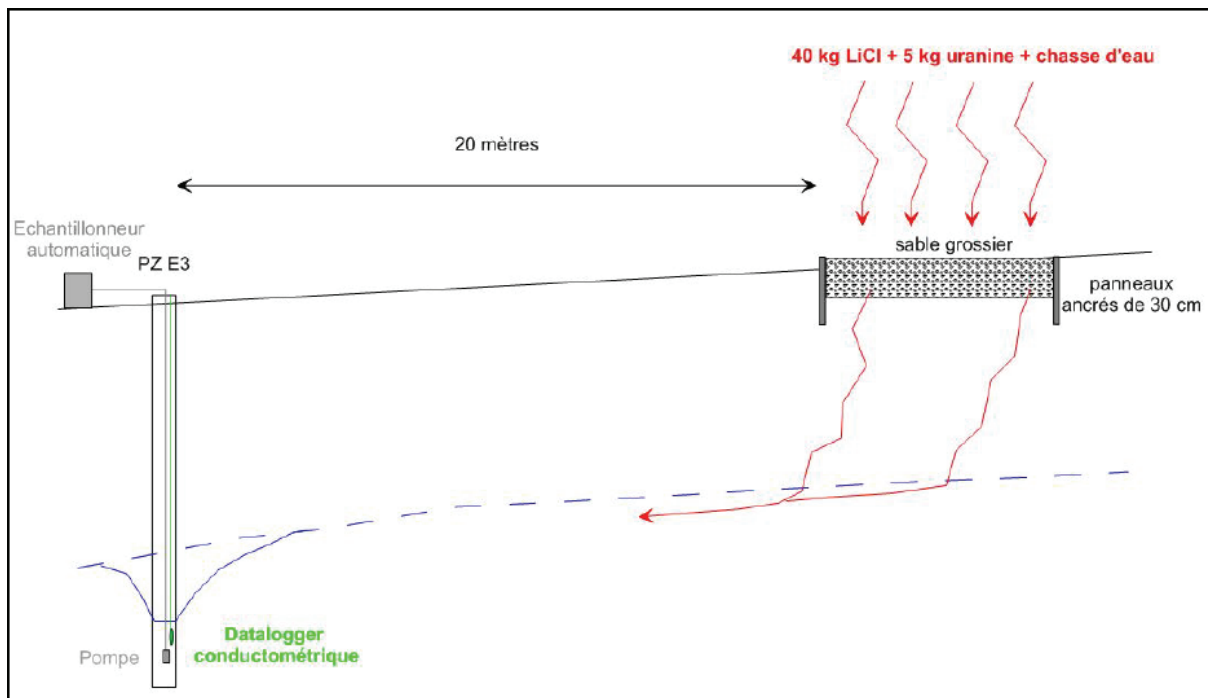


Figure 12. Géométrie de la planche d'essai



Photo 5. Planche d'essai après le dépôt d'uranine et LiCl à la surface de celle-ci



Photo 6. Dispositifs de pompage et d'échantillonnage au PZ E3

L'essai de traçage quantitatif en milieu saturé a été mené entre mars et juillet 2007 par injection d'un autre traceur fluorescent (naphthionate) dans le piézomètre PZE3 (Photo 7). Outre la détermination du temps de transfert du traceur depuis son injection dans la nappe libre jusqu'au captage G6 (Photo 8), les objectifs de cet essai étaient de préciser les paramètres hydrodispersifs locaux du milieu saturé, pour un traceur soumis à un flux d'eau, de même que les cônes d'appel des captages.



Photo 7. Injection du naphthionate dans le PZE3



Photo 8. Echantillonneur automatique dans la galerie G6

Un échantillonnage automatique de l'eau dans le piézomètre PZ E3 (Photo 8) permet de déduire la vitesse de transfert de l'uranine dans la phase liquide de la zone vadose, entre la surface du sol et la nappe, à 2,2 cm par jour (Tableau 2) en supposant négligeable le temps de transfert dans la zone saturée jusqu'au piézomètre.

Néanmoins, dès lors qu'il est nécessaire de tenir compte d'un phénomène d'adsorption en phase solide dans le milieu non saturé, les vitesses de migration associées à l'évolution du traceur dans la matrice solide en milieu non saturé peuvent être plus faibles. Ainsi, sur base des six prélèvements d'échantillons de sous-sol réalisés à la tarière au droit de la planche d'épandage entre deux et vingt-neuf mois après l'injection du traceur, la vitesse de migration de l'uranine en phase solide (partie adsorbée) est estimée à 0,09 cm par jour (Tableau 2).

En ce qui concerne l'essai de traçage en milieu saturé, les vitesses de migration horizontales sont très rapides : la première restitution à la galerie G6 est observée moins de quatre jours après l'injection au droit de PZ E3, correspondant à une vitesse d'environ 4800 cm par jour (Tableau 2).

Tableau 2. Vitesses de migration des traceurs chiffrées à partir des essais de traçage

milieu non saturé phase solide	0,09 cm/jour
milieu non saturé phase liquide	2,2 cm/jour
milieu saturé	4800 cm/jour

2.9.2 Suivi de la qualité de l'eau dans les prises d'eau

2.9.2.1 Le nitrate

Depuis juin 2006, un échantillonnage mensuel est réalisé dans les 4 prises d'eau (Figure 10) et les 8 piézomètres (Figure 11) situés sur le site d'Arquennes. Les objectifs de ce suivi sont :

- l'évaluation de l'impact des mesures (pratiques agricoles) mises en œuvre en surface sur la qualité de l'eau souterraine et
- la contribution au calibrage et à la validation des modèles de transport du nitrate SWAT et FEFLOW.

Au cours de l'étude précédente (juin 2006 – juin 2010), on observe (Figure 13) une amélioration de la situation en terme de qualité, en ce qui concerne le NO_3^- , de l'eau captée dans les galeries G3 et G6 depuis la fin de l'année 2008. On peut y voir les premiers effets de la mise en application du PGDA sur les bassins pilotes d'Arquennes depuis 2005 ; il convient cependant de ne pas perdre de vue que les concentrations aux exutoires sont influencées non seulement par les pratiques de gestion de l'azote en surface mais également par les concentrations historiquement présentes dans les sols et dans l'aquifère en amont des exutoires et pour lesquelles nous ne disposons pas d'historique. L'intervalle de temps entre l'impulsion (modifications des pratiques en termes de gestion de l'azote depuis 2005) et la réponse (amélioration de la qualité de l'eau captée depuis fin 2008) est conforme à celui prédit par les essais de traçage réalisés au cours de l'étude.

Depuis la fin de l'année 2008, la diminution des teneurs en nitrate dans l'eau captée à la galerie G3 (bassin ouest) se chiffre à 0,23 mg NO_3^- /l en moyenne par mois ; cette valeur s'élève à 0,37 mg NO_3^- /l en moyenne par mois à la galerie G6 (bassin est). Il s'agit bien là d'une diminution moyenne sur plusieurs mois qui ne tient pas compte des variations mensuelles de concentration engendrées par les fluctuations d'eau utile et par l'arrivée irrégulière du contaminant dans la nappe du fait de l'hétérogénéité du milieu non saturé, source de l'input.

A l'émergence E1, une baisse des concentrations en NO_3^- s'est observée en 2007 et 2008. Depuis, cette concentration s'est stabilisée entre 45 et 50 mg NO_3^- /l, à l'exception de l'hiver 2010 où une hausse des concentrations a été observée du fait de l'augmentation temporaire des niveaux de nappe. A l'émergence E2, une diminution constante des concentrations en NO_3^- s'observe depuis 2007, avec des concentrations inférieures à 40 mg NO_3^- /l en juin 2011.

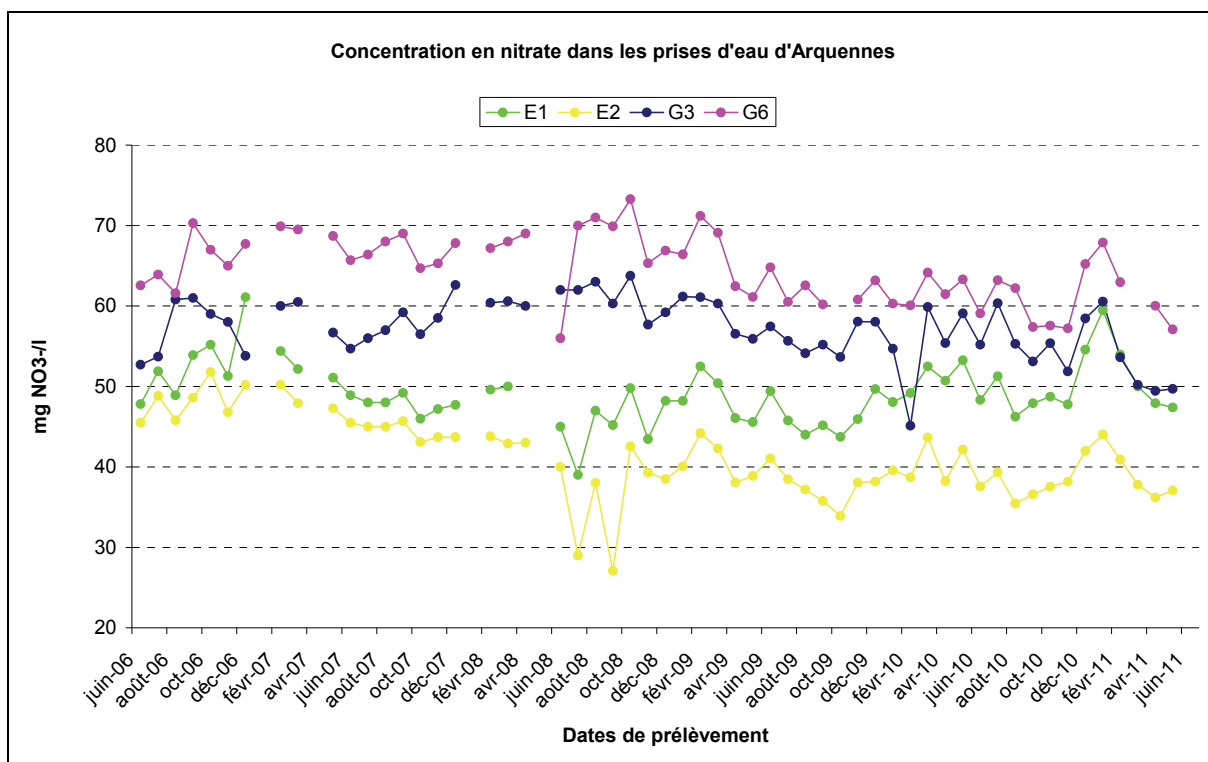


Figure 13. Concentration en nitrate dans les prises d'eau d'Arquentes (période 2006-2011)

2.9.2.2 Les pesticides

L'atrazine (et ses produits de dégradation) ainsi que la bentazone sont les principaux produits retrouvés aux prises d'eau.

La bentazone

La bentazone ($C_{10}H_{12}N_2O_3S$) (Figure 14) est un herbicide utilisé en agriculture, principalement pour les cultures de maïs et de pois et, de façon plus ponctuelle, pour le froment et la pomme de terre.

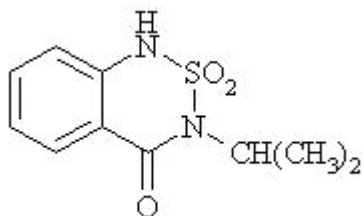


Figure 14. Formule plane de la bentazone

La Figure 15 illustre les concentrations en bentazone observées, par la SWDE, entre 2003 et 2006 dans les quatre prises d'eau suivies. La source de l'émergence E2 (bassin pilote ouest) présente des concentrations de 100 à 200 ng/l, soit cinq à dix fois plus élevées que les deux autres prises d'eau (E1 et G3) situées à quelques dizaines de mètres.

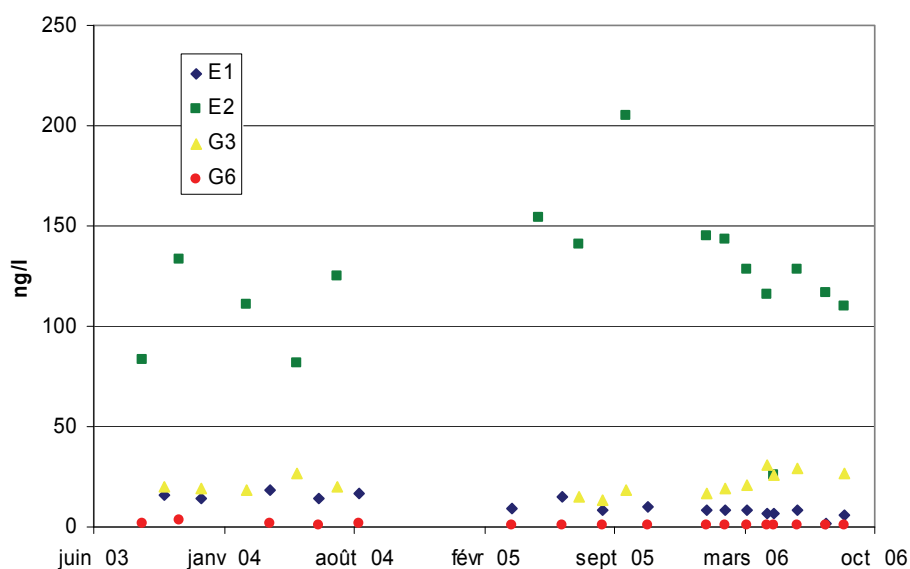


Figure 15. Concentration en bentazone dans les prises d'eau

En 2011, la concentration en bentazone dans les prises d'eau s'est améliorée (~ 60 ng/l) en ce qui concerne la E2 et est restée stable pour les autres prises d'eau (Figure 22 à Figure 29 – pages 41 à 44).

L'atrazine et ses produits dérivés

L'atrazine ou 2-chloro-4-(éthylamine)-6-(isopropylamine)-s-triazine est un herbicide dont l'usage n'est plus autorisé depuis plusieurs années.

Les échantillons prélevés mensuellement dans les piézomètres et les prises d'eau ont été dosés par le laboratoire de la SWDE.

Atrazine

Dans les piézomètres, au cours de la période d'analyse, les concentrations ont eu tendance à baisser (Figure 16). Par contre, dans trois des quatre prises d'eau, les concentrations sont restées stables et proche de la limite de potabilité (100 ng/l). Le pic de concentration observé en novembre 2006 n'a pu être expliqué.

La qualité de l'eau aux quatre prises d'eau a peu évolué en 2011 (Figure 22 à Figure 29 – pages 41 à 44).

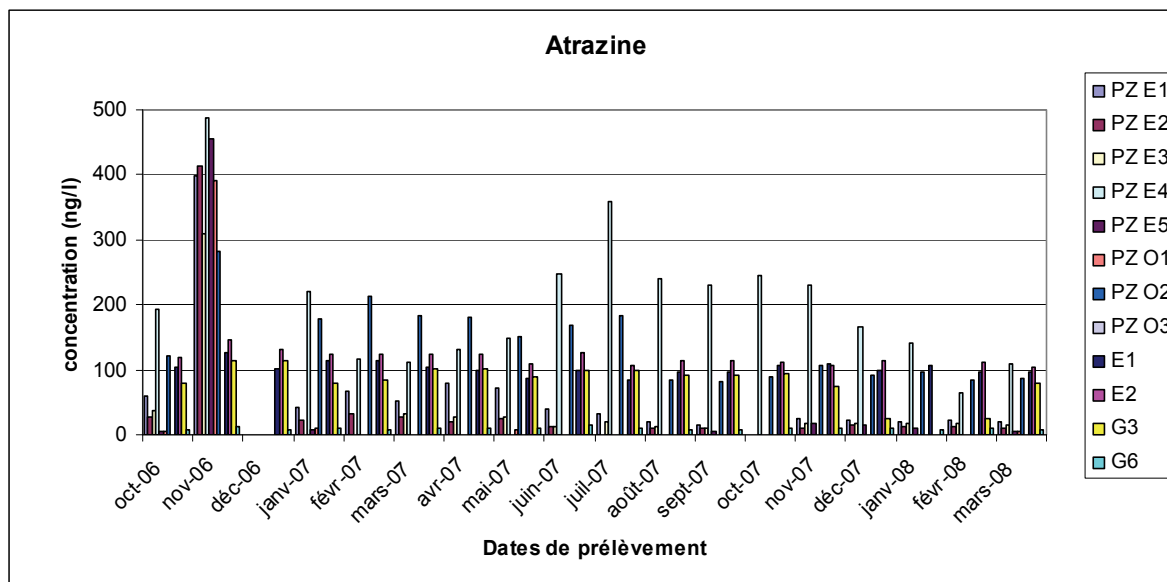


Figure 16. Concentration en atrazine dans les prises d'eau et piézomètres

Déséthylatrazine

Dans les piézomètres, au cours de la période d'analyse, les concentrations ont eu également tendance à baisser et étaient, à l'exception du piézomètre E4, sous la limite de potabilité (Figure 17). La tendance, bien que moins nette, était également visible dans les prises d'eau. Le pic de concentration observé en novembre 2006 n'a pu être expliqué.

Mis à part dans le PZ E4, les concentrations étaient en 2008 proches du seuil de potabilité (0,1 µg/l).

En 2011, la situation dans les prises d'eau a peu évolué sauf pour la G3 où la concentration a diminué pour atteindre de l'ordre de 30 ng/l (Figure 22 à Figure 29 – pages 41 à 44).

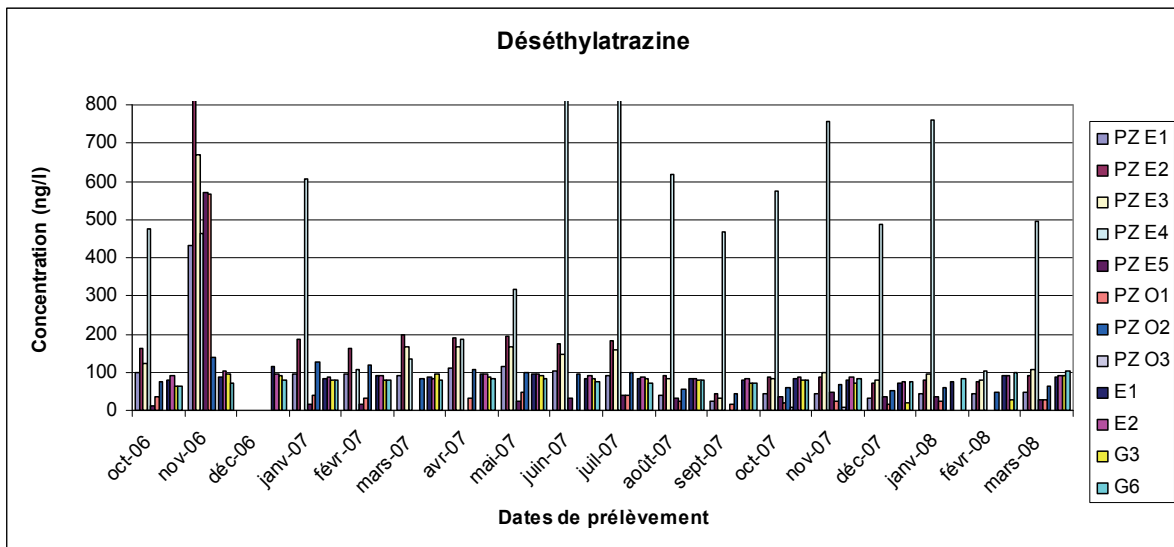


Figure 17. Concentration en déséthylatrazine dans les prises d'eau et piézomètres

Désisopropylatrazine

Dans les piézomètres comme dans les prises d'eau, la concentration était sous la limite de potabilité (Figure 18).

Cette situation est restée identique en 2011 (Figure 22 à Figure 29 – pages 41 à 44).

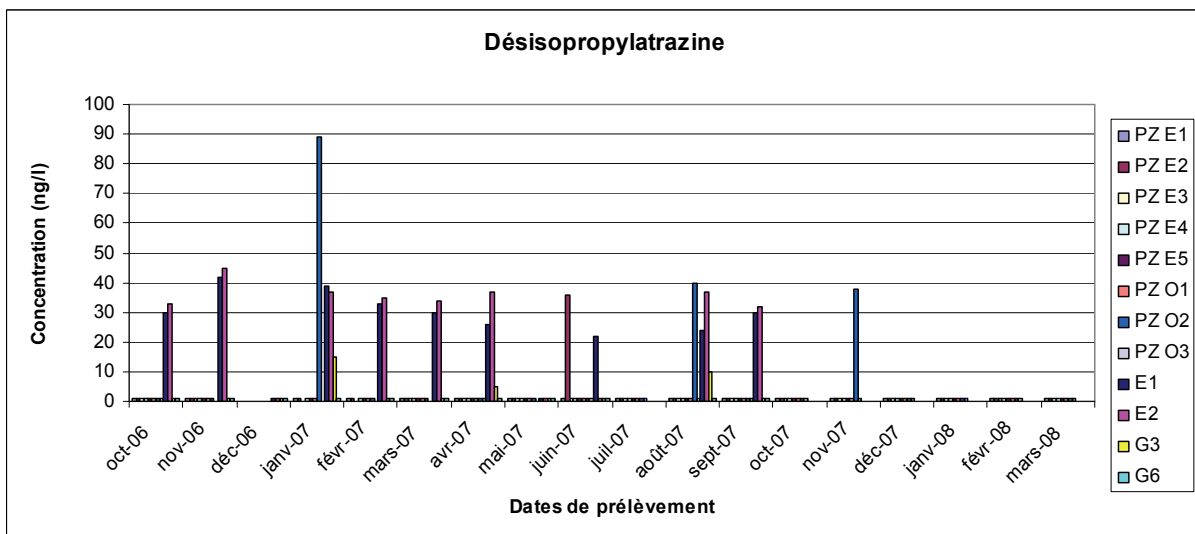


Figure 18. Concentration en désisopropylatrazine dans les prises d'eau et piézomètres

3 LES PROBLÉMATIQUES ENVIRONNEMENTALES

Le sol, élément central des flux

Le sol est en position d'interface dans l'environnement ; il a par conséquent un rôle primordial dans les cycles biogéochimiques et le devenir des substances polluantes.

Outre sa fonction de supporter (physiquement) l'activité urbaine et industrielle, le sol est également le déterminant de la production végétale mais aussi de la qualité de cette production. La qualité d'un sol a donc un impact indirect (au travers de la chaîne alimentaire) sur la santé humaine.

Le sol a également une fonction environnementale : il peut être puits ou source de carbone, siège de la dénitrification, de la lixiviation de polluants solubles plus ou moins décomposés par l'activité microbienne ; il peut selon son utilisation s'éroder sous l'action de la pluie ou du vent.

Le sol a une fonction écologique puisqu'il abrite la plus grande diversité d'organismes vivants. Enfin, il peut également avoir une fonction de production de matériaux (briques) ou d'énergie (tourbe).

Le sol est également un régulateur (quantitatif et qualitatif) de la ressource en eau. De l'ordre d'un quart de la pluviométrie s'infiltré dans le sol jusqu'à percoler vers l'aquifère sous-jacent. Au cours de ce transfert, le sol peut, selon sa qualité, jouer un rôle d'épurateur en retenant ou dégradant (grâce au complexe argilo-humique) les substances contenues dans l'eau de pluie (ETM, molécules organiques, ...) ou, suite à une activité anthropique (agriculture, industrie, domestique) peu durable, enrichir l'eau de percolation en produits contaminants (pesticides, nitrate, sels solubles, hydrocarbures, ...).

L'activité humaine est donc susceptible d'impacter sur le sol et ses fonctions.

Il est donc important d'améliorer notre capacité à identifier, quantifier, prévoir et prévenir les processus de dégradation du sol. Pour ce faire, il faut disposer d'indicateurs pertinents et d'observatoires pour suivre leur évolution dans le temps.

En France, un réseau d'observatoires de recherche en environnement (ORE) a été mis en place en 2003

(http://www.inra.fr/les_recherches/ressources_scientifiques/observatoires_de_recherche_en_environnement). Ils ont pour objet de fournir des données scientifiques de qualité, nécessaires aux chercheurs afin de comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes et leur dynamique dans le long terme. Leur objectif est d'apporter des réponses à des questions scientifiques touchant à l'environnement et relatives, en particulier, à l'impact anthropique. Ils y contribuent par deux voies complémentaires :

- d'une part, l'acquisition de données de natures diverses (physiques, chimiques, biologiques) sur le long terme, pour le suivi des processus environnementaux et écologiques. Ce sont là les tâches d'observation environnementale sensu stricto et
- d'autre part, la mise en place d'expérimentations également sur le long terme qui complètent et valorisent les tâches de la simple observation de l'environnement.

Ce réseau est en train de « muter » pour devenir des SOERE (systèmes d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement) (http://www.allenvi.fr/?page_id=755) qui compte, en ce qui concerne la thématique 'eau-agriculture', 11 bassins versants en France métropolitaine.

Le sol évolue de manière naturelle suite à l'action du vent (transport éolien de loess), de la température (alternance gel/dégel), de l'eau qui entraîne les éléments solubles et les particules (argiles, matière organique) et des organismes vivants (une centaine de vers de terre par m² et 10⁹ bactéries par gramme de sol). Cette évolution est très lente puisqu'il faut plusieurs milliers (voire centaines de milliers) d'années pour former un sol.

A une échelle de temps beaucoup plus courte, le sol peut subir des dégradations qui vont diminuer sa capacité à remplir une ou plusieurs des fonctions évoquées ci-dessus.

La Commission européenne a ainsi identifié³ huit menaces principales qui pèsent sur les sols :

- l'érosion,
- la diminution de la teneur en matière organique,
- la contamination locale ou diffuse,
- l'imperméabilisation,
- le phénomène de tassement,
- la réduction de la biodiversité,
- les inondations et glissements de terrain et
- la salinisation.

La salinité d'un sol peut être naturelle lorsqu'elle est liée à la présence de roches salines ou à la proximité d'océan. L'action de l'homme, principalement via le recours à l'irrigation, peut augmenter la teneur en sels dans les sols. Deux situations peuvent exister :

- l'irrigation avec de l'eau faiblement saline et
- la surexploitation de nappes d'eau douce à proximité de mers ou d'océans va engendrer un abaissement du niveau piézométrique avec pour conséquence, un gradient d'écoulement d'eau saline vers l'aquifère d'eau douce. Plus ce gradient est important, plus les flux seront importants et plus vite l'aquifère sera salin.

L'augmentation de la salinité d'un sol a pour conséquence d'élever le potentiel osmotique de l'eau rendant ainsi celle-ci plus difficilement assimilable par les plantes qui voient alors leur potentiel de rendement diminuer.

Compte tenu de notre climat (précipitations régulières) et du contexte pédo-géologique de la Wallonie (réserve utile en eau des sols importante, absence de roches salines), la salinisation n'est pas une menace pour la région wallonne et a fortiori pour Arquennes.

Les inondations et glissements de terrain sont liés à l'existence d'un cours d'eau et de sols meubles disposés sur une topographie accidentée. Ces situations n'étant pas rencontrées à Arquennes, elles ne seront, tout comme la salinisation, pas développées plus avant dans ce document.

³ COM(2006)231

4 L'ÉROSION ET LE RUISSELLEMENT

Les précipitations, lorsqu'elles sont suffisamment importantes, peuvent être à l'origine de ruissellement qui peut engendrer des inondations. Ce phénomène va également s'accompagner d'érosion, c'est à dire le déplacement de particules de sol entraînées par le mouvement de l'eau ; particules qui s'accumuleront dans le bas des pentes (zone de colluvions) ou dans les cours d'eau (sédiments).

L'amplitude de ces phénomènes dépend bien évidemment des précipitations mais également d'autres facteurs tels que (équation universelle de perte des sols, Wischmeier & Smith, 1978) :

- l'érodibilité du sol,
- la topographie (longueur et importance de la pente),
- la couverture végétale et
- l'existence d'aménagements anti-érosifs.

Entre 1969 et 2007, des inondations ont été observées dans toutes les communes de Wallonie. Dans un tiers des cas, celles étaient causées par le débordement de cours d'eau et dans les autres cas, par le ruissellement sur les terres agricoles ou le refoulement d'égouts (Cellule Etat de l'environnement wallon, 2008).

On estime à 700.000 t/an la quantité de sédiments qui sont transportés jusqu'aux cours d'eau par l'érosion (Goor F., 2006) alors que le curage des cours d'eau wallon n'extrait que de l'ordre de 60.000 t/an (Cellule Etat de l'environnement wallon, 2008). Outre les aspects liés aux pertes de sol agricole (avec leurs conséquences sur la fertilité de ces sols), les dépôts de sédiments dans les cours d'eau ont pour conséquence de diminuer la section utile des rivières et donc leur capacité à conduire de gros débits sans débordements (inondations).

Les phénomènes d'érosion et d'inondations constituent donc des menaces réelles pour notre environnement.

Les deux bassins d'Arquennes sont, compte tenu des facteurs aggravant décrits ci-dessus, très sensibles à ces phénomènes d'érosion et d'inondation. Le site de captage exploité par la SWDE situé à l'aval du bassin ouest fait régulièrement l'objet de coulées boueuses qui inondent les trois bâtiments de prise d'eau. Pour les protéger, la SWDE a entrepris en 2009, la construction d'ouvrages d'art (fossés de collecte, bassin d'orage).

En juillet 2010, une importante précipitation a causé du ruissellement et de l'érosion dans le bassin ouest alors que les parcelles étaient partiellement emblavées de cultures sarclées (betterave). Le phénomène a été tel que des betteraves ont été arrachées et emportées par les flots pour « sédimenter » dans la parcelle voisine occupée par du lin (Photo 9). Il faut noter que si ces précipitations avaient eu lieu quelques semaines plus tôt, les conséquences auraient été plus importantes car l'enracinement et la couverture foliaire des betteraves auraient certainement moins « limité » le phénomène.



Photo 9. Ruissellement dans le bassin ouest (2010). Vue amont (photo gauche) et aval (photo droite) .

Le bassin d'orage s'est rempli en quelques minutes de plusieurs dizaines de tonnes de terre érodée (Photo 10).



Photo 10. Vue du bassin d'orage suite à la pluie du 14 juillet 2010.

En 2011, les parcelles du bassin versant étaient toutes occupées par des céréales ; aucun phénomène significatif de ruissellement n'a été observé.

L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé dans le cadre de l'analyse SWOT, au § 10.2.1.

5 LA MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique est principalement composée de végétaux et d'animaux morts qui ont subi des transformations physiques, chimiques et surtout biologiques.

Dans le sol, la matière organique assure plusieurs fonctions importantes :

- le stockage et la mise à disposition, après minéralisation, d'éléments nutritifs aux plantes ;
- la stimulation de l'activité biologique (la matière organique fournit l'énergie et les nutriments aux organismes du sol) ;
- la structuration du sol et sa stabilité (vis-à-vis de la pluie et du tassement) ;
- un rôle positif sur la qualité de l'eau par la rétention de polluants organiques (pesticides, hydrocarbures, ...) et minéraux (éléments traces métalliques).

Elle peut cependant avoir un impact négatif sur notre environnement car elle constitue une des sources d'azote pour la production de nitrate (lixiviation vers les eaux) ou de protoxyde d'azote (gaz à effet de serre).

Dans les deux bassins versants d'Arquennes, les teneurs en carbone dans différentes parcelles fluctuent entre 1,0 et 1,4%. Cette gamme de valeurs correspond (Figure 19) aux valeurs observées dans les terres de culture des régions limoneuse et sablo-limoneuse (Colinet et al, 2005).

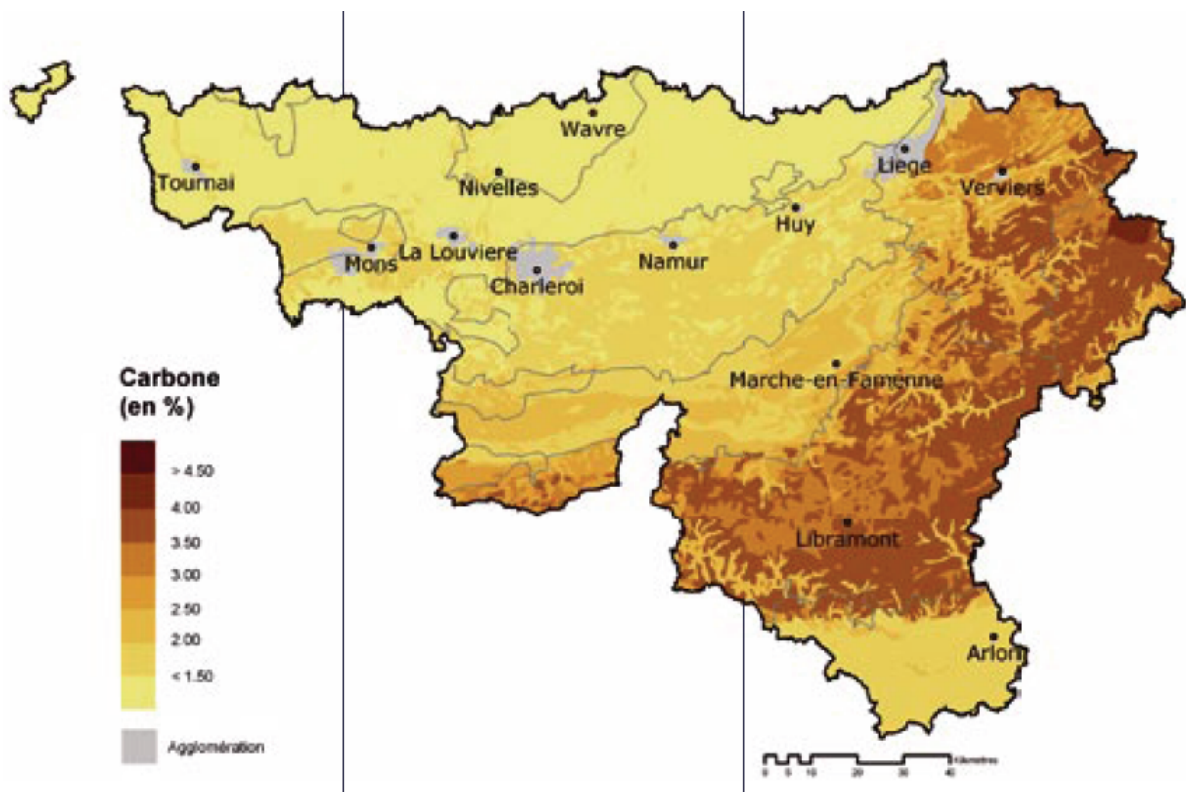


Figure 19. Teneur moyenne en carbone organique total des terres de culture en région wallonne période 1998-2002 (Source : Réquasud)

Par ailleurs, des analyses ont été réalisées pour déterminer le pourcentage de carbone dans des échantillons prélevés dans les sédiments du bassin d'orage (Tableau 3). On peut voir que les valeurs obtenues sont très légèrement supérieures (de 1,3 à 1,7%) à celles attendues d'après la Figure 19. On n'observe pas de différence entre les analyses de sédiments récoltés dans le seau à l'exutoire du fossé de récolte des eaux et les analyses de sédiments récoltés à l'intérieur du bassin d'orage (Photo 10, page

30). Une valeur, correspondant au premier flux d'érosion, est sensiblement plus élevée (6,3% dans le seau le 29/6/2011) que les autres. Cet écart est difficilement explicable et justifie la nécessité d'installer un équipement adéquat au niveau du bassin d'orage afin d'assurer un échantillonnage le plus rigoureux possible et ainsi d'assurer la plus grande représentativité des résultats.

Tableau 3. Pourcentage en carbone dans les sédiments prélevés dans le bassin d'orage du bassin ouest

Echantillon prélevé dans	Remarque	Pourcentage carbone (%)
seau le 29/6/11	/	6,3
seau le 13/7/11	Partie supérieure du seau	1,51
	Partie inférieure du seau	1,31
seau le 15/7/11	Partie supérieure du seau	1,69
	Partie inférieure du seau	1,66
seau le 27/7/11	/	1,28
bassin le 30/7/11	0-15 cm	1,43
	15-30 cm	1,42
	30-45 cm	1,49
	45-60 cm	1,47

L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé dans le cadre de l'analyse SWOT, au § 10.2.2.

6 LES CONTAMINATIONS

On distingue les contaminations ponctuelles lorsque la source est localisée de manière précise (un stockage de fumier, ...) et les contaminations diffuses généralement liées :

- à des dépôts atmosphériques (émissions dues aux activités industrielles ou de transport) qui contiennent des éléments traces métalliques (ETM) et des micropolluants organiques (hydrocarbures, ...);
- aux activités agricoles telles que l'épandage en excès d'engrais minéraux et organiques (fumier, lisier, ...) et la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques destinés à protéger les cultures. Des matières exogènes au secteur agricole telles que les boues de station d'épuration sont également utilisées en agriculture pour leur valeur fertilisante (N, P, K) et leur action sur le pH du sol (dans le cas où elles sont chaulées). Ces matières contiennent des quantités plus ou moins importantes d'ETM.

Ces éléments vont, en fonction de leurs propriétés physico-chimiques, être lixiviés vers les eaux souterraines, être absorbés par les plantes ou être transportés vers les cours d'eau. Quelle que soit leur destination, ils sont susceptibles d'entrer directement (consommation d'eau) ou indirectement (concentration dans les végétaux ou animaux) dans notre bol alimentaire quotidien. Ils constituent donc une menace importante pour notre santé.

6.1 Les éléments traces métalliques

Les ETM parfois appelés métaux lourds sont présents en faible concentration dans les sols ; c'est-à-dire de l'ordre de quelques dixièmes à quelques dizaines de mg/kg de terre sèche (Colinet et al, 2004 ; Warin et al, 2005).

ETM est un terme difficilement définissable ; il est utilisé pour grouper les métaux et métalloïdes liés à un risque de pollution et de toxicité. Les métaux lourds sont des éléments métalliques dont la masse volumique est supérieure à 4,5g/cm³, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le zinc, le cuivre, le chrome, le nickel... Les métalloïdes regroupent notamment l'arsenic et le sélénium. Les concentrations, mais également les formes de ces éléments dans les sols, définissent le risque environnemental associés à ces éléments qui sont naturellement présent dans les sols (les roches et les sédiments).

Des éléments tels que le cuivre, le zinc ou le manganèse sont essentiels (en faible concentration) à la vie des organismes.

La principale source de contamination est liée à l'activité anthropique :

- les dépôts atmosphériques issus de la combustion de produits pétroliers, de charbon et de bois, de l'exploitation de minerais ferreux et non ferreux et de l'incinération et
- l'utilisation en agriculture de boues de station d'épuration, de fertilisants et déchets organiques, de fertilisants minéraux et de produits phytopharmaceutiques.

Les sources naturelles sont l'érosion, les éruptions volcaniques et les feux de forêt.

Quatre parcelles du bassin versant ouest d'Arquennes ont été échantillonnées en 2011 pour doser les ETM. Un graphique de comparaison des principaux ETM présents sur ces parcelles a été réalisé (Figure 20). Il permet de comparer les valeurs observées à Arquennes aux valeurs de référence, valeurs

seuil et valeurs d'intervention du Décret sols⁴. Les résultats sont exprimés en pourcent de la valeur d'intervention.

On constate que les concentrations en métaux lourds mesurées à Arquennes sont faibles par rapport aux valeurs d'intervention et toutes proches de la valeur de référence (fond géopédochimique naturel).

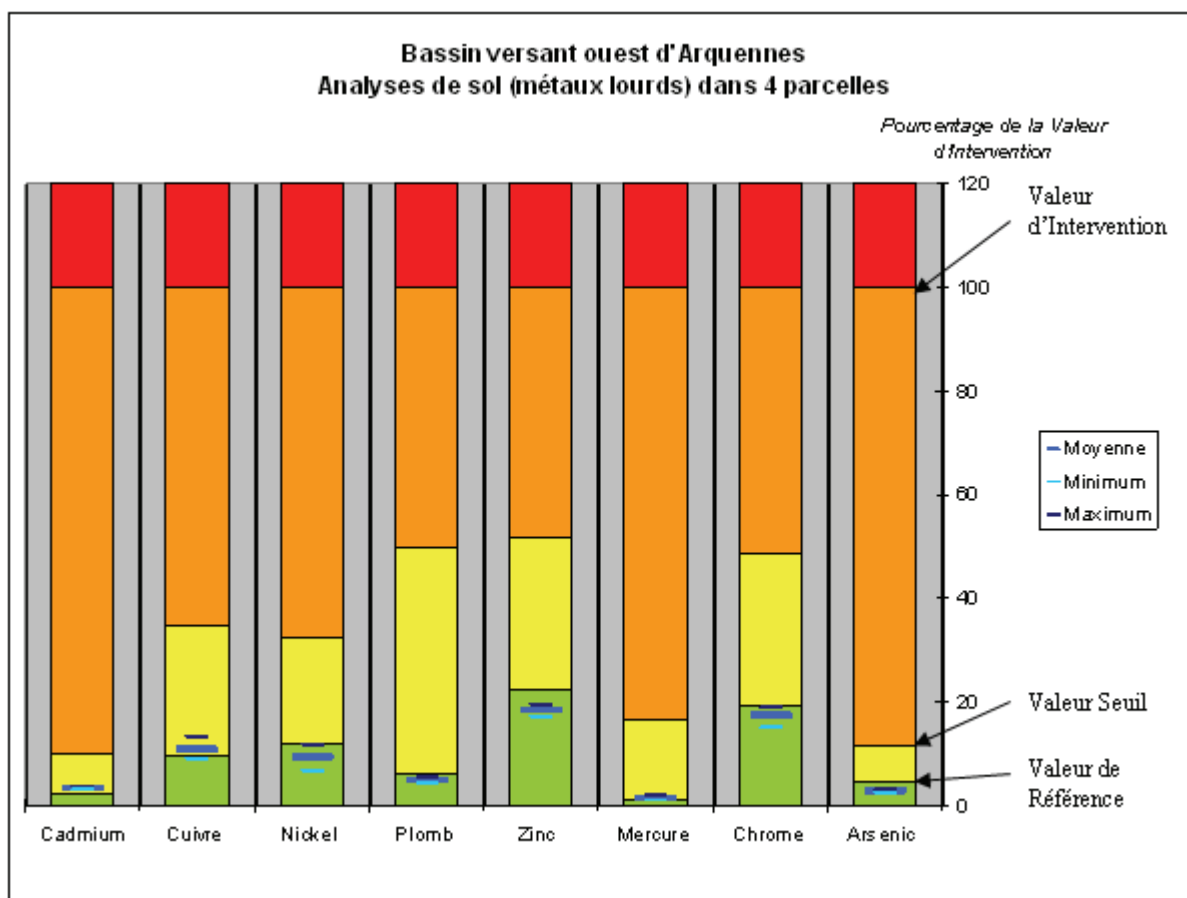


Figure 20. Graphique de comparaison des concentrations en métaux lourds dans 4 parcelles par rapport aux valeurs de référence, seuil et d'intervention définie par le décret sol.

L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé dans le cadre de l'analyse SWOT, au §10.2.3.

6.2 Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques sont une famille de solvants organiques, regroupant différents composés tel que les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène) et les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques).

Les BTEX sont essentiellement utilisés comme solvants dans l'industrie chimique et cosmétique, et dans l'imprimerie. Ils sont générés par l'industrie du charbon ou présents dans les combustibles et carburants.

⁴ Décret du 5 décembre 2008 relatif à la gestion des sols (M.B. 18.02.2009 - add. 06.03.2009 - entrée en vigueur le 18.05.2009)

Les HAP sont produits par les processus de combustion ou générés par les activités de traitement du charbon et de l'industrie pétrochimique ou encore utilisés comme intrants dans le traitement du bois.

La présence des HAP dans l'environnement est préoccupante, essentiellement à cause de leurs propriétés cancérigènes. Ils sont assez résistants à la biodégradation.

Les concentrations rencontrées par Warin (2005) dans l'étude de trois sites chantiers (parcelles cultivées en Hesbaye) sont de l'ordre de 0.01 mg/kg de terre sèche.

L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour la thématique des hydrocarbures est développé dans le cadre de l'analyse SWOT, au § 10.2.3.

6.3 Les hydrocarbures chlorés

Les composés chlorés sont issus de l'industrie pétrochimique. Ils comprennent notamment :

- les di-tri-tétrachlorométhane constituant de décapants pour peinture et vernis, dégraissants industriels ou domestiques, solvants, pesticides gazeux, agents propulseurs d'aérosols, agents gonflants dans la préparation de mousse d'uréthane, extraction dans l'industrie pharmaceutique et alimentaire ;
- le chlorure de vinyle ou chloroéthène utilisé pour la fabrication du PVC et la production d'autres composés chlorés ;
- le dichloroéthylène (solvant, extraction) ;
- le trichloroéthylène (solvant, dégraissant, extraction) et
- le perchloroéthylène (solvant, dégraissant, intervenait dans la fabrication de réfrigérant au fréon).

Les PCB (polychlorobiphényles) font également partie des hydrocarbures chlorés. Ils ont été utilisés jusque fin des années 70 comme lubrifiant, additif ou isolant électrique ; leur toxicité est dépendante du nombre et de la configuration spatiale des atomes de chlore.

6.4 Les antibiotiques

Aux Etats Unis, des antibiotiques sont régulièrement administrés aux animaux pour le traitement d'infections ou améliorer leur croissance. Environ 90 % des quantités administrées se retrouvent dans les fèces et urines (Kumar et al, 2005). Cependant, au cours du stockage (> 30 jours) des fumiers et lisiers, ces concentrations diminuent fortement (intensité dépendante de la température et du type d'antibiotique) ; les quantités finalement épandues sur les sols sont assez faibles. Il reste cependant que les antibiotiques présents initialement dans les effluents peuvent avoir un impact sur la diversité des populations bactériennes dans les effluents épandus et finalement dans le sol.

Par ailleurs, les analyses réalisées dans les eaux de surface et souterraines révèlent aux Etats Unis des concentrations 100 à 1000 fois inférieures aux seuils susceptibles d'engendrer une résistance à ces antibiotiques. Les sulfonamides, eu égard à leur faible capacité à être adsorbés par le sol, font cependant exception à cette conclusion (Lindsey et al, 2001 ; Sacher et al, 2001 cités par Kumar, 2005).

6.5 Les pesticides

Le terme pesticide ou produit phytosanitaire regroupe les substances chimiques destinées à repousser, détruire ou combattre les ravageurs et les espèces indésirables de plantes, d'animaux, de parasites et de champignons causant des dommages aux denrées alimentaires, aux productions et produits agricoles, au bois et aux produits ligneux. Le terme pesticide englobe l'ensemble des substances herbicides,

fongicides, insecticides, acaricides, bactéricides, molluscicides, nématicides, parasitocides, rodenticides, répulsifs, régulateurs de croissance, les défoliants, les dessiccants...

Les principaux modes de contamination sont les suivants :

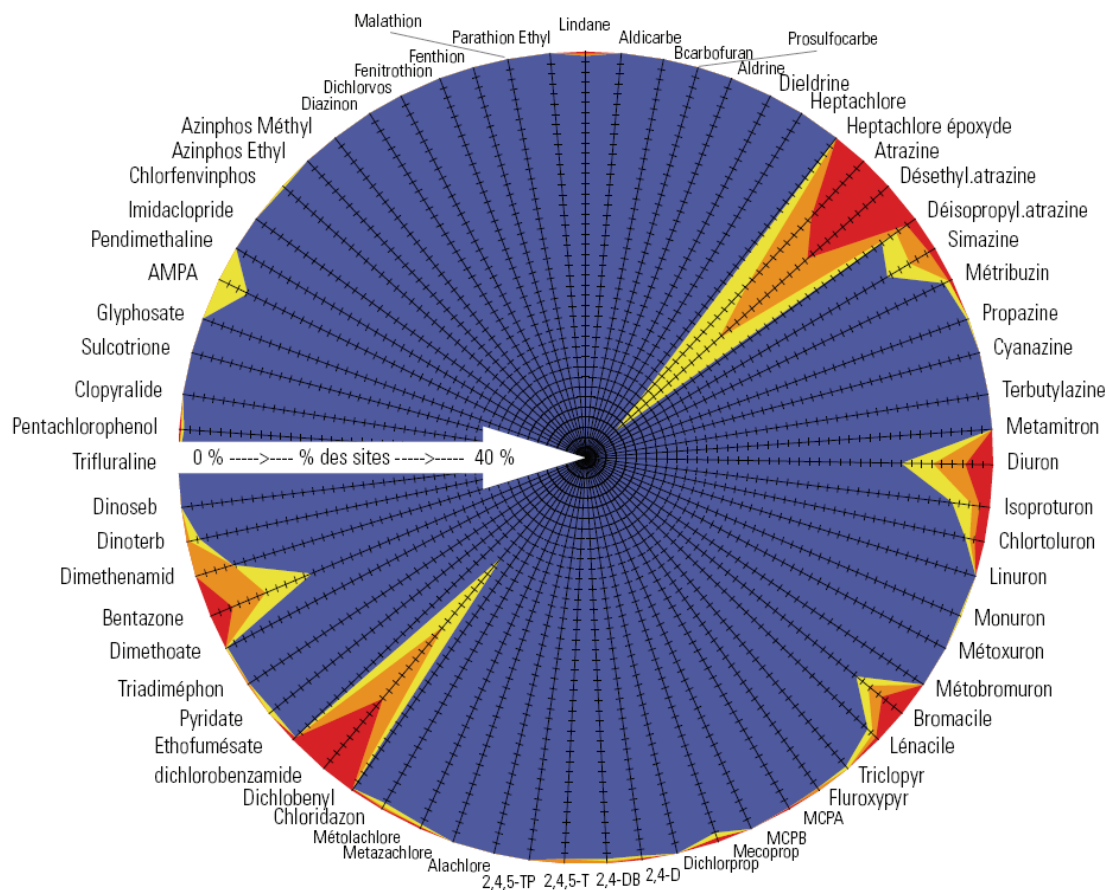
- l'infiltration dans les sols ;
- la dérive due au vent ;
- la dispersion par les eaux de ruissellement ;
- la lixiviation dans les eaux souterraines et dispersion dans le sous-sol.

6.5.1 La situation en région wallonne

En région wallonne, la qualité des eaux souterraines est suivie depuis plusieurs dizaines d'années par les producteurs d'eau et la D'GARNE. Soixante huit pesticides (y compris les métabolites) sont recherchés dans les eaux souterraines (Figure 21). Dans la plupart des situations, les dépassements de limite de potabilité sont causés par les herbicides à usage agricole ou non agricole (particuliers, communes, réseaux routiers et ferroviaires).

Parmi ces substances, huit sont plus préoccupantes car plus souvent présentes dans les prises d'eau. Dans ces situations, il n'est pas aisé pour un producteur d'eau de rétablir la potabilité de l'eau distribuée par une simple dilution avec de l'eau captée dans un masse d'eau « saine ».

Ces substances sont (par ordre décroissant d'occurrence dans les prises d'eau) : la déséthylatrazine, l'atrazine, la bentazone, le bromacile, le diuron, la simazine, l'isoproturon et le chlortoluron.



- teneurs maximales > 0,1 µg/l (dépassement des normes de potabilité)
- 0,025 ≤ teneurs maximales ≤ 0,050 µg/l ■ 0,05 ≤ teneurs maximales ≤ 0,1 µg/l
- teneurs maximales < 0,025 µg/l (non-détection conventionnelle)

* teneurs maximales observées dans les eaux extraites des 450 sites de captage les plus importants en Région wallonne

Source : MRW-DGRNE-DE (Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie)

Figure 21. Substances et métabolites recherchés dans les eaux souterraines en région wallonne (EEW 2006-2007)

6.5.2 Brève description des principaux pesticides

Isoproturon

Il s'agit d'une substance active herbicide, inhibitrice de la photosynthèse. L'isoproturon est absorbé par la plante, au niveau des feuilles et par les racines. Il agit essentiellement sur les graminées annuelles (folles avoines, vulpin, ray-grass) et possède une certaine action sur les dicotylédones. Il est utilisé en agriculture essentiellement sur les céréales. Il est très toxique pour les organismes aquatiques. Il est très persistant dans l'eau, peu persistant dans le sol.

Diuron

Il s'agit de la substance active d'un herbicide total de contact, agissant également sur le processus de photosynthèse. Son action s'exerce sur toutes les parties vertes des végétaux et plus particulièrement des dicotylédones. Son mode d'action particulier lui confère une propriété dessiccante (défanage,

dessiccation, binage chimique). Il est employé en agriculture, sur le domaine urbain ou bien encore pour un usage domestique. Cette substance active est interdite à la vente depuis décembre 2007 et son utilisation a été autorisée jusque fin 2008 car il est très toxique pour les organismes aquatiques. Il est très persistant dans l'eau et le sol.

Chloridazon

Le chloridazon aussi appelé pyrazon ou pyramine, est un herbicide de pré- et post-levée, contre les mauvaises herbes annuelles en betterave. Il agit par les feuilles et les racines et perturbe la fonction chlorophyllienne des adventices.

Glyphosate

Il s'agit d'un herbicide total systémique à large spectre. Il est employé en agriculture, sur le domaine urbain et par les particuliers. C'est l'herbicide le plus utilisé et le plus vendu au monde. La molécule est toujours accompagnée de son produit de dégradation, l'AMPA⁵. Il est toxique pour les organismes aquatiques.

Atrazine

Il s'agit de la substance active d'un herbicide sélectif et systémique, utilisé en traitement de pré et post-émergence à action foliaire et racinaire. Il inhibe la photosynthèse dans les adventices (graminées et dicotylédones).

Il est interdit à la vente depuis le 04/09/2004 et les stocks ont pu être utilisés jusqu'au 04/09/2005. Il était utilisé surtout comme herbicide total non agricole et pour la culture du maïs. Il est modérément persistant dans le sol et l'eau, et a un potentiel de lixiviation élevé.

Lindane

Le lindane est un insecticide et acaricide organochloré neurotoxique. Doté d'un très large spectre d'activité insecticide, il était utilisé en agriculture, en construction pour la protection du bois d'œuvre, en médecine vétérinaire et à usage domestique.

Il est interdit depuis le 1^{er} juin 2001 ; les stocks ont pu être utilisés jusqu'au 1^{er} juin 2002. Il était utilisé sur les cultures fruitières, légumières et céréalières, en traitement des semences, en sylviculture, pour la désinfection des sols, pour le traitement des poux et acariens. Il est persistant dans le sol et l'eau. Il est toxique pour les abeilles et s'accumule dans les poissons.

Simazine

Il s'agit de la matière active d'un herbicide de synthèse sélectif à action systémique, inhibiteur de photosynthèse. Elle était utilisée pour lutter contre les mauvaises herbes feuillues et graminées annuelles.

Cette substance est interdite par la décision 2004/247/CE du 10 mars 2004. Le délai de grâce pour l'utilisation a expiré au plus tard le 31 décembre 2007.

⁵ acide aminométhylphosphonique

Dichlobenil

Il s'agit d'un herbicide systémique à usage agricole et non-agricole.

L'usage des produits à base de dichlobénil comme herbicide total sur les terrains meubles non cultivés en permanence et terrains revêtus non cultivables est interdit depuis le 19/11/2007. L'usage sous arbres et arbustes ornementaux ainsi que les usages sous arbres et arbustes fruitiers est interdit depuis le 18/06/2009. L'utilisation des stocks quand à lui est interdit depuis le 18/03/2010.

Ce composé est très persistant dans l'eau, non persistant dans le sol, a un potentiel de lixiviation élevé, et est modérément toxique pour les abeilles.

Bentazone

Cf. § 2.9.2.2.

Bromacile

Le bromacile est un herbicide débroussaillant et herbicide total sur terres non cultivées et en cultures. Il est interdit depuis le 12/04/2003 (stock : 12/04/2004). Il est très persistant dans l'eau, modérément dans le sol, mobile dans le sol, et a un potentiel de lixiviation élevé.

Lenacile

Le lenacile est un herbicide sélectif systémique, absorbé par les racines, et utilisé en culture de betterave et culture d'épinard contre les dicotylées annuelles.

Chlortoluron

Le chlortoluron est un herbicide à action racinaire, dont le comportement est fortement influencé par la pluviosité et le type de sol (teneur en matières organiques notamment). Il est utilisé en pépinières pour les arbres et arbustes fruitiers, en production fruitières (pommiers-poiriers), et en culture céréalière.

6.5.3 Occurrence à Arquennes

La qualité de l'eau aux quatre prises d'eau situées à Arquennes est suivie, pour certains pesticides, depuis 1990 par la SWDE. Parmi les dizaines de pesticides recherchés, une douzaine est régulièrement décelée à des niveaux supérieurs à 1 ng/l (Tableau 4).

L'observation de ce tableau révèle également que les pesticides fréquemment retrouvés dans les masses d'eau souterraine wallonnes (cf. § 6.5.1) sont également présents (à l'exception du bromacile) à Arquennes. En cette matière, les deux bassins versants d'Arquennes sont donc représentatifs d'une situation courante en région wallonne.

Tableau 4. Pesticides présents et absents dans l'aquifère des deux bassins versants d'Arquennes

	Présents à Arquennes	Absents à Arquennes		
Principaux en RW	<i>Groupe 1</i>	<i>Groupe 2</i>		
	Atrazine Bentazone Chlortoluron Déséthylatrazine Diuron Isoproturon Simazine	Bromacile		
Autres recherchés en RW	<i>Groupe 3</i>	<i>Groupe 4</i>		
	Chloridazon Désisopropylatrazine Dichlorobenzamide Dinoterb Propazine	2,4 D 2,4,5-T 2,4,5-TP 2,4-DB Alachlore Aldicarbe Aldrine AMPA Azinfos Ethyl Azinfos Méthyl Bcarbofluran Chlorfenvinphos Clopyralide Cyanazine Diazinon Dichlobényl Dichlorprop Dichlorvos Dieldrin	Dimethenamid Diméthoate Dinoseb Ethofumésate Fénitrothion Fenthion Fluoxypyr Glyphosate Heptachlore Heptachlore époxyde Imidaclopride Lénacile Lindane Linuron Malathion MCPA MCPB Mécoprop	Metamitron Métazachlore Métobrumuron Métolachlore Métoxuron Métribuzin Monuron Parathion Ethyl Pendimethaline Pentachlorophénol Prosulfocarbe Pyridate Sulcotrione Terbutylazine Triadiméphon Triclopyr Trifluraline

L'évolution des concentrations des pesticides des groupes 1 et 3 (observés à Arquennes) est illustrée ci-après dans les Figure 22 à Figure 29. La bentazone, l'atrazine et ses deux produits de dégradation ont fait l'objet d'un commentaire ci-avant (page 24, paragraphe 2.9.2.2).

Les autres pesticides ne présentent pas de concentration alarmante. A noter la baisse de concentration du dichlorobenzamide qui, au milieu des années 2000, présentaient une concentration de l'ordre de 70 ng/l dans les deux émergences.

L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé dans le cadre de l'analyse SWOT, au § 10.2.4.

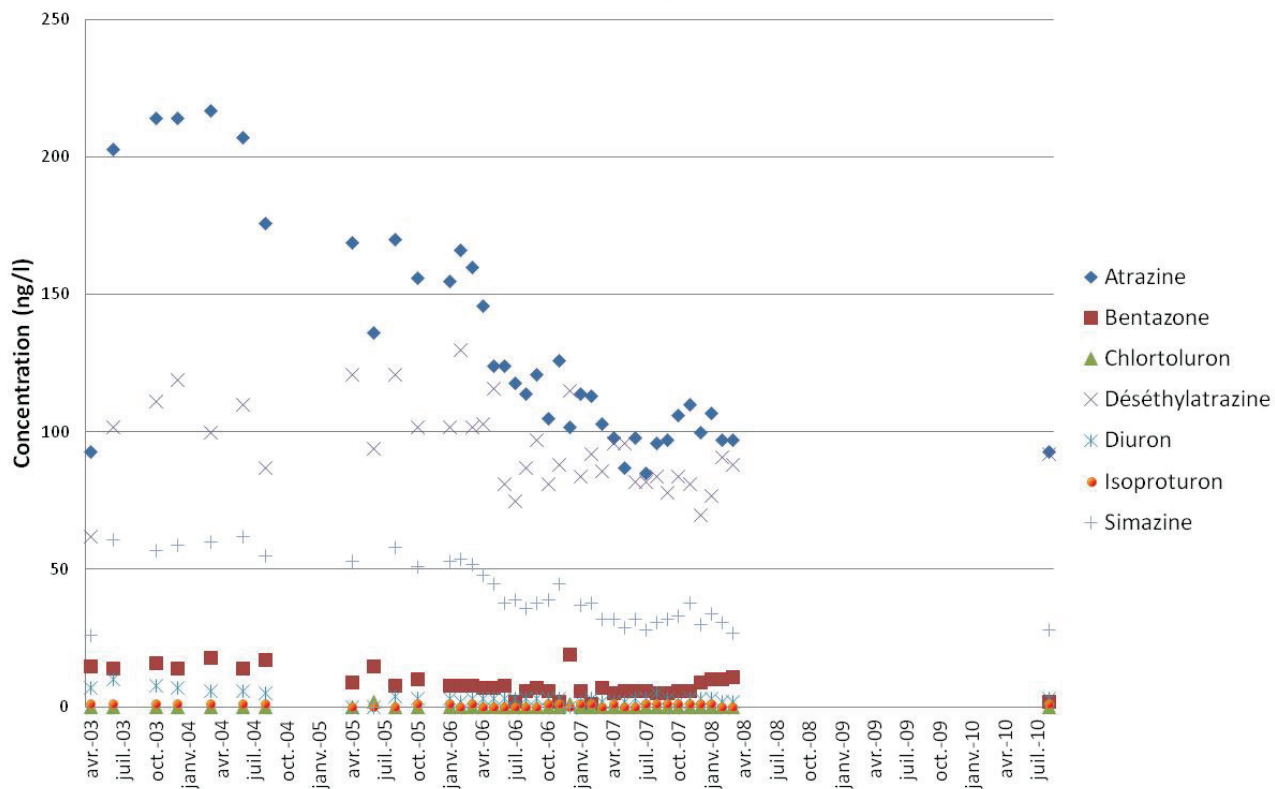


Figure 22. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à l'émergence E1

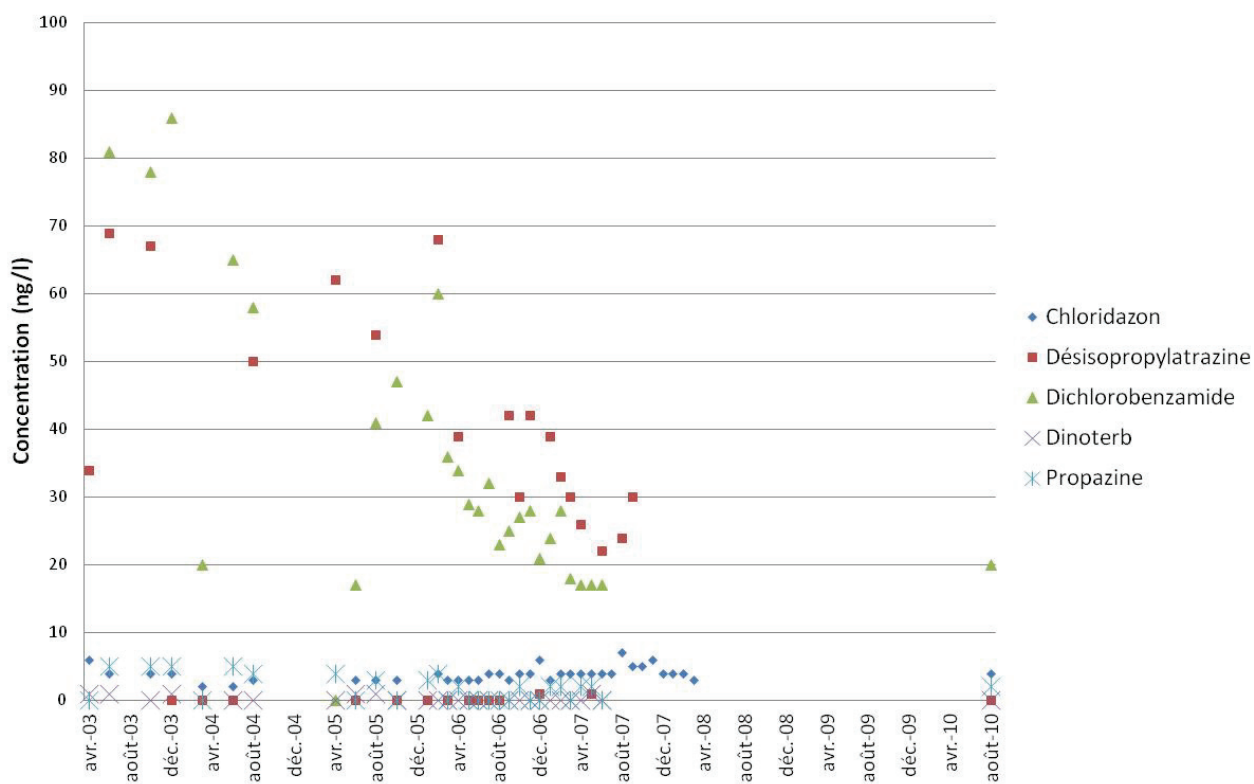


Figure 23. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à l'émergence E1

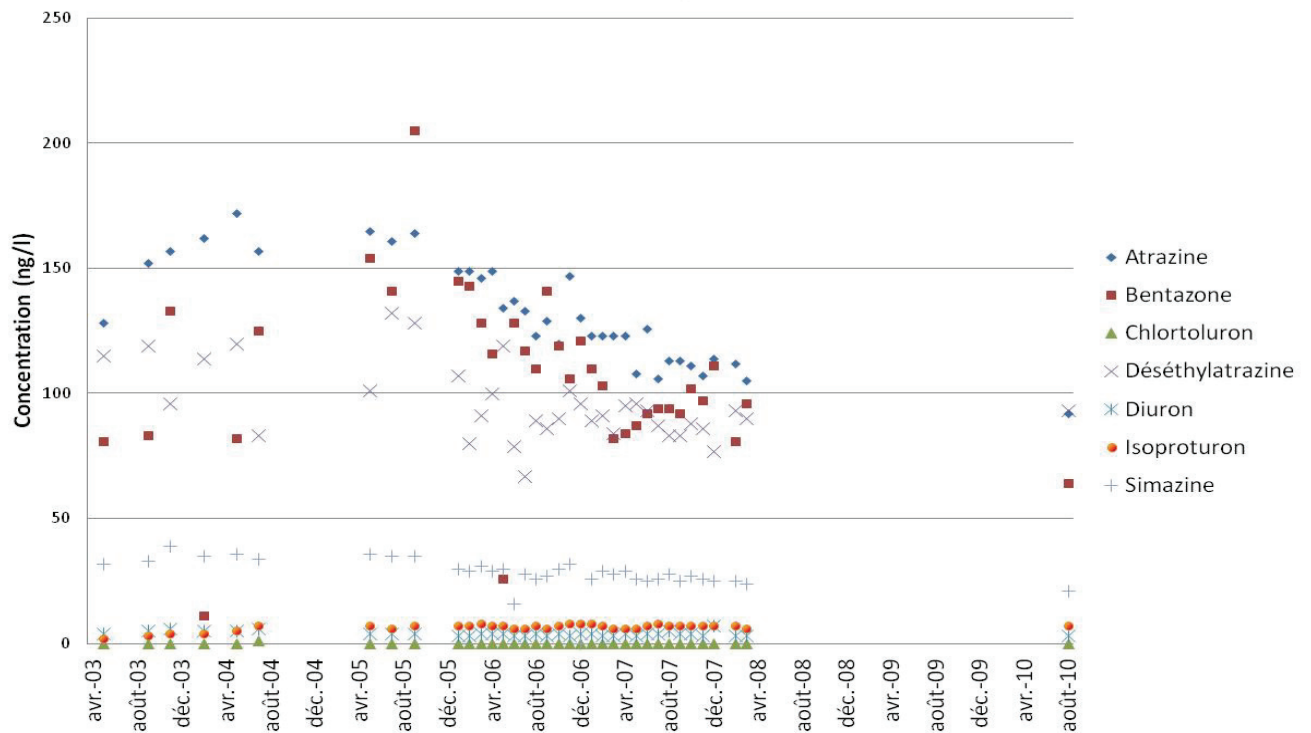


Figure 24. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à l'émergence E2

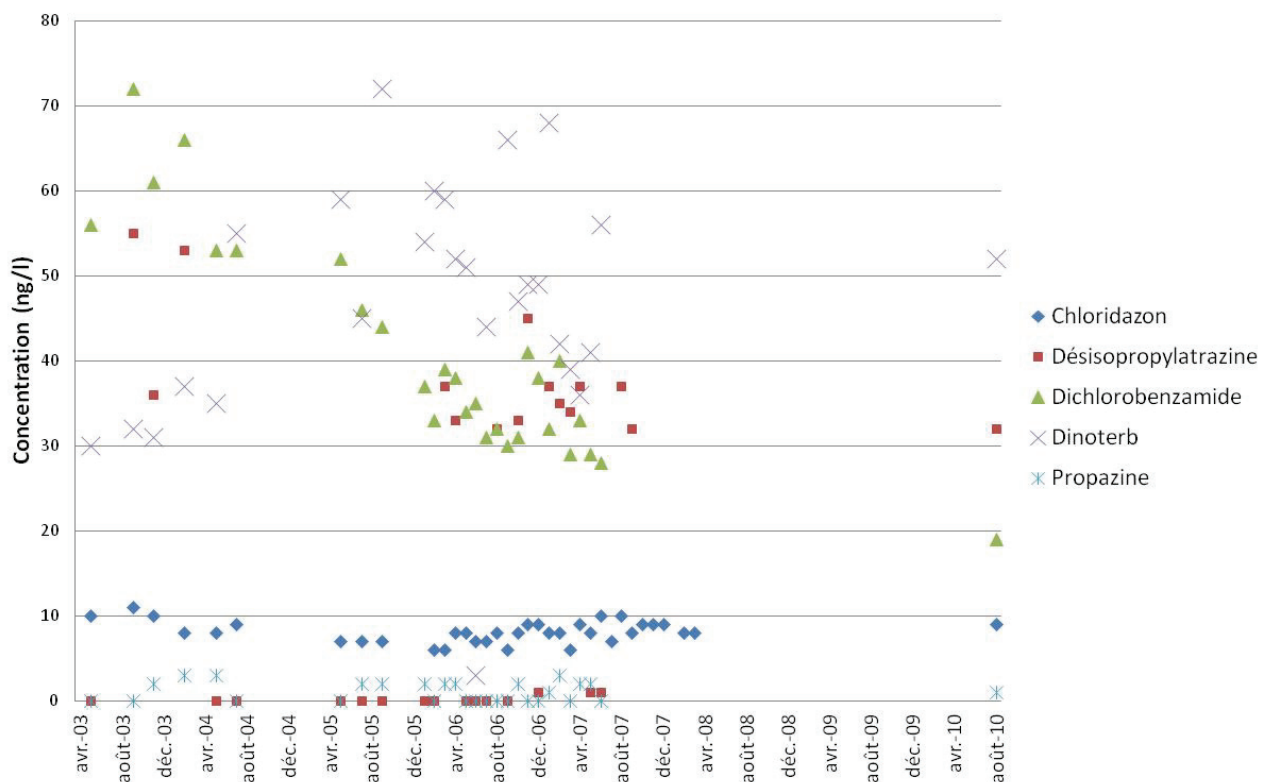


Figure 25. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à l'émergence E2

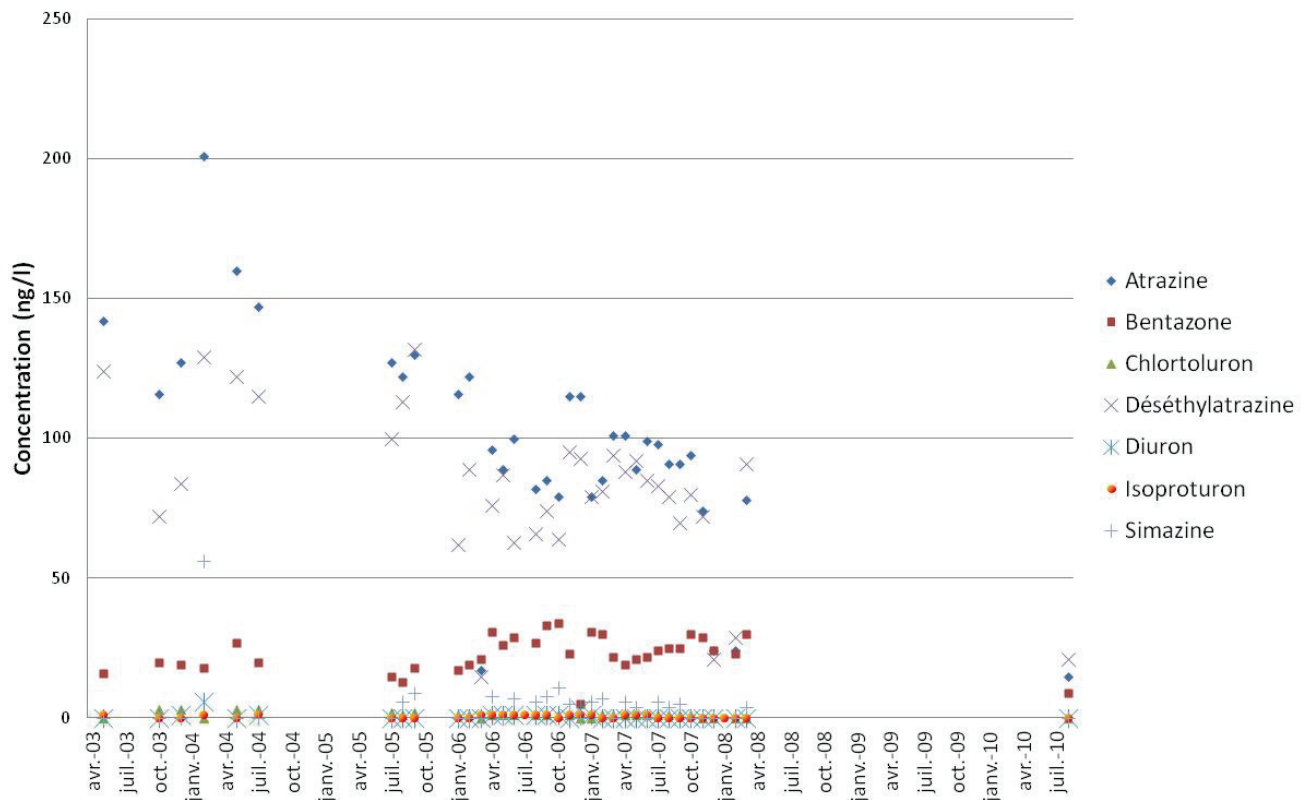


Figure 26. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à la galerie G3

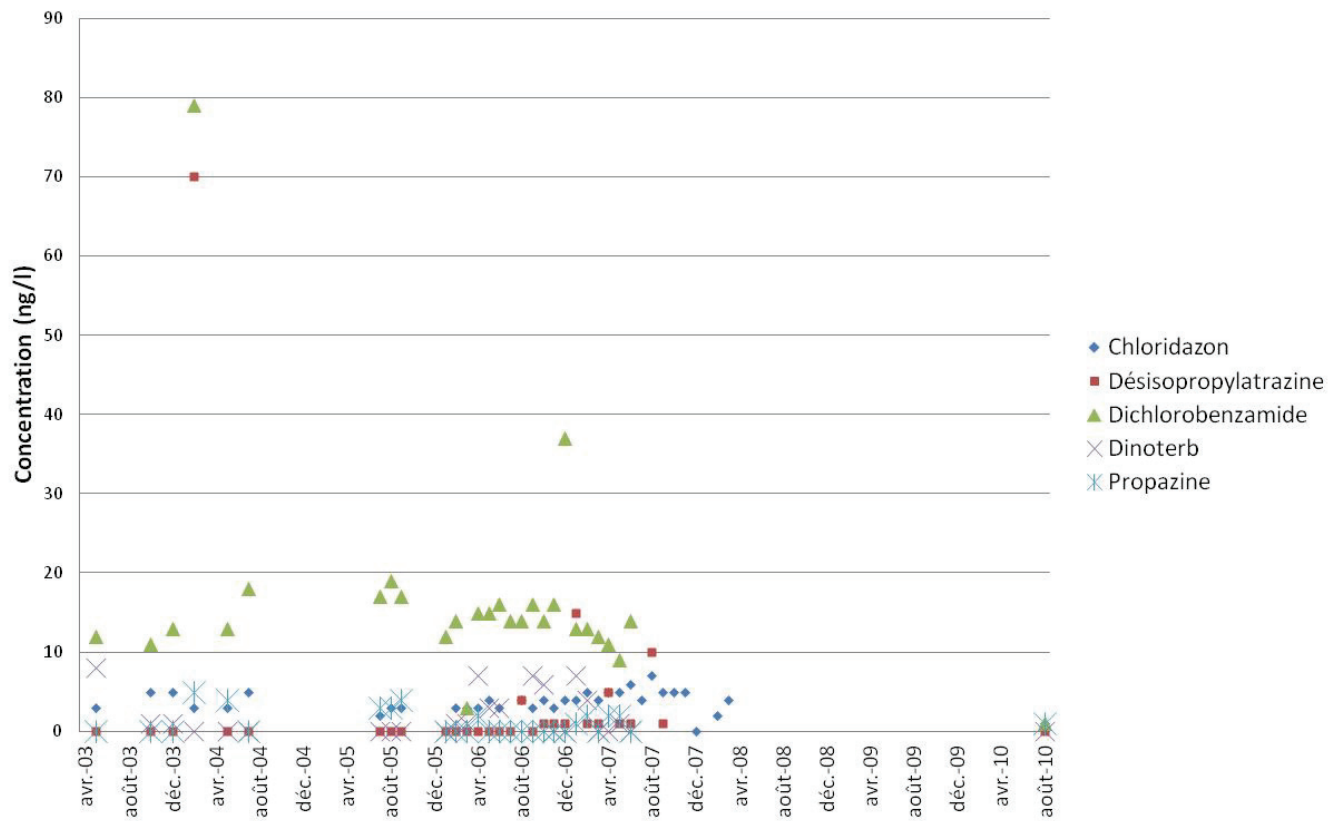


Figure 27. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à la galerie G3

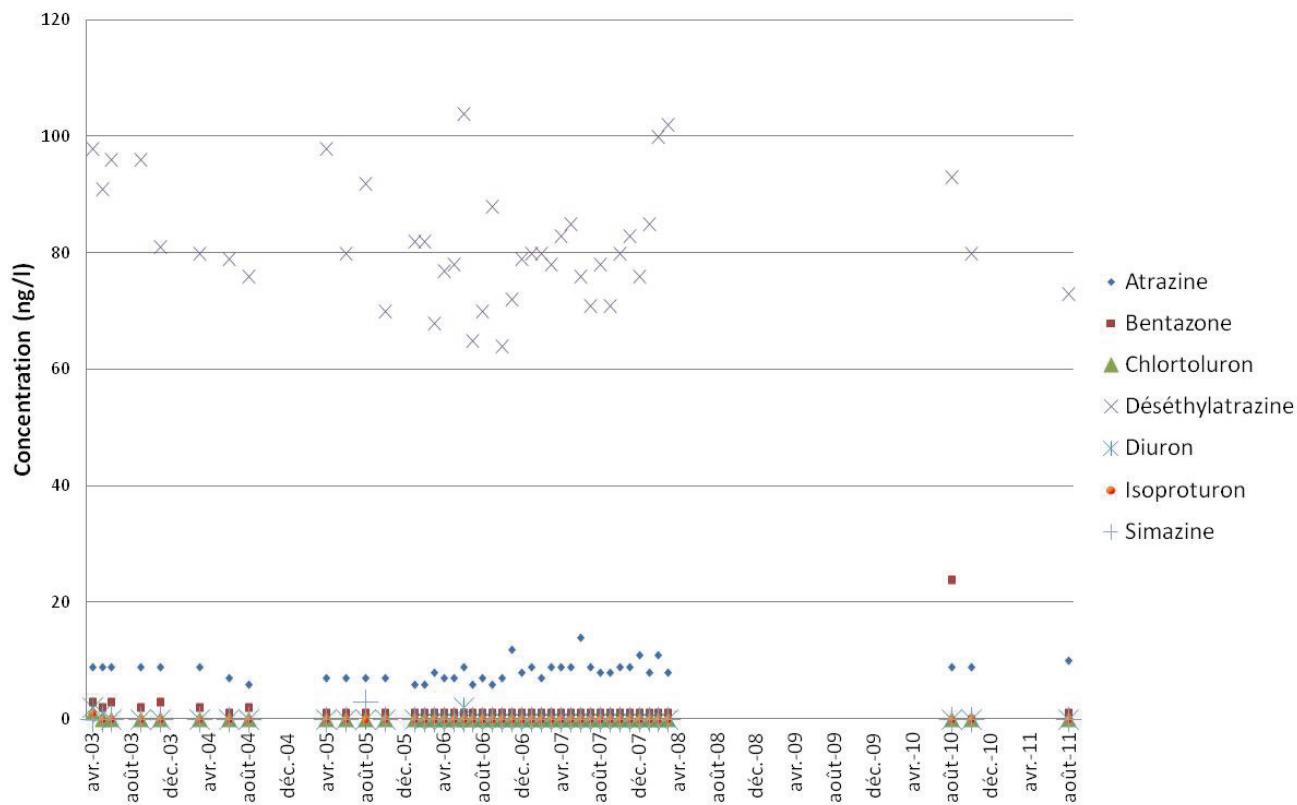


Figure 28. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 1 à la galerie G6

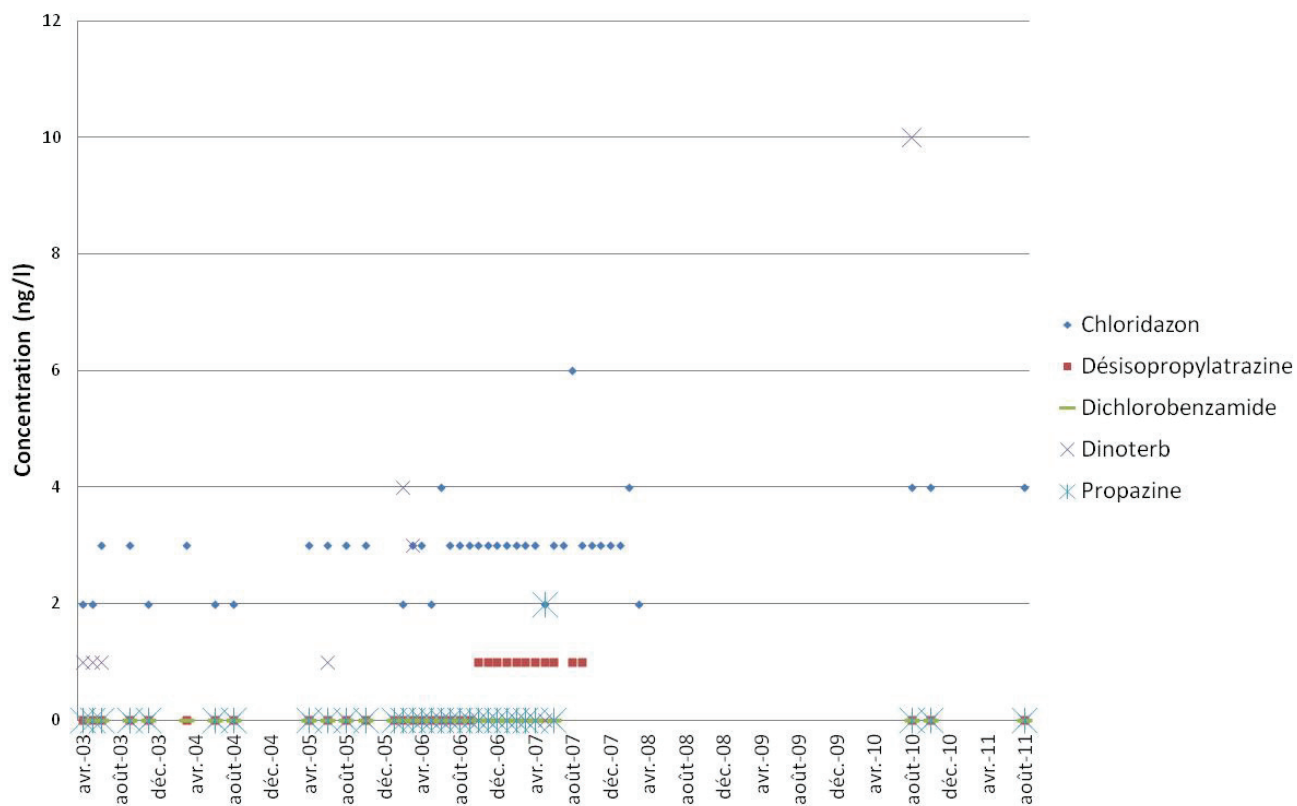


Figure 29. Evolution de la concentration en pesticides du groupe 3 à la galerie G6

6.6 L'azote

Cet élément est présent dans la matière organique du sol, dans les cellules des végétaux et autres organismes vivants. Il occupe par conséquent un poids non négligeable dans un sol agricole : de l'ordre de 3 tonnes par hectare. Seule la forme nitrique de l'azote, en solution dans l'eau du sol est assimilée par les plantes. Sous cette forme, l'azote n'est présent qu'à concurrence de quelques dizaines de kilogrammes par hectare.

Etant essentiel au développement des cultures, au rendement (quantitatif) et à la qualité des productions agricoles, il fait l'objet d'apports réguliers et parfois excessifs (pour ne pas risquer de compromettre le potentiel de rendement).

Dans les parcelles situées sur les bassins versants d'Arquennes, les pratiques de fertilisation sont encadrées depuis 2004 par les conseillers de Nitrawal asbl de sorte que, à l'une ou l'autre exception près, la fertilisation azotée des cultures peut être considérée comme bien raisonnée.

Ces pratiques marquent leurs effets sur trois indicateurs :

1. les APL⁶ mesurés depuis 2004 dans les parcelles des deux bassins versants sont quasiment toujours conformes ; c'est-à-dire inférieurs aux limites établies annuellement et correspondant à une gestion raisonnée de l'azote ;

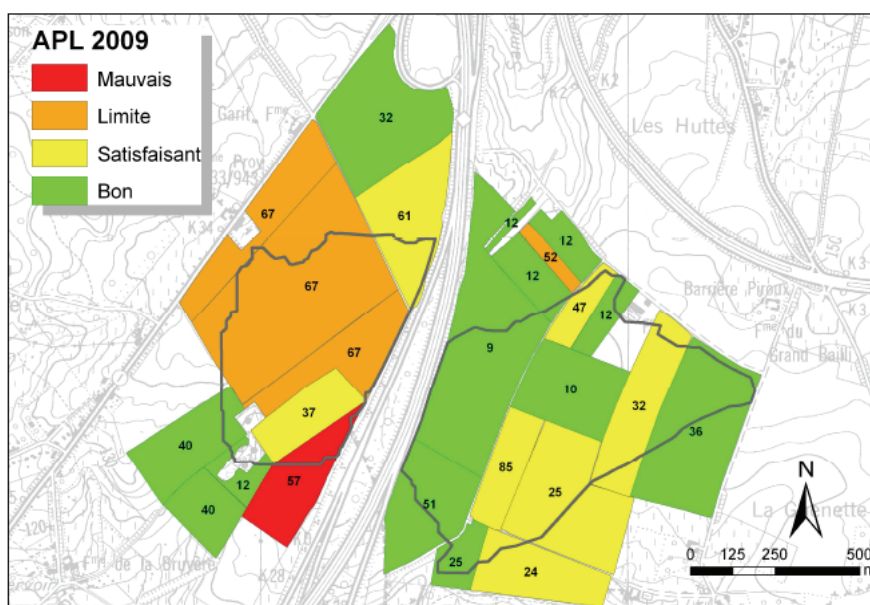


Figure 30. Evaluation des APL mesurés dans les parcelles des bassins versants d'Arquennes en 2009 (Source : Nitrawal asbl)

2. le solde (différence entre les apports (engrais, ...) et exportations (produit des récoltes)) du bilan d'azote des bassins versants est inférieur à celui calculé à l'échelle de l'arrondissement (Nivelles) ou de la région wallonne (cf. § 11.3) et
3. la diminution sensible (de l'ordre de 10 mg/l) des concentrations en nitrate par rapport aux observations réalisées début des années 2000 (Figure 13).

Les travaux de modélisation des flux réalisés avec l'outil SWAT dans la zone racinaire (Gembloux Agro-Bio Tech GRENeRA) et avec FEFLOW dans les zones vadose et saturée (Aqualé Ecofox) ont montré que le temps de transfert du nitrate de la surface du sol jusqu'au toit de la nappe est de l'ordre de 2 à 5 ans compte tenu des épaisseurs de sol et des pluviométries hivernales rencontrées. Ces

⁶ Azote Potentiellement Lessivable : concentration en azote nitrique du sol mesurée (0-90 cm) en début de période de lixiviation.

conclusions concordent avec les observations réalisées aux exutoires des deux bassins versants (paragraphe précédent)

Pour cette thématique et compte tenu des actions menées depuis 7 ans, les bassins versants d'Arquennes constituent dès lors un excellent observatoire à échelle réelle de l'efficacité du Programme de Gestion Durable de l'Azote sur la qualité de l'eau.

L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé plus encore dans le cadre de l'analyse SWOT, au §10.2.5.

6.7 Le phosphore

Après l'azote, le phosphore est un des éléments nutritifs majeurs pour les plantes. Dans le sol, il peut être lié à la matière organique (20 à 60% du phosphore total), à des composés minéraux (40 à 80% du phosphore total) ou être sous forme disponible pour les plantes ; cette dernière forme ne représentant que de l'ordre de 10 % du phosphore total ou 9 mg P/100 g de sol (Genot et al, 2007) soit environ 240 kg P/ha.

Le phosphore peut changer de « compartiment » par des processus physico-chimiques ou biologiques :

- de solubilisation ou de rétrogradation (phosphore disponible ⇔ phosphore lié à des composés minéraux)
- de minéralisation ou d'organisation (phosphore disponible ⇔ phosphore lié à des composés organiques)

Compte tenu du contexte pédologique wallon (importance des fractions argileuse et limoneuse et richesse en matière organique) et des phénomènes mentionnés ci-dessus, la lixiviation de phosphore (sous forme de phosphate) est insignifiante. Dans les prises d'eau d'Arquennes, la concentration est de l'ordre de 0,2 mg/l PO_4^{3-} .

Les pertes de phosphore se font essentiellement via érosion et entraînement des sédiments vers les cours d'eau. Ces flux, lorsqu'ils sont importants, conduisent, en combinaison avec les flux de nitrate, au phénomène d'eutrophisation dans les cours d'eau (prolifération excessive des végétaux dont la respiration nocturne puis la décomposition à leur mort provoquent une diminution de la teneur en oxygène de l'eau et en conséquence, une diminution de la diversité animale et végétale dans les cours d'eau).

Dans une phase exploratoire, des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés à quatre reprises dans le bassin d'orage installé à l'exutoire du bassin versant ouest (Photo 4).

Les analyses réalisées dans l'eau de ruissellement indiquent une qualité de l'eau (selon l'échelle SEQ-EAU) passable à médiocre (Tableau 5).

Tableau 5. Résultats d'analyse des échantillons d'eau de ruissellement

Date de prélèvement	P orthophosphates de l'eau (mg PO_4^{3-} /l)
29/06/2010	1
13/07/2010	0.6
15/07/2010	0.5
27/07/2010	1.2

Quelques valeurs repères (EEW, 2010) :

- > 2 mg PO_4^{3-} /l Mauvais
- 1 à 2 Médiocre
- 0,5 à 1 Passable
- 0,1 à 0,5 Bon
- < 0,1 Très bons

Les analyses des échantillons de sédiments ont mis en évidence (Tableau 6) des concentrations régulièrement observées (60 à 200 mg Ptotal/l) dans les sédiments des cours d'eau (Source : GxABT – BEAGx).

Tableau 6. Résultats d'analyse des échantillons de sédiments

Date de prélèvement	P total des sédiments (mg P/100g)
29/06/2010	262
13/07/2010	66
15/07/2010	70
27/07/2010	64

Ces quelques résultats illustrent l'intérêt des bassins versants d'Arquennes dans l'étude de la problématique des flux de phosphore vers les eaux de surface. L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé plus encore dans le cadre de l'analyse SWOT, au §10.2.6.

7 L'IMPERMÉABILISATION

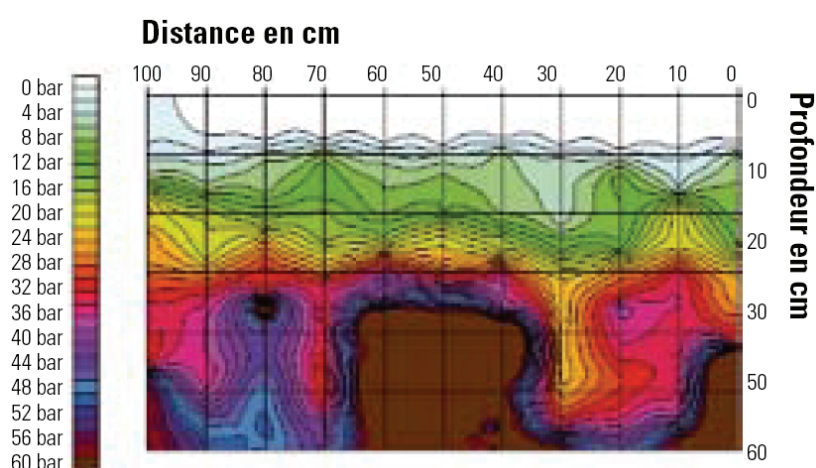
L'imperméabilisation des sols consiste à recouvrir ces sols en permanence de matériaux imperméables (asphalte, béton, ...) pour réaliser des bâtiments, des routes ou des aménagements fonciers. En région wallonne, ces superficies représentent de l'ordre de 45.000 ha, soit 2,5% du territoire. Entre 1986 et 2004, ces superficies ont augmenté de 18% (Grandjean et al, 2007).

Les deux bassins versants d'Arquennes présentent des superficies imperméabilisées négligeables (< 1%). Les deux sites sont classés en zone agricole au plan de secteur et sont situés dans une région (Nivelles, Seneffe) où la disponibilité de terrain industriel est encore importante. A moyen terme, le risque d'imperméabilisation d'une partie de ces deux bassins versants est donc très faible.

8 LE TASSEMENT

La structure d'un sol est définie par l'arrangement spatial des constituants minéraux et organiques qui conduit à un assemblage de fragments terreux (agrégats et mottes) de différentes tailles et son complémentaire, à savoir l'arrangement des pores ou des vides dans le sol (Citeau et al, 2008). La circulation de l'air, de l'eau et des éléments nutritifs qu'elle véhicule est conditionné par la taille et le nombre de ces pores.

L'évaluation de la compaction d'un sol peut se faire par la mesure de sa densité ou plus simplement



avec un pénétromètre (mesure de la pression nécessaire pour enfoncer une « aiguille » dans un sol). La Figure 31 illustre le profil d'un sol agricole sondé à l'aide de cet outil. On y observe une couche peu compacte en surface (suite à un travail du sol) et une couche plus compacte en profondeur (la pression nécessaire à l'enfoncement de l'aiguille est 5 à 10 fois supérieure).

Figure 31. Mesure de la compaction d'un sol au moyen d'un pénétromètre (CRAw)

Lorsque le sol est soumis à une forte pression (lors du passage d'engins lourds), sa porosité (proportion de vides) va diminuer, pénalisant la circulation de l'air et de l'eau. Ce phénomène de tassement va avoir un impact sur :

- la vie du sol (diminution de l'activité des organismes vivants par des conditions plus anaérobies) ;
- le ruissellement et l'érosion ;
- la fertilité du sol (principalement pour des cultures telles que la betterave, la pomme de terre et le maïs).

Compte tenu du contexte agricole des bassins versants d'Arquennes et de la taille des exploitations qui y sont actives (recours régulier à des engins lourds), l'occurrence de cette menace y est probable. L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé plus encore dans le cadre de l'analyse SWOT, au §10.2.7.

9 LA BIODIVERSITÉ

Le sol est un milieu vivant siège d'une importante biodiversité (Figure 32). On y trouve de l'ordre de 10.000 milliards de procaryotes (bactéries ou archées) par kg de sol, entre 100 et 500 millions de protistes par m², plusieurs millions de microarthropodes ou de nématodes par m², plus de 130.000 enchytrées par m² et de 250.000 à 5 millions de vers de terre par hectare (André, 2006).

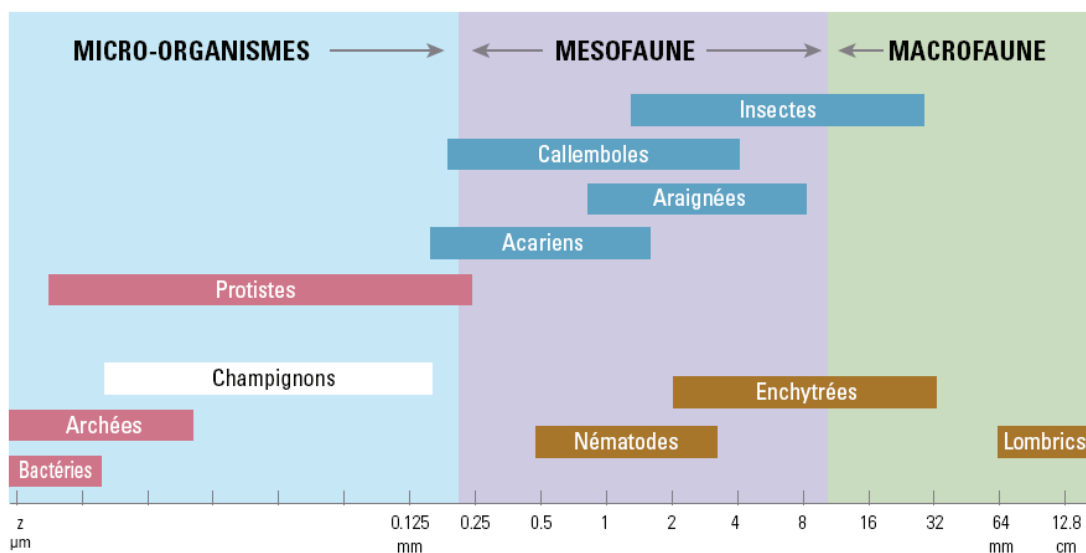


Figure 32. Les organismes dans le sol classés selon leur taille (EEW 2006-2007)

Cette biodiversité représente plusieurs tonnes par hectare de sol.

Grâce aux progrès en matière de séquençage de l'ADN, il a été possible d'estimer le nombre de génotypes de bactéries par gramme de sol : de 10⁴ à 10⁶.

Philippe Lemanceau⁷ rappelait lors d'un séminaire « RMT Fertilisation et Environnement » le 7 janvier 2011 (<http://78.155.145.122/rmtferti/moodle/mod/resource/view.php?id=345>), que la biodiversité est essentielle pour la productivité et la stabilité des écosystèmes ; citant :

Darwin (1859) : « *Les communautés les plus diverses seraient plus productives (fixation du carbone) et plus stables (résistantes aux perturbations)* ».

Elton⁸ (1958) : « *Une réduction de la complexité résulterait en une diminution de la stabilité* ».

Pour appuyer ses propos, il cite Van Der Heijden (1998) qui a montré que la productivité (biomasse) et la consommation de nutriments par les plantes sont dépendantes, entre autres, de l'importance (nombre d'hyphe) et de la biodiversité des populations de champignons mycorhiziens (Figure 33).

⁷ Chercheur à l'INRA de Dijon

⁸ Ecologue et zoologiste britannique

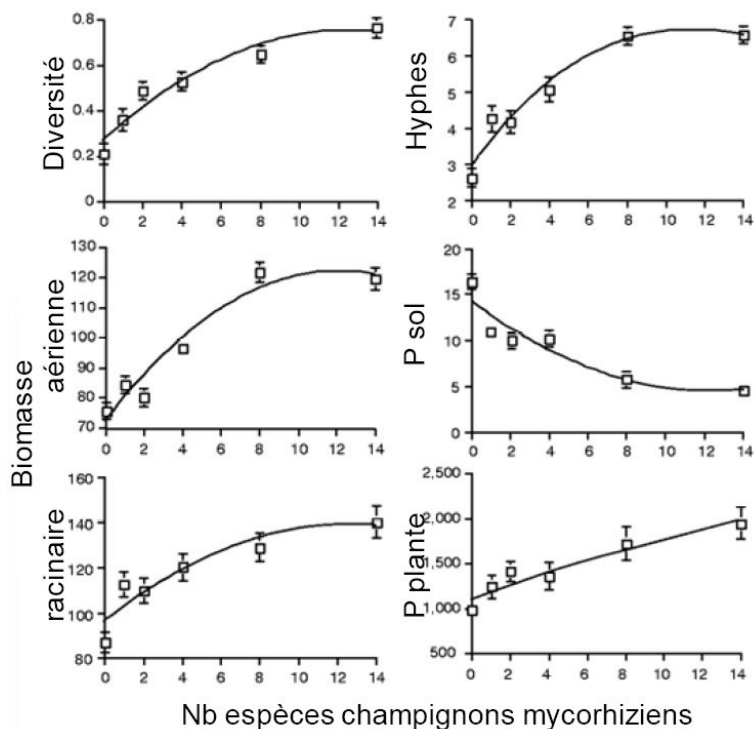


Figure 33. Influence du nombre d'espèces de champignons mycorhiziens sur la productivité. (Van Der Heiden, 1998)

Etant donné l'absence de travail du sol et l'utilisation quasiment nulle de pesticides dans les prairies, les populations microbiennes sont naturellement plus riches et plus nombreuses dans ces sols que dans les sols cultivés.

Philippot (2009) a mis en évidence l'importance de certaines bactéries sur le terme de la dénitrification en relation avec le pH du sol (Figure 34) : à pH bas, ces bactéries sont moins présentes et une proportion plus importante de N_2O est émise.

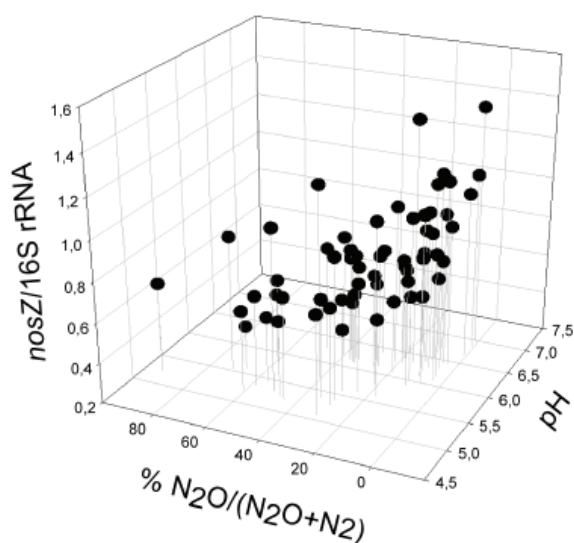


Figure 34. Relation entre la proportion d'un gène donné dans la population de bactérie, la dénitrification et le pH du sol (Philippot, 2009).

Degens et al (2001) ont testé l'impact de différents stress sur l'activité catabolique dans deux types de sol. Ils ont ainsi pu montrer que l'activité catabolique est beaucoup moins perturbée dans un sol de prairie que dans un sol cultivé suite à une modification de la salinité, du pH, à une contamination par le cuivre ou à des alternances de gel/dégel ou de sécheresse/humidité (Figure 35).

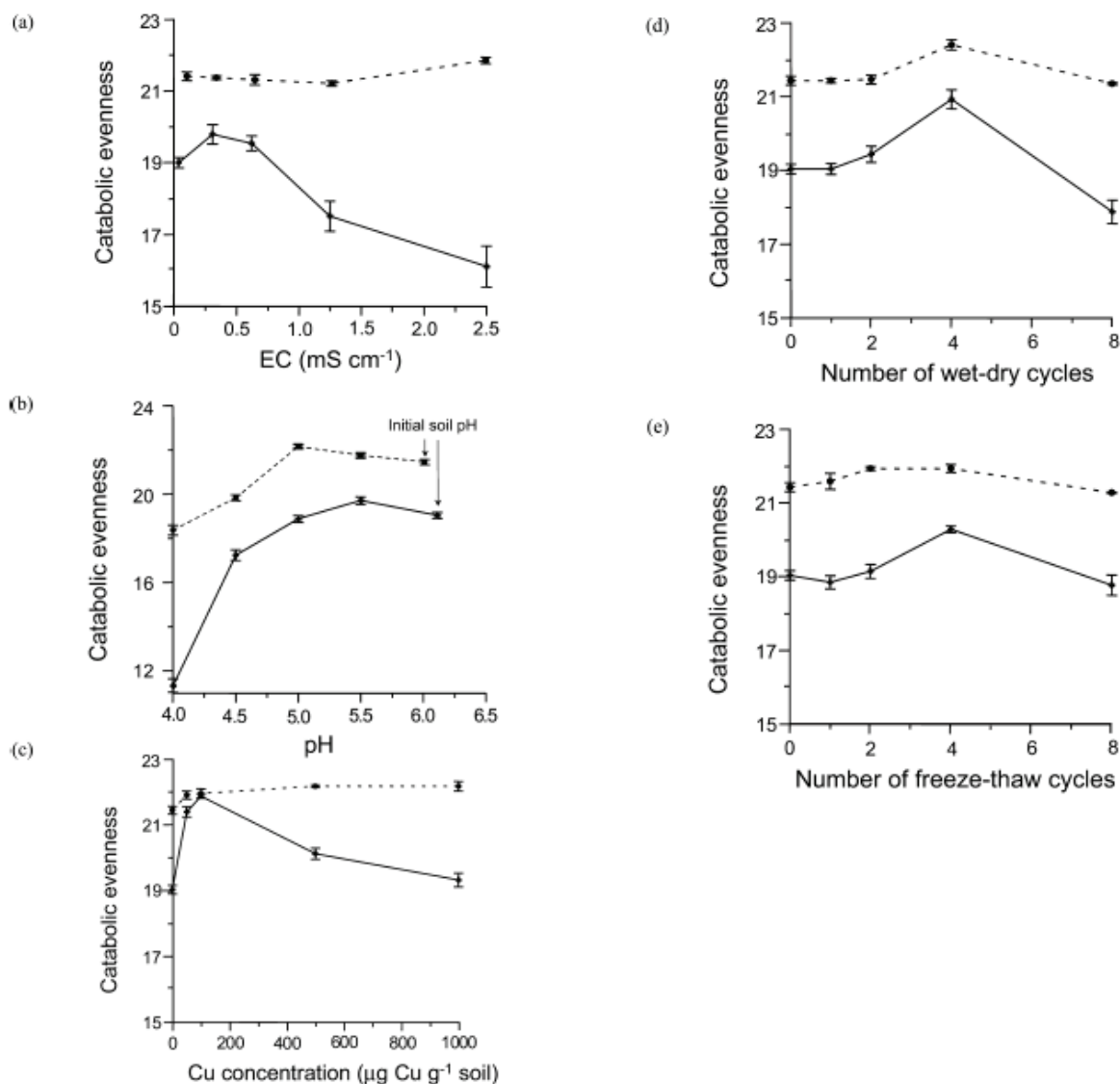


Figure 35. Réponse de l'activité catabolique microbienne à des stress croissant causés par une augmentation de la salinité (a), une diminution du pH (b) ou de la contamination par le Cu (c), par des cycles de variation d'humidité (d) ou de température (e) dans un sol de prairie (trait pointillé) ou de culture (trait plein) (Degens et al, 2001)

L'intérêt des bassins versants pilotes d'Arquennes pour cette thématique est développé dans le cadre de l'analyse SWOT, au § 10.2.8.

10 INTÉRÊT DU BASSIN VERSANT D'ARQUENNES DANS L'ÉTUDE DES PROBLÉMATIQUES ENVIRONNEMENTALES

10.1 Méthodologie d'évaluation

En vue d'évaluer l'intérêt du bassin d'Arquennes pour suivre telle ou telle problématique régionale, il convient d'établir et d'utiliser une méthode qui puisse être appliquée à différents cas de figures (pollution ponctuelle ou diffuse, eau souterraine ou de surface, ...).

La méthode SWOT (Ghazinoory et al., 2011), (Ghazinoory et al., 2011) imposée par le SPW dans le cadre de cette étude, est une approche analytique qui peut aider à répondre à cette demande.

Elle repose sur quatre questions :

- Strenghts (forces)
- Weaknesses (faiblesses)
- Opportunities (opportunités)
- Threats (menaces ou obstacles)

Strenghts : les forces sont les aspects positifs contrôlés sur lesquels on peut bâtir. Dans le cas présent, il s'agit entre autres de données, d'informations pertinentes dans le cadre de la problématique ciblée et déjà acquises.

Weaknesses : par opposition aux forces, les faiblesses sont les aspects négatifs, pour lesquels des améliorations sont éventuellement possibles. Dans le cas présent, il s'agit de données manquantes.

Opportunities : il s'agit des possibilités dont on peut éventuellement tirer parti dans le contexte des forces et faiblesses actuelles. Dans le cas présent, il s'agit de données, d'informations qu'il est possible de collecter 'aisément' dans le contexte du bassin versant.

Threats : les menaces sont les problèmes, obstacles ou limitations qui peuvent empêcher le développement. Dans le cas présent, il s'agit de données, d'informations qu'il sera difficile, voire impossible, de collecter dans le contexte du bassin versant.

Ces facteurs peuvent être classés selon deux critères : positif/négatif et actuel/futur.

	Positif	Négatif
Actuel	Strenghts	Weaknesses
Futur	Opportunities	Threats

10.2 Application aux bassins versants d'Arquennes

10.2.1 L'érosion et le ruissellement

Compte tenu des éléments développés dans la matrice SWOT (Tableau 7) et des observations déjà réalisées en 2010 et 2011, il apparaît que les bassins versants d'Arquennes présentent un intérêt certain pour la mesure de ces flux.

Par ailleurs, vu l'absence d'aménagements anti-érosifs, l'impact de tels dispositifs installés dans le futur pourraient être efficacement étudiés.

Enfin, le talweg situé dans le bassin versant ouest a la forme d'un fossé de 50 cm de profondeur et d'un mètre de large qui n'est pas « exploité » par les agriculteurs riverains. Ce fossé pourrait utilement et à faible coût être aménagé pour enregistrer les flux de ruissellement hypodermique.

Tableau 7. Matrice SWOT pour l'érosion

<u>Forces</u>		<u>Faiblesses</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Bassins versants topographiques délimités - Caractérisation pédologique optimale - Intégralité des bassins topographiques en zone agricole - Dispositif de récolte des sédiments érodés (bassin d'orage à l'exutoire du bassin ouest) - Pas de MAE ni de zone tampon en aval du talweg - Station IRM proche (~3 km) 	<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de dispositif sur le bassin est
<u>Flux (In /Out)</u>		<u>Flux (In/Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune mesure actuellement
<u>Opportunités</u>		<u>Obstacles</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Enregistrer les pratiques en matière de travail du sol - Installer un dispositif de mesure des flux de ruissellement hypodermique 	<u>Système</u>	
<u>Flux (In/Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer à l'exutoire du bassin versant ouest les quantités de sédiments érodés et les flux de ruissellement - Installer un dispositif léger sur le bassin est pour mesurer les flux de ruissellement 	<u>Flux (In/Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Erosion éolienne non mesurable

10.2.2 La matière organique

Compte tenu des éléments développés dans la matrice SWOT (Tableau 8), il apparaît que les bassins versants d'Arquennes ne présentent qu'un intérêt restreint en comparaison aux travaux menés depuis plusieurs années par Réquasud et plus particulièrement par son laboratoire de référence en matière de sol (GxABT – Unité de Science du sol).

En effet, les laboratoires provinciaux (membres de Réquasud) réalisent depuis de nombreuses années quelques 20.000 analyses par an dans les parcelles agricoles de Wallonie. Depuis peu, le géoréférencement des parcelles est réalisé à l'aide d'un GPS.

Cette qualité de géoréférencement, couplée à l'existence d'une carte numérique des sols (projet CNSW) sur l'entièreté de région wallonne ouvre des perspectives plus intéressantes que celles envisageables sur les deux bassins versants d'Arquennes.

Par ailleurs, des essais de longue durée (plusieurs décennies) sont en cours dans des milieux mieux contrôlés (CRA-W, GxABT) afin d'évaluer l'impact de certaines pratiques (telles que l'absence d'apport de toute forme de carbone) sur l'évolution de la teneur en matière organique d'un sol agricole.

Tableau 8. Matrice SWOT pour la matière organique

<u>Forces</u>		<u>Faiblesses</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation pédologique optimale - Intégralité des bassins topographiques en zone agricole - Teneurs actuelles semblables à celles observées en région limoneuse ou sablo-limoneuse 	<u>Système</u>	- Peu ou pas de données 'historiques'
<u>Flux (In/Out)</u>	- Connaissance des flux de carbone en « phase solide » (apports par les engrais de ferme et exportation par le produit des récoltes)	<u>Flux (In/Out)</u>	-
<u>Opportunités</u>		<u>Obstacles</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Suivre l'évolution de la teneur en matière organique - Possibilité de suivi du C dans les sédiments du bassin d'orage 	<u>Système</u>	
<u>Flux (In/Out)</u>	-	<u>Flux (In/Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Appréhender les flux de carbone gazeux - Dépendance de la collaboration des agriculteurs

10.2.3 Les ETMs et hydrocarbures

Compte-tenu des éléments développés dans l'analyse SWOT (Tableau 9), il apparaît que les niveaux mesurés de contamination dans les deux bassins versants sont assez faibles. Dès lors, les perspectives de travaux sur ces éléments sont relativement réduites.

Tableau 9. Matrice SWOT pour les ETMs et hydrocarbures

<u>Forces</u>		<u>Faiblesses</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Intégralité du BV topographique en zone agricole - Dispositif de récolte des sédiments (bassin d'orage à l'exutoire du BV ouest) - Contexte géo-pédologique connu 	<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - BV hydrogéologique partiellement agricole (autoroute) - Multiplicité de (faibles) sources potentielles (proximité de l'autoroute et à l'aval (vent) d'une région industrielle)
<u>Flux (In /Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Données des apports d'effluents et de matières exogènes collectées à l'échelle de la parcelle auprès des agriculteurs - Expertise et partenariat développés dans le cadre du projet ARVA 	<u>Flux (In/Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de caractérisation des effluents et des rares matières exogènes épandues
<u>Opportunités</u>		<u>Obstacles</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité analytique 	<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau de contamination très faibles, proche du fond géopédochimique naturel
<u>Flux (In/Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'établir un bilan des flux : <ul style="list-style-type: none"> - Apports quantifiés par des jauges d'Owen, - Exportations via collecte d'échantillons de récolte et de sédiments 	<u>Flux (In/Out)</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Coût des analyses - Dépendance de la collaboration des agriculteurs

Il conviendrait cependant, avant d'éventuellement écarter cette thématique, de réaliser un screening général du sol dans les parcelles des deux bassins versants pour confirmer un état initial « sain ».

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que, contrairement à d'autres éléments (carbone, azote, phosphore, ...) ou d'autres contextes tels que les sols forestiers pour lesquels un monitoring systématique est en place depuis 2000, il n'existe pour l'instant aucun monitoring permanent de la teneur en ces éléments dans les sols (Arnaud Warin⁹, communication personnelle).

Dans ce cadre, le bassin versant ouest d'Arquennes pourrait constituer une première 'pierre' intéressante (monitoring des sols et des flux par érosion) d'un futur monitoring des sols en Wallonie. Ce dernier, comme le suggère Warin et al (2005) qui proposent un système harmonisé de surveillance de la qualité des sols cultivés répondant à la « Directive Sol », pourrait s'appuyer sur le Survey Surfaces Agricoles qui rencontre déjà près de 80% des associations de sols majeurs de la région wallonne (Vandenbergh et Marcoen, 2004).

⁹ SPW – Direction de la Protection des Sols

10.2.4 Les pesticides

Les éléments développés dans l'analyse SWOT (Tableau 10) ainsi que ceux avancés dans le paragraphe 2.9.2.2 (concentrations observées dans les prises d'eau d'Arquennes) et 6.5 (comparaison avec les pesticides régulièrement observés dans les eaux souterraines wallonnes) indiquent que cette problématique pourrait efficacement être étudiée dans les bassins versants d'Arquennes et plus spécialement dans le bassin versant ouest vu le dispositif de collecte en place à son exutoire.

L'intérêt des deux bassins versants pour cette problématique est d'autant plus grand que contrairement à d'autres « menaces » (le tassement, la biodiversité, ... la salinisation), la demande sociétale et les impératifs légaux (tels que la Directive Cadre Eau, les normes en matière de potabilité de l'eau, ...) sont plus importants.

Tableau 10. Matrice SWOT pour les pesticides

<u><i>Forces</i></u>		<u><i>Faiblesses</i></u>	
<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation hydro-géo-pédologique optimale - Intégralité du BV topographique en zone agricole - Dispositif de suivi de l'eau souterraine (piézomètres, captages) - Dispositif de suivi des eaux de surface (bassin d'orage à l'exutoire du BV ouest) 	<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - BV hydrogéologique partiellement non-agricole (autoroute)
<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissance théorique de la nature des produits - Résultats d'analyses de la SWDE exhaustif 	<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Précision des informations 'historiques' à collecter auprès des agriculteurs - Perte atmosphérique inconnue (bilan imprécis)
<u><i>Opportunités</i></u>		<u><i>Obstacles</i></u>	
<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Installer des lysimètres pour mieux appréhender les flux verticaux ponctuels - Installer des systèmes de collectes d'écoulement de surface et hypodermique dans le talweg en friche 	<u><i>Système</i></u>	
<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer les flux de surface à l'exutoire du BV ouest (bassin d'orage) - Déterminer les flux entrants (jauges d'Owen) 	<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Flux gazeux difficilement quantifiables - Dépendance de la collaboration des agriculteurs - Coût des analyses

Par ailleurs, fruit de l'expérience acquise sur des lysimètres installés dans d'autres contextes¹⁰, la mise en place (à faible coût) de lysimètres dans trois parcelles du bassin versant ouest permettrait de compléter utilement les données enregistrées à l'exutoire de ce bassin et au toit de la nappe (piézomètres); la compréhension des cinétiques de flux et de dégradation s'en trouverait ainsi améliorée.

¹⁰ Six lysimètres ont été installés en Hesbaye liégeoise en 2003 dans des parcelles agricoles. Le suivi de ces lysimètres est réalisé par GxABT (GRENeRA) avec la collaboration du CPL Végémar (Fonder et al., 2010)

10.2.5 L'azote

Les éléments développés dans l'analyse SWOT (Tableau 11) ainsi que ceux mis en avant dans les paragraphes 2.9.2.1 (évolution de la qualité de l'eau) et 6.6 (encadrement des agriculteurs, suivi historique des apports azotés et modélisation des flux) révèle le grand intérêt du bassin versant pour

- la validation *in situ* de l'efficacité du PGDA et
- l'amélioration de la robustesse de l'outil de simulation SWAT.

Tableau 11. Matrice SWOT pour l'azote

<u><i>Forces</i></u>		<u><i>Faiblesses</i></u>	
<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation hydro-géo-pédologique optimale - Intégralité du BV topographique en zone agricole - Dispositif de suivi de l'eau souterraine (piézomètres, captage) - Dispositif de suivi des eaux de surface (bassin d'orage à l'exutoire du BV ouest) 	<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - BV hydrogéologique partiellement agricole (autoroute)
<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissance des besoins azotés des cultures - Données collectées à l'échelle de la parcelle auprès des agriculteurs (apport, rendement) - Bilan des apports depuis 2000 - Résultat d'analyses de l'eau depuis 1996 - Mesure des flux globaux de lixiviation 	<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Précision des informations auprès des agriculteurs - Pertes gazeuses basées sur la bibliographie
<u><i>Opportunités</i></u>		<u><i>Obstacles</i></u>	
<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Installer des lysimètres pour mieux appréhender les flux verticaux ponctuels - Installer des systèmes de collectes d'écoulement de surface et hypodermique dans le talweg en friche 	<u><i>Système</i></u>	
<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Mieux évaluer les exportations d'azote par les cultures - Mesurer les flux de surface à l'exutoire du BV ouest (bassin d'orage) - Valider plus encore les prévisions de flux en milieu saturé par des traçages complémentaires 	<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Dépendance de la collaboration des agriculteurs - Flux gazeux non maîtrisables

Dans ce contexte de l'opportunité de la poursuite de l'encadrement des agriculteurs sur ces bassins versants, il n'est pas inutile de relater l'expérience acquise par l'INRA en France (Département de l'Aisne) dans un bassin versant similaire en taille. Entre 1990 et 2000, ce bassin versant a fait l'objet d'un encadrement des agriculteurs et d'une étude similaire à celle réalisée à Arquennes.

Bien que le contexte (sol, pratique agricole) soit différent de celui d'Arquennes, la qualité de l'eau souterraine s'est également améliorée au terme de l'étude. Une dizaine d'années s'est écoulée depuis la fin de l'étude et l'INRA a dû constater une légère dégradation de la qualité de l'eau plus que

vraisemblablement liée à une gestion moins raisonnée de l'azote sur ces parcelles (Nicolas Beaudoin¹¹, communication personnelle).

Il conviendrait dès lors de maintenir une présence scientifique et d'assurer la continuité de l'encadrement des agriculteurs actifs dans les deux bassins versants pilotes d'Arquennes afin que le PGDA actuel et futur soit effectivement appliqué et son impact vérifié sur ces parcelles. La Région wallonne disposerait ainsi d'un outil tangible pour évaluer, illustrer l'impact et l'efficacité des politiques mises en œuvre en matière de contamination par le nitrate d'origine agricole.

¹¹ INRA – Station de Laon

10.2.6 Le phosphore

Les éléments développés dans l'analyse SWOT (Tableau 12) ainsi que ceux avancés dans le paragraphe 6.7 (résultats des premières analyses réalisées dans des échantillons de sédiments et d'eau de ruissellement prélevés à l'exutoire du bassin versant ouest) indiquent que les bassins versants d'Arquennes sont assez représentatifs d'un contexte moyen en région wallonne.

Ils présentent donc une réelle opportunité pour

- quantifier les flux de phosphore et
- améliorer la performance du modèle SWAT pour la simulation de ces flux.

Tableau 12. Matrice SWOT pour le phosphore

<u><i>Forces</i></u>		<u><i>Faiblesses</i></u>	
<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation pédologique optimale - Intégralité des bassins versants topographiques en zone agricole - Dispositif (bassin d'orage à l'exutoire du BV ouest) adaptable pour suivi des flux de surface (eau de ruissellement et sédiments) 	<u><i>Système</i></u>	
<u><i>Flux (In /Out)</i></u>	-	<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	- Connaissance imprécise des quantités apportées dans le passé
<u><i>Opportunités</i></u>		<u><i>Obstacles</i></u>	
<u><i>Système</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Bassins versants à risque (combinaison de l'occupation du sol et de la topographie) 	<u><i>Système</i></u>	
<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier et qualifier les flux de surface à l'exutoire du BV ouest (bassin d'orage) - Qualifier les flux de surface à l'exutoire du bassin versant est - Mieux évaluer les exportations par les cultures 	<u><i>Flux (In/Out)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> - Dépendance de la collaboration des agriculteurs

D'autre part, il n'y a actuellement aucun aménagement anti-érosif. Dans le cas d'un éventuel aménagement futur, son efficacité pourra être évaluée de manière précise par rapport au « témoin » actuel. Il faut toutefois signaler que de tels aménagements requerront l'accord préalable des agriculteurs concernés.

Enfin, les bassins versants d'Arquennes se trouvent dans le bassin de la Senne qui a connu entre 2002 et 2005, avec les bassins de la Haine et de la Dendre, un doublement du nombre de sites de contrôle présentant une eau de très mauvaise qualité (concentration en orthophosphate supérieure à 2 mg/l) (Cellule de l'Etat de l'Environnement wallon, 2007). Dans un contexte d'élaboration de plans de gestion (DCE) et de monitoring de la qualité de l'eau, les bassins d'Arquennes constituent une réelle opportunité pour le bassin de la Senne et les bassins voisins similaires.

10.2.7 Le tassement

L'étude de la compaction des sols peut être envisagée sous deux aspects :

- l'analyse des modifications des propriétés (densité apparente, porosité, perméabilité) du sol suite à l'application d'une contrainte précise dans un contexte connu ;
- le monitoring régional des sols.

Le premier volet est difficilement envisageable à Arquennes. En effet, bien que le contexte pédologique soit bien connu, que les caractéristiques des engins puissent être facilement acquises, l'étude de la compaction nécessite d'être présent lors du passage des engins pour pouvoir quantifier la pression exercée au sol (poids de l'engin, pneumatiques, ...) et effectuer les mesures après le passage du/des engins (Tableau 13). Ceci requiert une disponibilité et une coordination très importante des et avec les agriculteurs. Or, l'expérience nous a appris qu'à ce niveau de 'contrainte', la collaboration des agriculteurs est plus aléatoire et dépendante, entre autres, de l'urgence des travaux agricoles à effectuer.

Ce volet est logiquement mené plus efficacement en milieu contrôlé (université, centre de recherches).

Tableau 13. Matrice SWOT pour le tassement

<u>Forces</u>		<u>Faiblesses</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation pédologique optimale - Grande variété de cultures et mécanisation assez lourde - Contact établi avec les agriculteurs 	<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Multiplicité des engins et dates d'intervention
<u>Flux (In/Out)</u>		<u>Flux (In/Out)</u>	
<u>Opportunités</u>		<u>Obstacles</u>	
<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité de combiner ce suivi avec la thématique de l'érosion et du ruissellement 	<u>Système</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Dépendance de la collaboration des agriculteurs
<u>Flux (In/Out)</u>		<u>Flux (In/Out)</u>	

Le second volet (monitoring) nécessite un nombre suffisant de sites pour pouvoir être significatif et représentatif. Compte tenu des connaissances acquises dans les deux bassins versants d'Arquennes, un suivi de la compaction des sols pourrait y être réalisé en complément de mesures qui seraient effectuées ailleurs en Wallonie comme par exemple dans le Survey Surfaces Agricoles (voir précédemment § 10.2.3).

Le Survey Surfaces Agricoles est constitué en région wallonne de 250 parcelles dans lesquelles des prélèvements d'échantillons de sol sont réalisés plusieurs fois par an, à la même époque, depuis une dizaine d'années. Les agriculteurs qui exploitent ces parcelles collaborent dans ce cadre avec les deux équipes scientifiques (GxABT (GRENeRA) et UCL) chargées d'établir chaque année les APL de référence (cf. PGDA). Ces parcelles ont été choisies entre autres pour leur contexte pédologique afin qu'elles soient représentatives de la région agricole à laquelle elles appartiennent.

Compte tenu de la ‘pérennité’ de ce réseau de parcelles et des éléments énoncés ci-dessus, le Survey Surfaces Agricoles pourrait, avec les bassins versants d’Arquennes, constituer une base représentative d’un monitoring de la compaction des sols en région wallonne.

10.2.8 La biodiversité

Bien que potentiellement préoccupante (cf. paragraphe 9 page 49), cette problématique est relativement peu étudiée en région wallonne.

Il conviendrait dès lors, dans une première phase, de préférer l'acquisition d'expertise dans des milieux plus contrôlés et plus accessibles tels que les fermes expérimentales d'institutions de recherches (GxABT, UCL, CRA-W) car les bassins versants d'Arquennes n'offrent que la connaissance du contexte pédologique (Tableau 14) au sens physico-chimique du terme.

Tableau 14. Matrice SWOT pour la biodiversité

<u>Forces</u>		<u>Faiblesses</u>	
<u>Système</u>	- Caractérisation pédologique optimale	<u>Système</u>	
<u>Flux (In/Out)</u>		<u>Flux (In/Out)</u>	- Précision des informations 'historiques' (pesticides utilisés et doses appliquées) à collecter auprès des agriculteurs
<u>Opportunités</u>		<u>Obstacles</u>	
<u>Système</u>		<u>Système</u>	
<u>Flux (In/Out)</u>		<u>Flux (In/Out)</u>	- Dépendance de la collaboration des agriculteurs

10.3 Conclusion

Depuis 2005, Gembloux Agro-Bio Tech mène des travaux de recherches en collaboration avec une équipe d'hydrogéologues (Aquale Ecofox) et avec le partenariat de conseillers agricoles (Nitrawal asbl).

Dans le cadre de ces travaux, les bassins versants ont été équipés d'outils (piézomètres) et ont fait l'objet de nombreuses mesures et expérimentations sur le sol et dans l'eau sur une thématique essentiellement ciblée nitrate.

Sur base de ces travaux et des enseignements acquis, il s'est avéré opportun de voir dans quelle mesure ces deux bassins versants pilotes pourrait également contribuer à la compréhension d'autres problématiques environnementales liées à l'agriculture.

D'un point de vue méthodologique, cette analyse s'est appuyée sur les huit menaces décrites dans le projet de Directive Sol évaluées, dans le contexte d'Arquennes, à l'aide de matrices SWOT¹².

In fine, les menaces sont scindées en deux catégories : les contaminations (aspects chimiques) et dégradations (aspects physico-biologiques) qui, dans le contexte des deux bassins versants d'Arquennes sont évaluées en fonction de cinq critères (cotés de 0 à 5) :

1. la pertinence de l'échelle du bassin versant pour l'étude de la problématique,
2. l'intensité de la menace,
3. l'information acquise,
4. l'information disponible et
5. le coût du suivi (des cotes de 1 et de 4 indiquent respectivement des coûts d'analyse de l'ordre 20 et 500 €).

La contamination du sol et/ou des eaux est principalement le fait de teneurs excessives en azote nitrique, phosphore, pesticides, ETM ou sel. Dans les zones agricoles, celles-ci trouvent bien souvent leur origine dans les activités liées à l'agriculture bien que ponctuellement des sources naturelles (fond géo-pédo-chimique pour les ETM) ou industrielles (HAP) puissent contribuer à des teneurs élevées.

Compte tenu des éléments avancés dans cette étude, il apparaît que les bassins versants d'Arquennes pourraient utilement contribuer à la compréhension de problématiques liées à l'azote et au phosphore (Figure 36) avec des scores de 19/25.

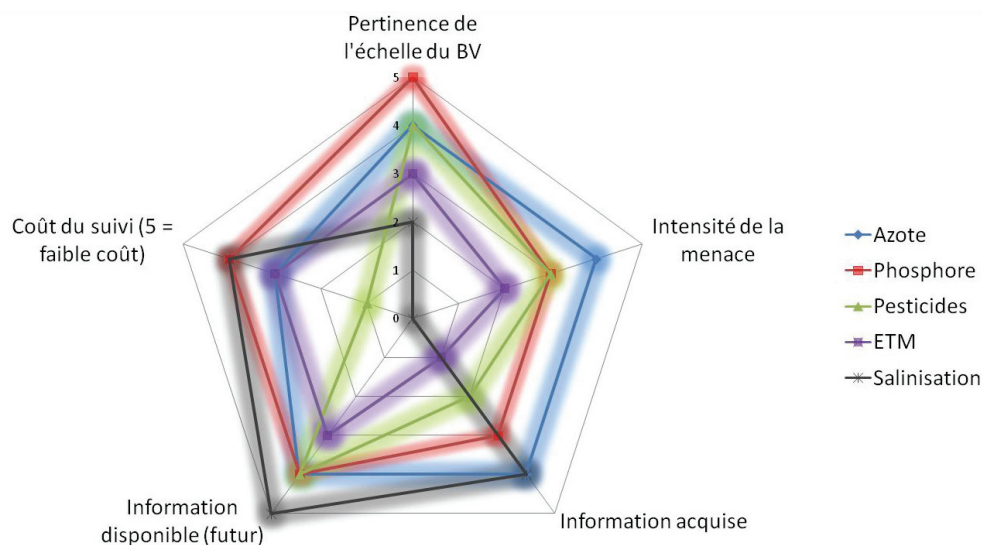


Figure 36. Intérêt des bassins versants d'Arquennes pour le suivi de contaminations du sol et des eaux

¹² Strengths Weaknesses Opportunities Threats

La thématique des pesticides obtient une cote plus faible (14/25) essentiellement à cause du coût élevé des analyses. A l'avenir, si les prises d'eau ne sont pas abandonnées par la SWDE, il y aura vraisemblablement toujours la possibilité de pouvoir disposer gratuitement des résultats d'analyses d'eau. Dans ce cas, la thématique des pesticides obtiendrait une cote de 18/25.

Enfin, pour diverses raisons (intensité de la menace, pertinence de l'échelle d'étude, volume d'information acquise ou disponible), le suivi de la thématique liée à la salinisation ou aux ETM est moins pertinent dans le contexte des bassins versants d'Arquennes.

En matière de dégradation du sol, il apparaît que seul un suivi des phénomènes d'érosion et de ruissellement soit réellement intéressant à mettre en œuvre dans les bassins versants d'Arquennes (Figure 37).

Les autres menaces sont bien souvent peu pertinentes à l'échelle du bassin versant ou, comme l'imperméabilisation et la matière organique, font déjà l'objet d'un suivi à une échelle beaucoup plus petite (région wallonne).

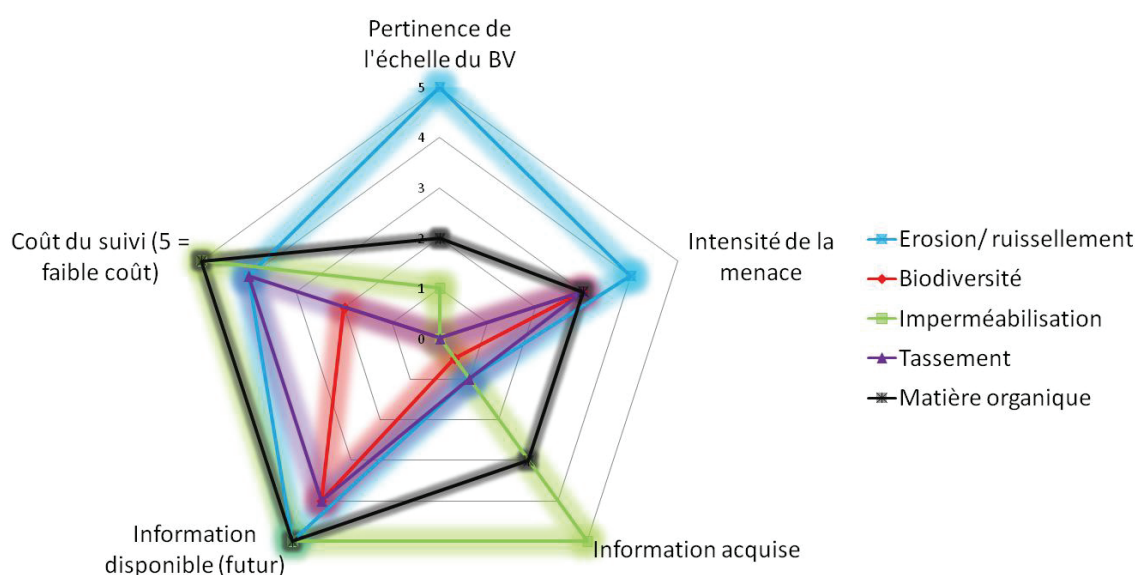


Figure 37. Intérêt des bassins versants d'Arquennes pour le suivi de la dégradation du sol

L'étude a donc mis en évidence que les bassins versants d'Arquennes, compte tenu de contextes pédologique, climatique, agricole assez représentatifs et des observations réalisées et réalisables, offrent de réelles opportunités en matière de suivi des problématiques liées à l'azote, le phosphore, l'érosion et le ruissellement.

11 EVALUATION DE LA PERTINENCE DU BILAN D'AZOTE SELON LA MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE PAR LE SPF ECONOMIE

11.1 Etablissement du bilan azoté annuel par le SPF Economie à l'échelle de la région wallonne et des arrondissements administratifs

11.1.1 Généralités

Le Service Public Fédéral Economie, PME, Classes Moyennes et Energie (Direction générale Statistique et Information Economique – DGSIE¹³), en collaboration avec l'Institut public flamand de Recherche pour l'Agriculture, l'Horticulture et la Pêche (ILVO) a établi en 2009 un bilan azoté à l'échelle des régions (flamande, bruxelloise et wallonne) et des arrondissements administratifs (Gybels et al, 2009). Ce travail s'inscrivait dans la continuité du travail réalisé par l'Institut public flamand de Recherche pour l'Agriculture, l'Horticulture et la Pêche pour établir des bilans d'azote et de phosphore à l'échelle de la région flamande (Lauwers et al, 2004, Vervaeet et al, 2006).

Les objectifs du travail étaient :

- l'adaptation aux régions wallonne et bruxelloise de la méthode de calcul du bilan précédemment établi en région flamande ;
- la recherche des coefficients et données nécessaires à l'établissement de ce bilan ;
- l'établissement d'un bilan d'azote à l'échelle des arrondissements administratifs (Figure 38).

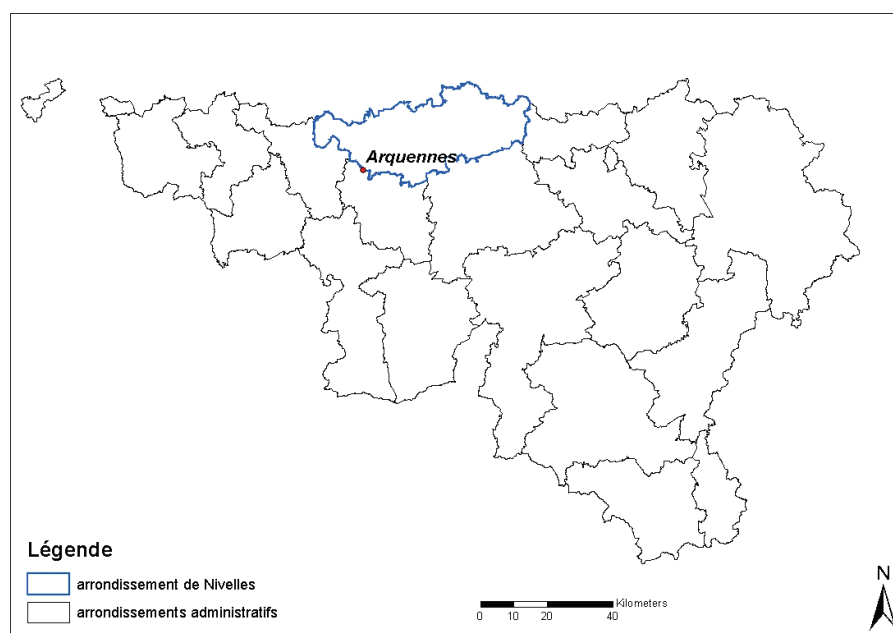


Figure 38. Localisation des bassins d'Arquennes et arrondissements administratifs

Il apparaît pertinent d'appliquer la méthode bilantaire proposée à l'échelle des petits bassins versants pilotes d'Arquennes, pour lesquels nombre de données sont connues avec précision, et de confronter les résultats obtenus à l'échelle régionale, à l'échelle de l'arrondissement administratif et à l'échelle du

¹³ Anciennement Institut National des Statistiques

bassin versant, afin notamment de valider les ordres de grandeur des excédents d'azote calculés dans les sols agricoles.

11.1.2 Description des différents termes du bilan

Le bilan d'azote établi se présente sous la forme de la différence annuelle entre les entrées et les sorties d'azote du système, correspondant à l'excédent (ou solde) d'azote dans les sols agricoles (exprimé en kg N/ha) (Figure 39).

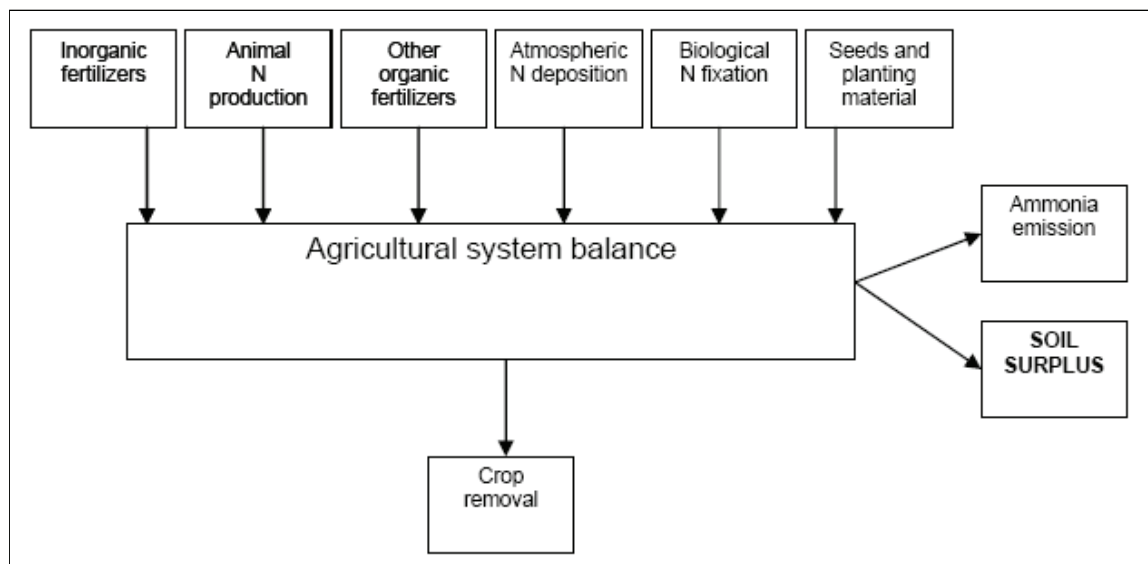


Figure 39. Postes du bilan pris en compte dans l'établissement du bilan d'azote (d'après Gybels et al, 2009)

Les différents termes du bilan utilisés dans le cadre de cette étude ainsi que leurs sources sont brièvement décrits ci-dessous. Le bilan annuel est présenté à la Figure 40 et à l'annexe 1 pour la région wallonne et à la Figure 41 et à l'annexe 2 pour l'arrondissement de Nivelles (où se situent les bassins d'Arquennes).

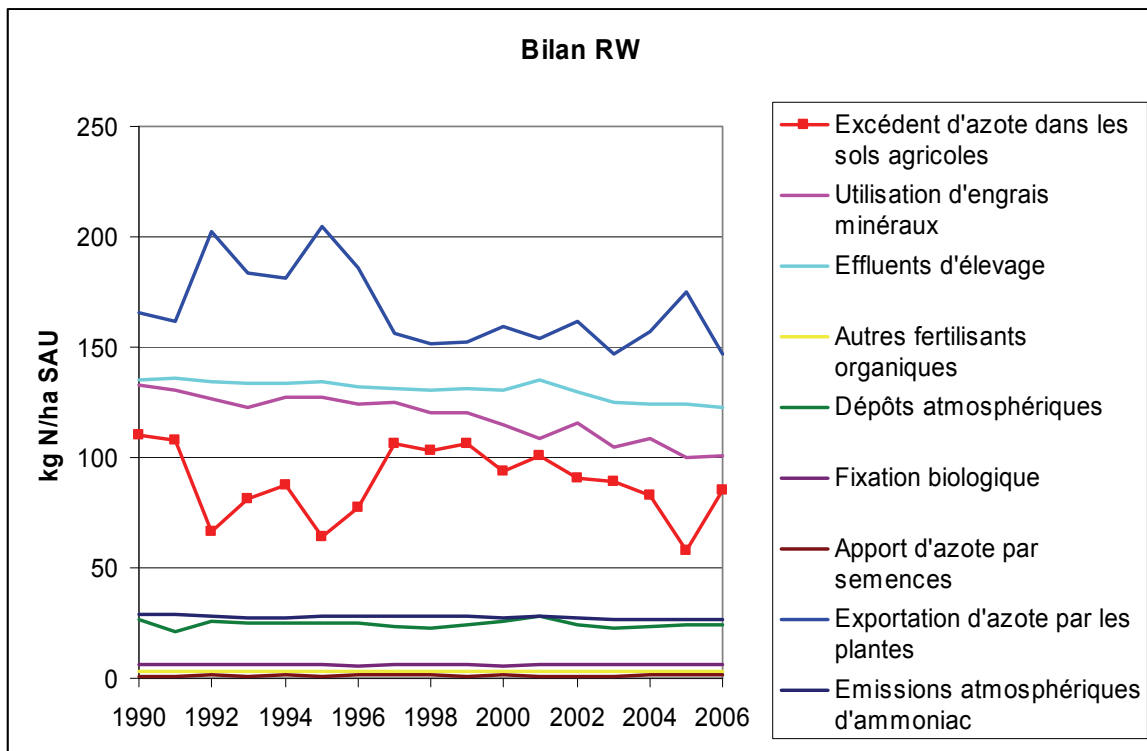


Figure 40. Bilan d'azote en région wallonne

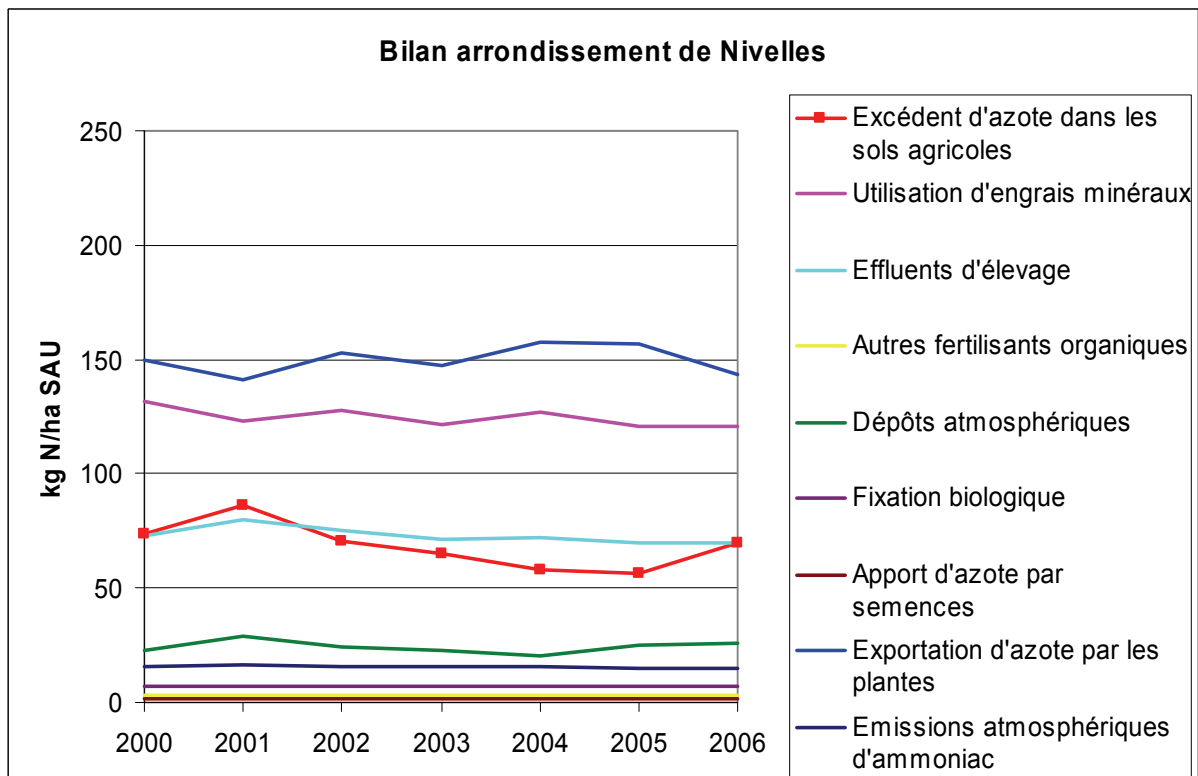


Figure 41. Bilan d'azote dans l'arrondissement de Nivelles¹⁴

¹⁴ Avant 2000, le bilan à l'échelle des arrondissements n'a pas pu être établi en raison de l'absence de données pour la majorité des postes du bilan

Apports d'azote sous forme d'engrais minéraux : il s'agit d'un des postes les plus importants du bilan puisqu'il représente de l'ordre de 40% des apports totaux d'azote dans les sols agricoles en région wallonne.

A l'échelle de la région wallonne, les données d'utilisation d'engrais minéraux sont issues du Tableau de bord de l'environnement wallon 2008 (Cellule Etat de l'environnement wallon, 2008) pour la période 1995 – 2006 et du Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007 (Cellule Etat de l'environnement wallon, 2007) pour la période 1990 – 1994. De manière générale, la tendance de l'utilisation d'engrais minéraux est à la baisse en région wallonne.

A l'échelle des arrondissements administratifs, la Direction de l'Analyse économique agricole (DGARNE) a fourni une estimation de l'utilisation d'engrais minéraux par culture sur base de données comptables; en multipliant cette valeur par les superficies occupées par chaque culture dans les différents arrondissements, il a été possible d'estimer l'apport d'azote par les engrais minéraux à l'échelle des arrondissements.

Apports d'azote par les effluents d'élevage : ce poste représente de l'ordre de 45% des apports totaux d'azote dans les sols agricoles en région wallonne. En 2006, 90% des apports d'azote par effluents d'élevage provenaient des bovins, contre 4% pour les porcins et 3% pour les volailles.

A l'échelle de la région wallonne, les valeurs de production d'azote par animal publiées dans le Moniteur belge du 07/03/2007 (Tableau 15) sont utilisées. Ces valeurs sont ensuite multipliées par un coefficient (Gybels et al, 2009) pour tenir compte des pertes d'azote par voie gazeuse lors du stockage des effluents. Ces valeurs recalculées sont alors multipliées par le nombre d'animaux en région wallonne (données issues du recensement agricole de mai de la DGSIE¹⁵) pour estimer l'apport total d'azote par les effluents d'élevage en région wallonne.

Tableau 15. Coefficients de production d'azote par animal

	kg Norg/tête		kg Norg/place/an
Vache laitière	90	Truies gestantes	15
Vache allaitante	66	Verrat	15
Vache de réforme	66	Porc à l'engrais	7,8
Autre bovin de plus de 2 ans	66	Porc à l'engrais sur litière	4,5
Bovin de moins de 6 mois	10	Porcelet (4 à 10 semaines)	1,9
Génisse de 6 à 12 mois	28	Poulet de chair (40 j)	0,27
Génisse de 1 à 2 ans	48	Poule pondeuse	0,6
Taurillon de 6 à 12 mois	25	Poule reproductrice (343 j)	0,6
Taurillon de 1 à 2 ans	40	Poulette (127 j)	0,27
Ovins et caprins < 1 an	3,3	Coq de reproduction	0,43
Ovins et caprins > 1 an	6,6	Canard (75 j)	0,43
Equins	56	Oie (150 j)	0,43
		Dinde, dindon (85 j)	0,81
		Pintade (79 j)	0,27
		Lapin mère (naissage + engraissement)	3,6
		Lapin à l'engrais	0,32
		Autruche et émeu	3
		Caille	0,04

La même méthodologie a été utilisée à l'échelle des arrondissements, en tenant compte du nombre d'animaux par arrondissement.

Apports d'azote autres que les effluents d'élevage : ce poste comprend les apports d'azote par les boues d'épuration, les déchets industriels (écumes de brasserie, de papeterie,...), le champost (compost de champignonnière) et le compost "urbain".

Les données d'utilisation des boues d'épuration en région wallonne proviennent du Tableau de Bord de l'environnement wallon 2008, en tenant compte d'une teneur en azote de 3,55%.

¹⁵ http://statbel.fgov.be/fr/binaries/DBREF-L05-2000-2009_TABA_FR1_tcm326-110929.xls

Les données d'utilisation de déchets industriels sur les sols agricoles en Région wallonne ont été fournies directement par la DGARNE.

L'utilisation de champost (compost de champignonnière) et compost "urbain" sur les sols agricoles wallons a été estimée uniquement pour l'année 2005. Cette valeur a été directement utilisée pour toutes les années de suivi (1990 – 2006).

A l'échelle des arrondissements, les données d'apports d'azote organique autres que les effluents d'élevage ne sont pas disponibles. La valeur moyenne en région wallonne a donc été transposée à l'échelle de l'arrondissement de Nivelles.

Dépôts atmosphériques d'azote : les dépôts atmosphériques d'azote sur les sols agricoles wallons comprennent les dépôts secs (pas de modification chimique avant dépôt au sol) et les dépôts humides (transformation en composés acides au niveau de la pluie, du brouillard ou de la neige).

Les données concernant les dépôts atmosphériques d'azote en région wallonne proviennent du rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007 sur base des travaux du bureau d'études SITEREM S.A., de l'ISSeP et de la Cellule CELINE-IRCEL (SITEREM et al, 2006). Elles ont été estimées à partir des valeurs moyennes régionales calculées pour chaque année depuis 1990 multipliées par la SAU correspondante.

A l'échelle des arrondissements, les dépôts atmosphériques ont été estimés sur des mailles carrées de 5x5 km et ont été sommés pour donner des valeurs totales dans chaque arrondissement administratif.

Fixation biologique : deux types de fixation ont été pris en compte dans ce bilan : la fixation par des bactéries libres du sol et la fixation par les bactéries symbiotiques associées aux racines de légumineuses.

La fixation d'azote par les bactéries libres du sol est estimée à 4 kg N/ha dans ce bilan. Les coefficients pour la fixation symbiotique sont ceux proposés par Lauwers et al (2004) et par Vervaet et al (2006) (Tableau 16) sur base du rapport de Van Ongeval et al (1998).

Ces coefficients ont ensuite été multipliés par les superficies de légumineuses observées dans les différents arrondissements et en région wallonne pour obtenir la fixation biologique totale d'azote à ces deux échelles spatiales.

Tableau 16. Coefficients de fixation azotée (d'après Lauwers et al, 2004 et Vervaet et al, 2006)

	coefficient (kg N/ha)
haricots, lentilles, pois	125
trèfle	125
luzerne	250
mélange prairie-trèfle	37,5
bactéries libres du sol	4

Apports d'azote par les semences: ce poste est le plus petit des postes pris en compte dans le bilan d'azote présenté ici : il représente de l'ordre de 0,5% des apports totaux d'azote en région wallonne.

Ces apports sont calculés sur base des données d'occupation du sol, des données d'utilisation de semences fournies par plusieurs vendeurs en Belgique et des teneurs en azote des semences (cf. Lauwers et al, 2004 et Vervaet et al, 2006).

Exportation d'azote par les cultures : ce poste correspond à la part d'azote dans la plante qui est exportée hors du bassin versant lors de la récolte. Il s'agit de la principale sortie d'azote du bilan.

L'exportation d'azote par les cultures est estimée à partir des données d'occupation du sol (recensement agricole de mai de la DGSIE) et des rendements moyens par hectare en région wallonne. Ces rendements sont ensuite multipliés par des teneurs moyennes en azote des cultures (exprimées en kg N/t) qui sont fournies par le producteur néerlandais d'engrais minéraux DSM Agro BV (cf. Lauwers et al, 2004 et Vervaet et al, 2006), pour obtenir l'exportation d'azote par les cultures.

Emissions atmosphériques d'ammoniac (NH₃) : ces émissions peuvent avoir deux origines : les émissions liées aux effluents d'élevage (lors du stockage ou de l'application de ces effluents ou lors du

pâturage) et les émissions liées à la transformation des engrais azotés dans le sol. C'est le processus de volatilisation.

Les données de volatilisation à l'échelle de la région wallonne sont issues du Tableau de bord de l'environnement wallon pour les années 1990 – 2005 (sur base des travaux de l'AWAC) et des données d'émission de NH₃ en Belgique publiées par l'Agence Environnementale Européenne pour l'année 2006¹⁶.

Les valeurs de volatilisation ne sont pas disponibles à l'échelle des arrondissements; elles ont été estimées en multipliant les valeurs d'apport d'azote par les effluents d'élevage dans chaque arrondissement administratif par le rapport entre l'émission d'ammoniac et l'apport d'azote par les effluents d'élevage à l'échelle régionale. Cette estimation se base sur l'hypothèse que ce rapport émission d'ammoniac / apport d'azote par les effluents d'élevage est constant dans tous les arrondissements administratifs.

11.2 Etablissement du bilan azoté annuel à l'échelle des bassins d'Arquennes

Pour pouvoir comparer les bilans d'azote établis aux trois échelles spatiales considérées (échelle régionale, échelle administrative, échelle petit bassin versant), nous avons utilisé les mêmes postes pour établir le bilan d'azote sur les bassins d'Arquennes que ceux utilisés par le SPF Economie pour établir le bilan d'azote en région wallonne et dans les arrondissements administratifs.

Si certaines données ont pu être récoltées ou mesurées directement sur les bassins (fertilisation minérale et organique, rendements), d'autres ont en revanche été estimées. Les différents postes du bilan établi à Arquennes sont décrits ci-dessous.

Le bilan d'azote annuel a été établi pour les années 2000 à 2007 sur les bassins d'Arquennes pour des raisons de disponibilité des données (période d'activité d'une précédente étude sur les bassins suivis). Le bilan est présenté à la Figure 42 et à l'annexe 3.

¹⁶ <http://www.eea.europa.eu/>

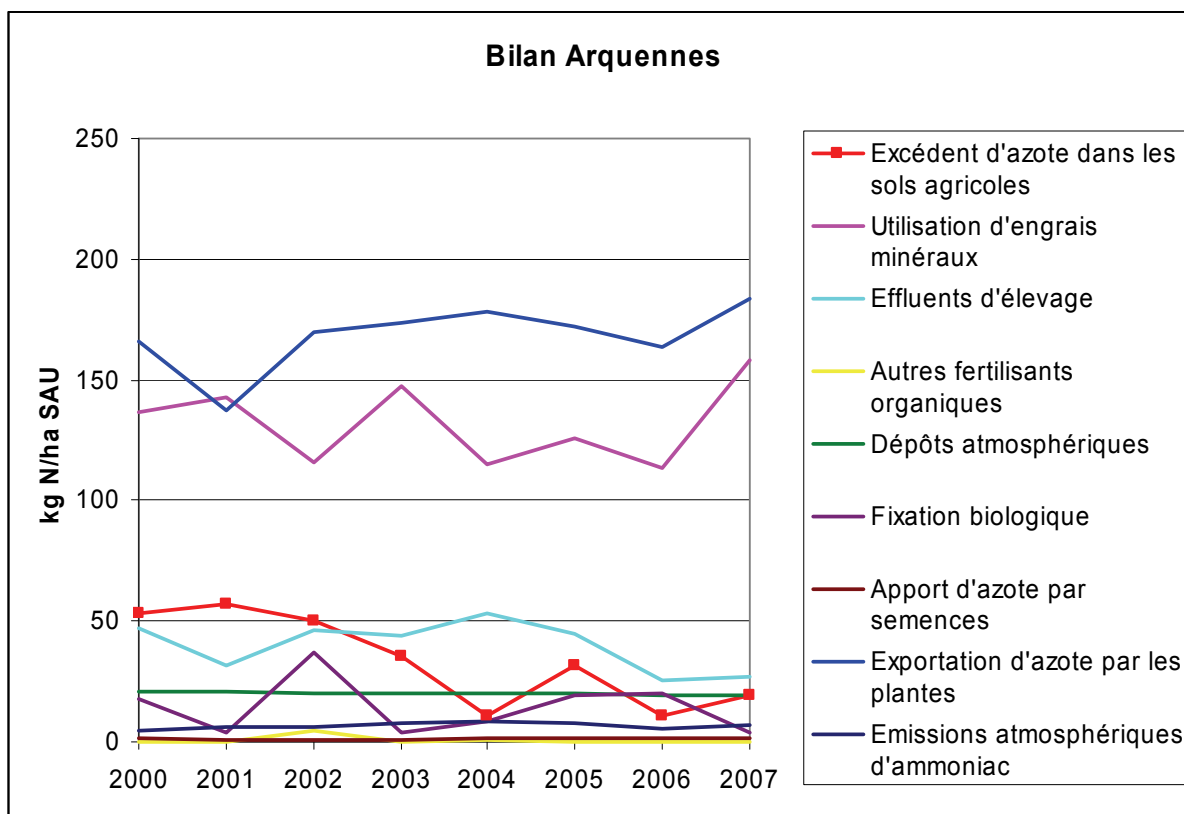


Figure 42. Bilan d'azote sur les bassins d'Arquennes

Apports d'azote sous forme d'engrais minéraux : les quantités d'azote minéral appliquées sur les parcelles des bassins versants d'Arquennes sont connues pour la période 2000-2010 grâce à des enquêtes de terrain auprès des agriculteurs. Un effet "année" se marque sur les quantités d'azote minéral apportées ; celles-ci sont sensiblement plus élevées les années où le froment occupe une superficie majoritaire sur les bassins (2001, 2003 et 2007).

Apports d'azote organique par les effluents d'élevage : les quantités d'azote organique appliquées sous forme d'effluents sur les parcelles des bassins d'Arquennes sont connues pour la période 2000 – 2010 grâce à des enquêtes de terrain auprès des agriculteurs. Par ailleurs, des analyses d'effluents d'élevage ont été réalisées chez les agriculteurs exploitant des parcelles sur les bassins versants, de manière à connaître exactement les quantités d'azote épandues. On peut remarquer que la quantité d'azote organique apporté par l'intermédiaire des effluents d'élevage diminue sensiblement à partir de 2006, en raison de l'encadrement des agriculteurs à partir de cette date.

Apports d'azote organique autres que les effluents d'élevage : pour rappel, ces apports correspondent aux apports de boues d'épuration, de déchets industriels (écumes de brasserie, de papeterie,...), de champost (compost de champignonnière) et de compost "urbain". Suite aux enquêtes de terrain chez les agriculteurs, seuls deux apports de ce type ont été répertoriés sur les bassins d'Arquennes pour la période 2000 – 2008 ; il s'agit d'écumes de brasserie apportées en 2002 et 2004 sur une parcelle, représentant des apports d'azote insignifiants en comparaison des autres sources d'azote.

Dépôts atmosphériques d'azote : les dépôts atmosphériques d'azote ne sont pas mesurés directement sur les bassins d'Arquennes. Les données sont estimées à partir du rapport du bureau d'études Siterem S.A. concernant l'analyse spatio-temporelle du dépassement des charges critiques en polluants acidifiants en région wallonne (Siterem, 2006). Le modèle de transport des polluants EMEP y est utilisé. Celui-ci intègre les données d'émissions de différents pays et calcule les retombées

transfrontalières par maille de 50 X 50 km sur le territoire de la Région wallonne. Le modèle EMEP a estimé les retombées en azote et en soufre depuis 1880.

La Figure 43 illustre les dépôts d'azote atmosphérique calculés par le modèle EMEP à partir des données d'émission, pour les différentes mailles qui couvrent le territoire de la Région wallonne. La maille où sont situés les bassins d'Arquennes est la 58-41. Au final, sur base des valeurs renseignées dans cette Figure 43, et en les rapportant à la surface des bassins d'Arquennes, il est possible de calculer les dépôts atmosphériques d'azote sur ces bassins. On peut remarquer que les dépôts atmosphériques estimés par le modèle diminuent régulièrement pour les années 2000 à 2008.

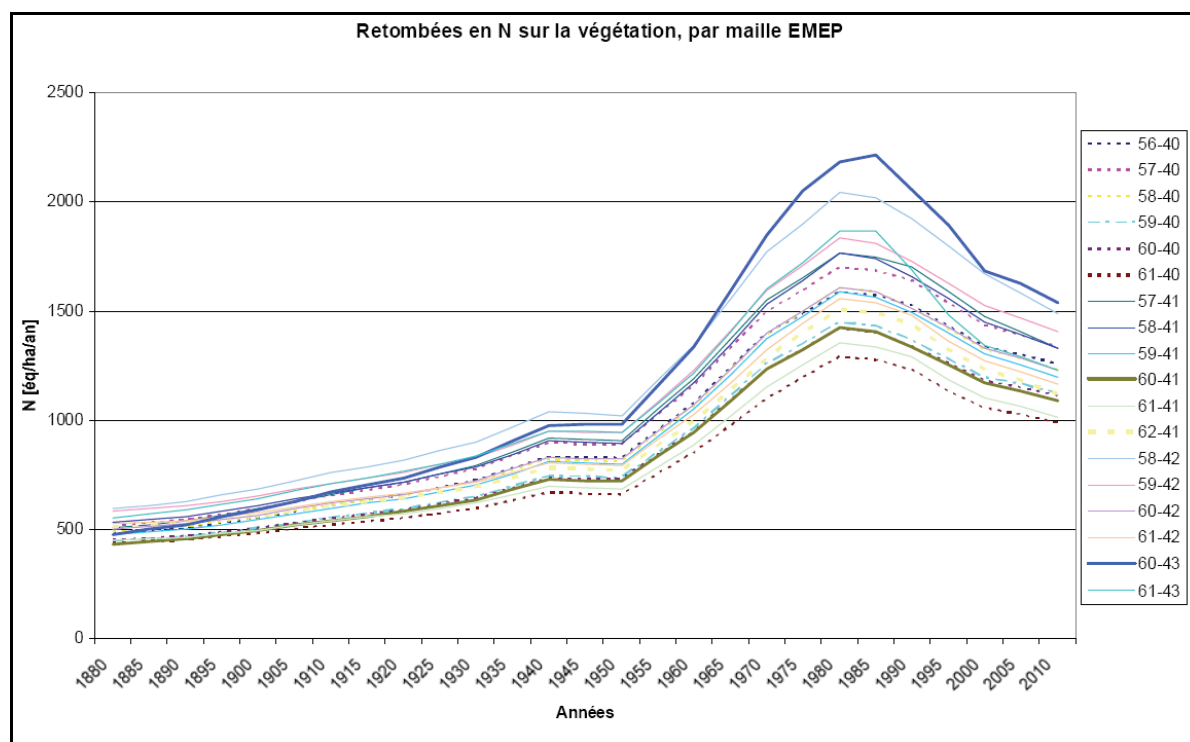


Figure 43. Retombées sèches et humides d'azote sur les terres agricoles par maille EMEP

Fixation biologique : Sur les bassins d'Arquennes, la seule légumineuse rencontrée dans l'emblavement entre 2000 et 2008 est le pois.

Pour un rendement optimum, les besoins du pois se chiffrent à 250 kg N/ha (source : CPL Végémar cité dans classeur eau – nitrate, 2^{ème} édition, Nitrawal). Parmi ces 250 kg N/ha, de l'ordre de 70% sont fournis par la fixation symbiotique (sources : Unilet¹⁷, CPL Végémar cité dans classeur eau – nitrate, 2^{ème} édition, Nitrawal), soit 175 kg N/ha. Il est dès lors possible de calculer les quantités d'azote fixées par le pois sur les bassins d'Arquennes en tenant compte des superficies emblavées en pois chaque année et des rendements obtenus sur ces parcelles.

Apports d'azote par les semences : l'apport d'azote par les semences et le matériel végétal n'est pas connu à Arquennes. Les valeurs utilisées par le SPF Economie pour l'établissement du bilan d'azote en région wallonne ont donc été transposées sur les bassins pilotes d'Arquennes. En valeur absolue, ces apports sont cependant insignifiants en comparaison des autres sources d'azote.

Exportation d'azote par les cultures : les rendements sur les bassins d'Arquennes sont connus pour la période 2000 – 2008 grâce à une enquête de terrain réalisée auprès des agriculteurs. Pour estimer

¹⁷<http://www.unilet.fr/cultures/pois/pois.php?page=Fertilisation&PHPSESSID=8ec9b7206bde3a5ecfc7bb3aa05a8e3e>, consulté le 12/9/2011

l'exportation d'azote hors du bassin versant lors de la récolte, les rendements mesurés ont été multipliés par un coefficient d'exportation propre à chaque culture. Ces coefficients d'exportation ont été publiés par le Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates (CORPEN) (cf. Annexe 4).

Emissions atmosphériques d'ammoniac (NH₃) : en l'absence de mesure directe de la volatilisation sur les bassins d'Arquennes, et compte tenu de la forte variabilité de la volatilisation en fonction des conditions météorologiques, des coefficients moyens de pertes d'azote en fonction de la quantité d'engrais épandue ont été utilisés. Ces coefficients sont repris dans le Tableau 17.

Pour fixer la valeur des coefficients de volatilisation des effluents d'élevage, nous avons pris l'hypothèse que la moitié de l'azote minéral contenu dans chaque effluent pouvait être volatilisée. Les quantités d'azote minéral contenues dans chaque effluent d'élevage ont été trouvées dans le classeur eau – nitrate, 2^{ème} édition, édité par Nitrawal.

La valeur du coefficient de volatilisation pour l'ammonitrate a été tirée de l'inventaire des émissions EMEP - CORINAIR (European Environment Agency, 2007).

Tableau 17. Coefficients de volatilisation utilisés sur les bassins d'Arquennes

Type d'engrais	Fumier de bovin	Lisier de bovin	Lisier de porcin	Ammonitrate
Coefficient de volatilisation	0,05	0,2	0,3	0,02

11.3 Comparaison des bilans azotés établis à l'échelle des bassins d'Arquennes, du district de Nivelles et de la région wallonne

Le bilan d'azote établi à Arquennes a été comparé à ceux établis à l'échelle de l'arrondissement de Nivelles et à l'échelle de la région wallonne. Cette comparaison est présentée à la Figure 44.

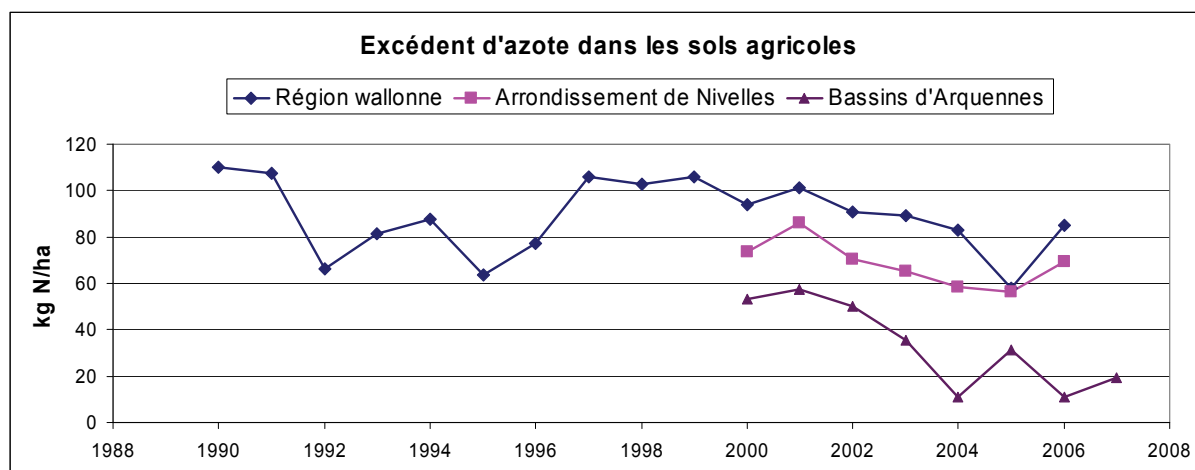


Figure 44. Excédents d'azote dans les sols agricoles (Région wallonne et arrondissement de Nivelles)

On constate que la gestion de l'azote sur les bassins d'Arquennes est meilleure que celle dans le district de Nivelles et en région wallonne, puisque les excédents d'azote dans le sol y sont inférieurs pour l'ensemble de la période envisagée (2000 – 2006) ; les risques de pertes azotées à long terme y sont donc moindres. Le bilan d'azote dans l'arrondissement de Nivelles est intermédiaire entre celui des bassins d'Arquennes et celui de la région wallonne. On peut également remarquer que les bilans d'azote évoluent favorablement dans le temps, avec une tendance marquée à la décroissance (à partir de 2000) pour les trois échelles considérées. Un effet "année" se marque cependant, et particulièrement

sur les bassins d'Arquennes : l'année 2005, où l'emblavement était dominé par les céréales (avec apport d'effluent organique après récolte) et, dans une moindre mesure, par des légumineuses, présente un excédent d'azote plus élevé qu'en 2004 et 2006.

La principale différence entre les trois bilans se situe au niveau des apports d'azote organique par les effluents d'élevage (Figure 45). On constate que les apports dans les bassins d'Arquennes sont plus faibles que ceux dans l'arrondissement de Nivelles, eux-mêmes sensiblement plus faibles qu'en région wallonne. Il convient de remarquer que la méthode d'évaluation des apports d'azote par les effluents d'élevage est différente pour le bilan établi à Arquennes par rapport aux deux autres bilans. La méthode utilisée pour le bilan Arquennes se base sur les quantités d'azote organique effectivement appliquées et directement renseignées par les agriculteurs (cf. §11.2) tandis que la méthode utilisée pour les deux autres bilans se base sur les quantités produites par le cheptel (cf. §11.1). Il est donc possible qu'apparaisse un biais lié à la méthode d'évaluation des apports d'azote par les effluents d'élevage.

Pour évaluer ce biais, la méthode utilisée dans les bilans "région wallonne" et "arrondissement de Nivelles" a été appliquée sur les bassins d'Arquennes. Connaissant les productions d'azote au sein des différentes exploitations représentées sur les bassins d'Arquennes, il a été possible de calculer, à l'aide de cette méthode, les quantités d'azote organique apportées par les effluents d'élevage. Il apparaît que les quantités ainsi calculées sont nettement supérieures à celles renseignées par les agriculteurs et sont égales en moyenne à 80 kg N/ha (à comparer avec les 40 kg N/ha en moyenne renseignés par les agriculteurs). On peut donc dire que pour des petits bassins versants, le calcul de l'apport d'azote organique à partir des productions au sein des exploitations est biaisé. Pour de petits bassins versants, la connaissance des quantités effectivement appliquées est donc nécessaire pour pouvoir établir le bilan d'azote avec précision.

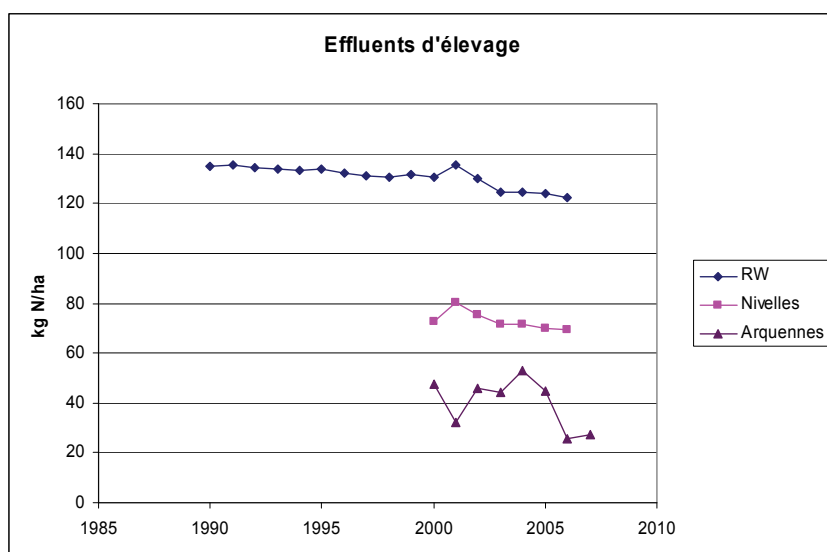


Figure 45. Comparaison des apports d'azote organique par les effluents d'élevage pour les 3 bilans

Par ailleurs, on remarque des différences notables entre les bilans "Arquennes" et "région wallonne" au niveau de la fixation d'azote (Figure 46) et de la volatilisation de l'ammoniac (Figure 47).

La fixation d'azote estimée sur les bassins d'Arquennes présente une variabilité interannuelle que l'on n'observe pas dans les deux autres bilans. Les différences observées peuvent s'expliquer par :

- les différences de superficies en légumineuses : la proportion de superficies emblavées en légumineuses reste constante (de l'ordre de 1,5% de la SAU) en région wallonne mais varie, en fonction des années, de 0 à 20% de la SAU sur les bassins d'Arquennes ;
- le fait que la seule légumineuse présente à Arquennes est le pois, dont le coefficient de fixation azotée est supérieur à celui des autres légumineuses (haricot,...).

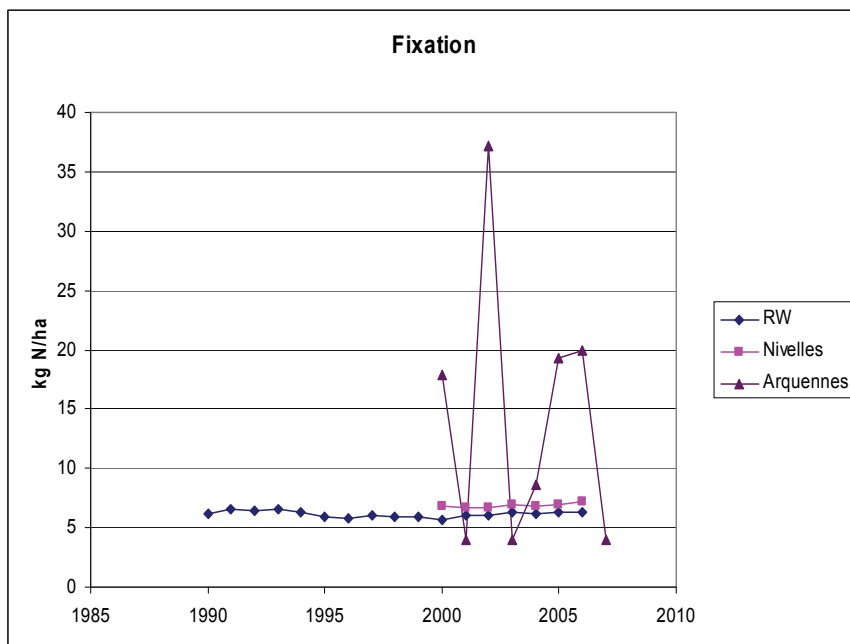


Figure 46. Comparaison de la fixation d'azote estimée dans les 3 bilans

Les valeurs de volatilisation calculées sur les bassins d'Arquennes sont inférieures à celles calculées à l'échelle de l'arrondissement de Nivelles, elles-mêmes sensiblement inférieures à celles calculées en région wallonne (Figure 47). Ceci peut s'expliquer par la pression moindre des effluents d'élevage sur les bassins d'Arquennes par rapport aux deux autres échelles (cf. Figure 45). Il faut également souligner le fait que le calcul de la volatilisation à Arquennes ne tient compte des émissions d'ammoniac ni lors du stockage des effluents en ferme ni lors du pâturage. Ceci peut également expliquer les différences observées entre les 3 bilans.

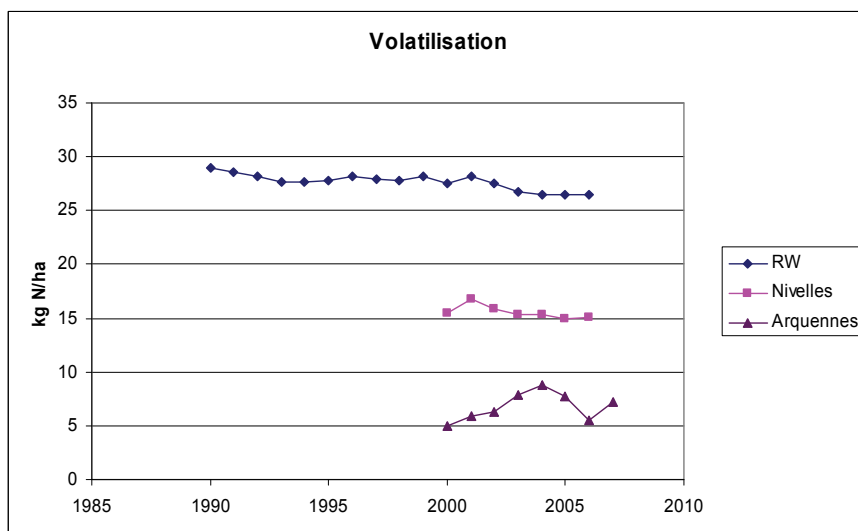


Figure 47. Comparaison de la volatilisation estimée dans les 3 bilans

Par ailleurs, on n'observe pas de différence notable entre les 3 bilans au niveau des autres postes : exportation d'azote par les cultures, apport d'engrais minéral et dépôts atmosphériques d'azote. Les ordres de grandeur pour ces postes sont comparables entre les bilans établis aux trois échelles considérées. Les quelques différences observées résultent d'un effet « année » induit par les différences d'emblavement au niveau des bassins d'Arquennes.

Enfin, deux postes du bilan présentent des résultats tellement faibles qu'ils pourraient être négligés dans l'établissement de celui-ci : il s'agit des apports d'azote organique autres que les effluents d'élevage et des apports d'azote par les semences.

11.4 Correspondance de la qualité de l'eau et du solde du bilan d'azote par arrondissement administratif en région wallonne

L'objectif de ce paragraphe est d'identifier si une correspondance existe entre la qualité de l'eau souterraine observée en région wallonne (Survey Nitrates) et les soldes de bilan d'azote calculés par arrondissement administratif. Cette comparaison étudie donc la relation éventuelle de la concentration en nitrate dans l'eau aux points de surveillance des eaux souterraines de 2004 à 2007 avec le solde moyen du bilan d'azote par arrondissement administratif en zone agricole de 2000 à 2005.

Cette analyse se base sur des comparaisons cartographiques (visuel) et des études de corrélation (statistique).

11.4.1 Présentation des données

Les corrélations et comparaisons cartographiques sont réalisées sur le solde du bilan d'azote à l'échelle des arrondissements mais également sur d'autres postes importants du bilan :

- apports d'azote organique,
- apports d'azote minéral et
- exportations d'azote par les cultures.

Ces différents postes ont été sélectionnés pour la variation spatiale (entre arrondissements) de leurs valeurs qui doit ainsi permettre une comparaison. Nous avons repris (Tableau 18), pour ces postes sélectionnés, les moyennes des années 2000 à 2005 ainsi que le solde du bilan pour la même période.

Parce que trop faibles en valeur absolue et/ou peu discriminant spatialement, les postes suivants du bilan d'azote n'ont pas été retenus pour les comparaisons :

- apport d'azote par les graines et autre matériel végétal lors du semis ou de la plantation : non retenu car il ne représente qu'une faible proportion de l'apport d'azote avec peu de variation spatiale (entre 0 et 2 kg d'azote apportés par hectare).
- fixation d'azote par les légumineuses : non retenu car il ne représente qu'une faible proportion de l'apport d'azote avec peu de variation spatiale (entre 4 et 9 kg d'azote apportés par hectare)
- dépôts atmosphériques: non retenu car les données sont incomplètes à l'échelle des arrondissements administratifs.
- autres fertilisations organiques: non retenu car pas de donnée en région wallonne à l'échelle des arrondissements administratifs (estimation à partir de la moyenne régionale).
- volatilisation de l'azote : ces données ont été estimées à partir des données d'apport d'azote organique (cf. §...). Les résultats des corrélations et des analyses cartographiques seront donc similaires entre ces deux postes.

Les valeurs du Survey Nitrates sont une moyenne par arrondissement des concentrations en nitrate dans l'eau aux points de surveillance des eaux souterraines (2004-2007) (source : *base de données géographiques de références de la DGARNE – direction d l'Etat environnemental – Coordination Géomatique et Informatique & Direction des Eaux souterraines – mars 2011*). Ces points sont également utilisés dans les cartes de comparaisons (source : *SPW URL : http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/figure/e3_2.gif*).

Tableau 18. Bilan d'azote et postes du bilan pris en compte pour la comparaison avec les valeurs moyennes du Survey Nitrates par arrondissement

Code	Arrondissement administratif	Moyenne 2000-2005				Moyenne 2004-2007
		Apport d'azote organique (kg N/ha)	Apport d'azote minéral (kg N/ha)	Exportation d'azote par les cultures (kg N/ha)	Solde du bilan (kg N/ha)	Moyenne Survey Nitrates (mg NO ₃ /l)
25	Nivelles	73,6	125,3	150,9	67,7	39,08
51	Ath	131,1	121,1	155,0	104,9	17,76
52	Charleroi	101,9	127,8	155,4	88,8	30,04
53	Mons	82,6	116,0	152,4	68,8	31,11
54	Mouscron	296,3	123,9	158,2	235,0	77,6
55	Soignies	134,9	120,2	157,7	103,3	9,22
56	Thuin	122,9	107,7	157,6	80,7	30,4
57	Tournai	117,4	123,7	153,8	98,5	38,66
61	Huy	115,6	109,9	153,1	84,4	25,16
62	Liège	125,2	106,6	158,5	82,3	29,8
63	Verviers	193,4	86,9	166,1	105,0	19,62
64	Wareme	72,7	118,6	149,9	63,8	39,41
81	Arlon	124,7	97,2	169,1	60,4	13,6
82	Bastogne	186,4	90,1	171,9	97,0	14,11
83	Marche-en-Famenne	161,5	92,2	171,5	80,7	13,16
84	Neufchâteau	175,9	89,3	169,8	91,3	14,27
85	Virton	137,0	90,8	168,0	64,6	12,28
91	Dinant	134,4	102,0	161,1	80,0	23,3
92	Namur	83,8	118,3	150,2	69,8	22,17
93	Philippeville	120,7	105,5	158,4	75,0	26,74
	Moyenne région wallonne	134,6	108,7	159,4	90,1	26,4

11.4.2 Analyse des cartes

Comparaison cartographique des concentrations dans le Survey Nitrates avec le solde du bilan d'azote par arrondissement

On ne remarque visuellement pas (Figure 48) de relation entre les points d'échantillonnage du Survey Nitrate et le solde du bilan global d'azote. En effet, l'Est (arrondissements de Verviers et Bastogne) et l'Ouest (arrondissements de Mouscron, Tournai, Ath et Soignies) de la wallonie possèdent les soldes du bilan azoté les plus élevés (plus de 90 kg N/ha) alors que les valeurs du Survey Nitrates y sont assez contrastées.

Si les valeurs du Survey Nitrates sont élevées dans l'arrondissement de Mouscron et une partie de l'arrondissement de Verviers (pays de Herve), elles sont plutôt faibles dans le reste de l'arrondissement de Verviers et dans les arrondissements d'Ath et Soignies ; il faut cependant signaler que les nappes d'eau sont régulièrement captives ou semi-captives dans ces deux arrondissement.

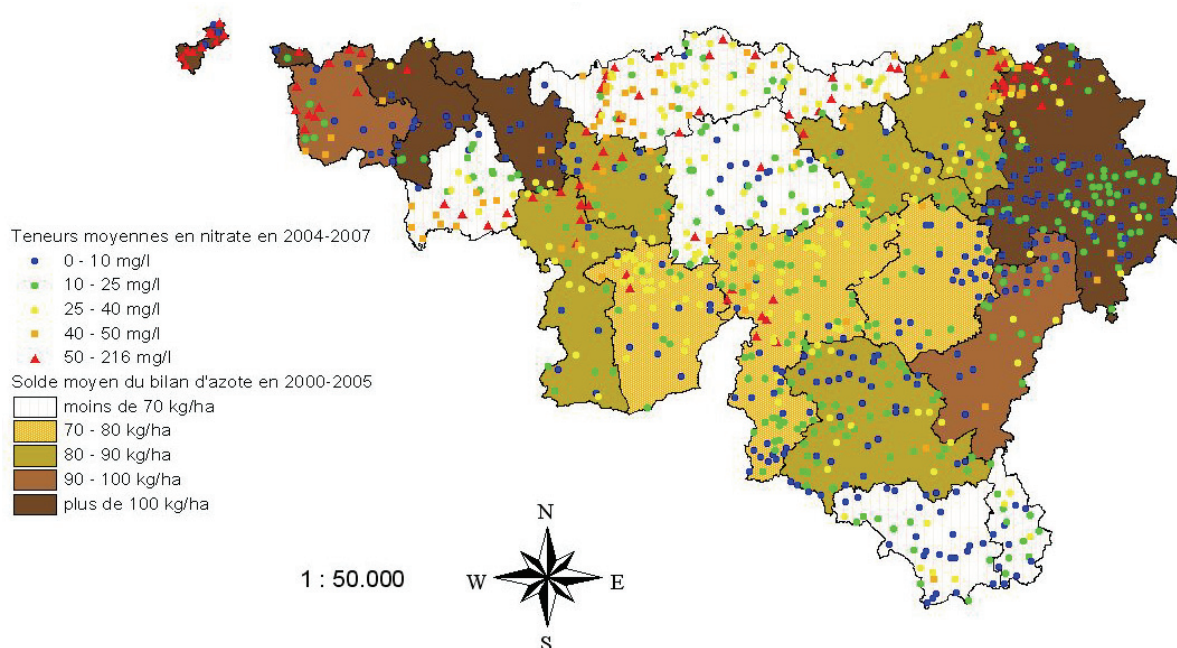


Figure 48. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec le bilan d'azote par arrondissement

On peut également remarquer que le centre nord (arrondissement de Nivelles) et l'extrême Sud (arrondissements de Virton et Arlon) présentent tous deux des soldes de bilans d'azote assez faibles alors que les valeurs du Survey Nitrates y sont également contrastées (beaucoup de points oranges – rouges dans l'arrondissement de Nivelles – zone des Sables Bruxelliens et beaucoup de points bleus – verts dans les arrondissements de Virton et Arlon – Région Jurassique).

Comparaison cartographique des concentrations dans le Survey Nitrate avec les apports d'azote organique par arrondissement administratif

Les régions qui présentent (Figure 49) les apports d'azote organique les plus élevés sont logiquement l'Ardenne, la Haute Ardenne, la Région Herbagère Liégeoise ainsi que la zone de Comines-Warneton.

On ne remarque pas visuellement de relation entre les apports d'azote organique et les valeurs du Survey Nitrates. En effet, dans les régions précitées, et mis à part pour les zones de Comines-Warneton et du pays de Herve (Région Herbagère Liégeoise), les valeurs du Survey Nitrates sont plutôt faibles. En revanche, dans d'autres régions, telles que la zone des Sables Bruxelliens, la qualité de l'eau est plutôt médiocre alors que les apports d'azote organique sont faibles (moins de 100 kg N/ha).

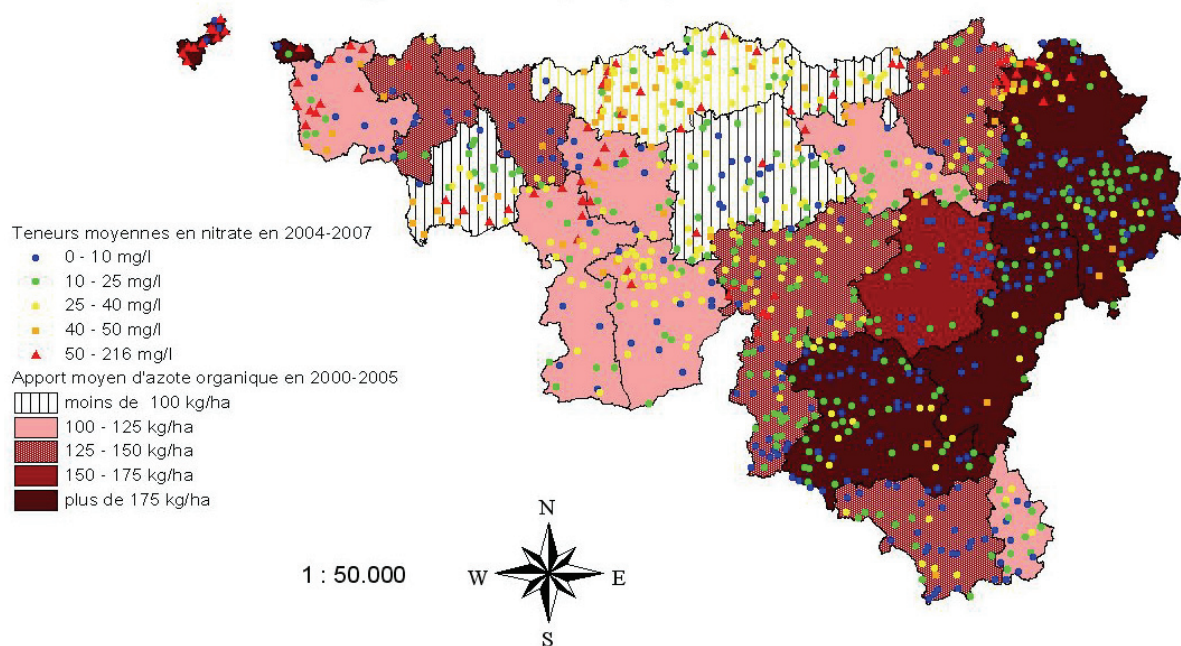


Figure 49. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec des apports d'azote organique par arrondissement

Comparaison cartographique des concentrations dans le Survey Nitrates avec les apports d'azote minéral par arrondissement administratif

On peut tout d'abord constater (Figure 50) un gradient spatial dans les apports d'engrais minéraux avec une tendance plus élevée vers le nord-ouest de la région wallonne (régions limoneuse et sablo-limoneuse) et plus faible vers le sud-est (ardenne et haute ardenne).

Une relation s'observe entre les concentrations aux points d'échantillonnage du Survey Nitrates et les apports d'azote minéral par arrondissement. On remarque que plus on se dirige vers le sud-est, plus les apports d'azote minéral sont faibles et plus les concentrations mesurées dans le Survey Nitrates sont faibles également. Les arrondissements de Ath et Soignies sont différents car on peut y remarquer des concentrations assez faibles en nitrate alors que les apports d'engrais minéraux y sont élevés (> 120 kg N/ha). Ceci peut se justifier par la nature de leur sous-sol en nappe calcaire primaire qui est très souvent captive ou semi-captive, ce qui protège l'eau souterraine des pollutions azotées.

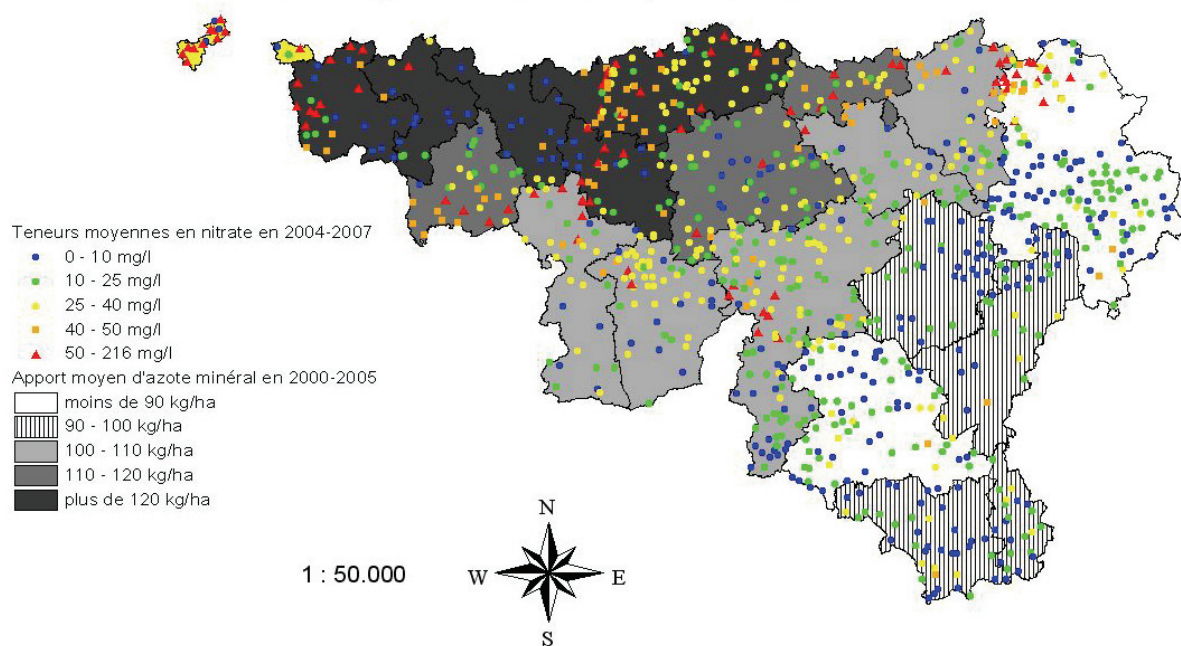


Figure 50. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec les apports d'azote minéral par arrondissement

Comparaison cartographique des concentrations dans le Survey Nitrates avec les exportations d'azote par les cultures par arrondissement administratif

On peut tout d'abord constater (Figure 51) que les exportations d'azote par les cultures sont logiquement les plus élevées dans une zone qui comprend la Région Herbagère liégeoise, l'Ardenne, la Haute Ardenne et la Région Jurassique. Dans ces régions, les prairies sont en effet dominantes par rapport aux grandes cultures, ce qui explique les différences d'exportation d'azote.

On peut constater une certaine relation entre les concentrations aux points d'échantillonnage du Survey Nitrates et les exportations d'azote par arrondissement. En effet, plus on se dirige vers le sud-est, plus les exportations augmentent et plus les teneurs en nitrate dans le Survey sont basses.

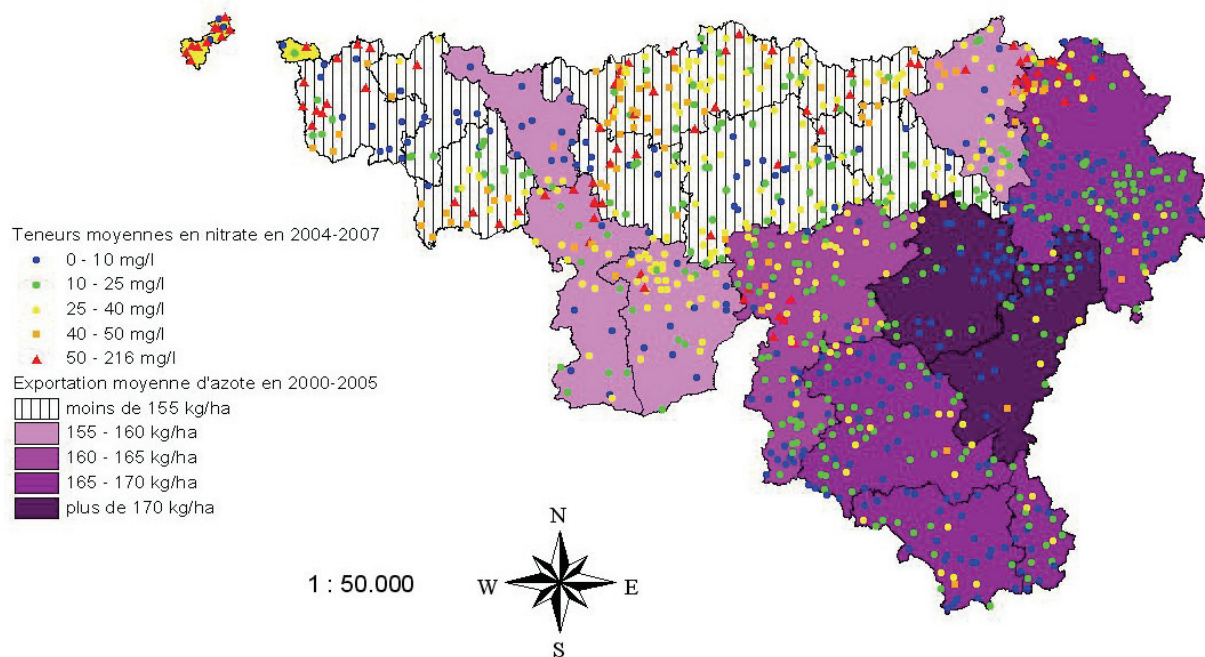


Figure 51. Comparaison des concentrations aux points d'échantillonnages avec les exportations d'azote par arrondissement

11.4.3 Analyse des graphiques de corrélation

Choix des graphiques de corrélation

Les graphiques de corrélation avec droite de régression permettent d'étudier la relation entre deux variables statistiques.

Dans la plupart des arrondissements, on constate des tendances opposées entre apport d'azote organique et apport d'azote minéral : plus les apports d'azote organique sont élevés, plus les apports d'azote minéral sont faibles.

On constate cependant (à nouveau) une exception dans l'arrondissement de Mouscron, qui présente des apports élevés tant en azote minéral qu'en azote organique.

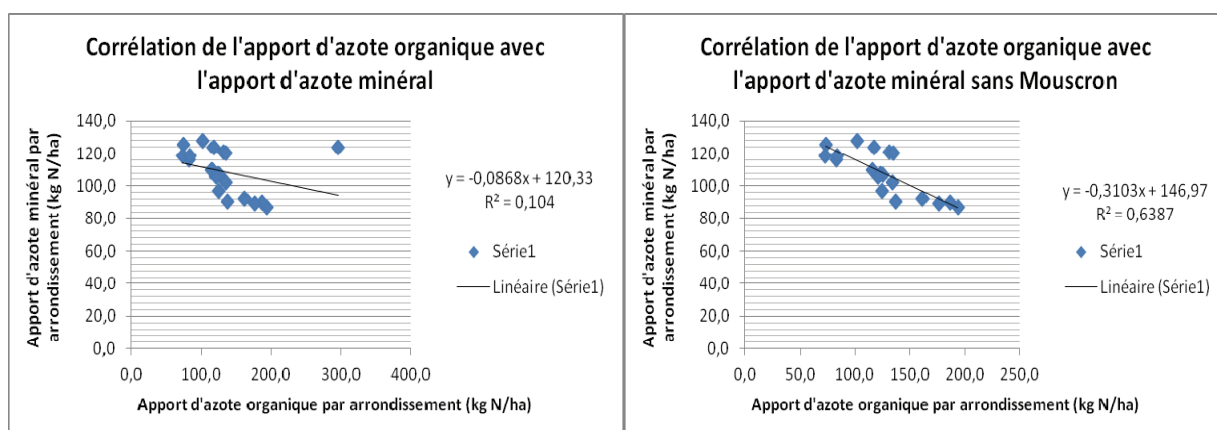


Figure 52. Corrélation (par arrondissement) entre l'apport d'azote organique et l'apport d'azote minéral avec et sans l'arrondissement de Mouscron

La corrélation (Figure 52) de l'apport d'azote organique avec l'apport d'azote minéral par arrondissement nous donne un coefficient de détermination R^2 assez faible de 0,10 alors que la même corrélation sans l'arrondissement de Mouscron est bien plus forte avec un coefficient de détermination R^2 de 0,64.

Ceci nous amène à penser qu'une comparaison des corrélations avec ou sans Mouscron serait intéressante.

Mouscron présente (Tableau 18) également des valeurs de solde du bilan azoté et des valeurs moyennes de concentration dans le Survey Nitrates trop éloignées par rapport aux autres arrondissements. C'est ainsi que la valeur moyenne du Survey Nitrates dans l'arrondissement de Mouscron s'élève à 77 mg NO_3^-/l alors que la moyenne en région wallonne s'élève à 26 mg NO_3^-/l (la donnée la plus élevée après Mouscron est Waremmes avec 39 mg NO_3^-/l) ; par ailleurs, le solde du bilan d'azote s'élève à 232 kg N/ha dans l'arrondissement de Mouscron alors que le solde moyen en région wallonne s'élève à 90 kg N/ha.

Analyse de la concentration moyenne du Survey Nitrates en relation avec le solde du bilan d'azote par arrondissement

La Figure 53 (graphique de gauche) indique une corrélation ($R^2 = 0,44$) entre le solde du bilan azoté et les concentrations moyennes observées dans le Survey Nitrates. On remarque cependant que le point correspondant à l'arrondissement de Mouscron se démarque du nuage des autres points.

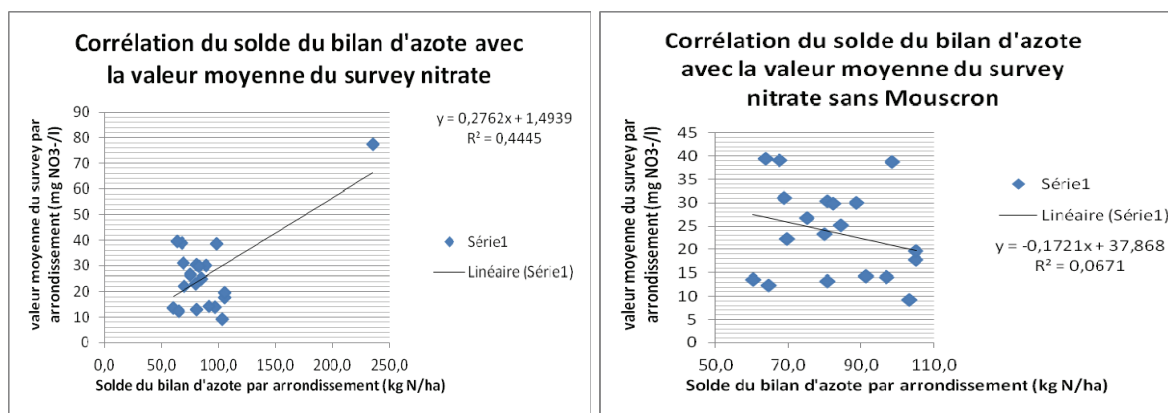


Figure 53. Corrélation (par arrondissement) entre le solde du bilan d'azote et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron

En l'absence des données de Mouscron (graphique de droite) la relation entre ces deux familles d'observations montre un coefficient de détermination beaucoup plus faible ($R^2 = 0,07$), ce qui nous amène à dire que la corrélation est inexistante entre les concentrations moyennes dans le Survey Nitrates et les soldes de bilan azoté à l'échelle des arrondissements.

Analyse de la concentration moyenne du Survey Nitrates en relation avec l'apport d'azote organique par arrondissement

En considérant l'ensemble des arrondissement (Figure 54 – graphique de gauche), le coefficient de détermination est faible ($R^2 = 0,09$); le point relatif à l'arrondissement de Mouscron se démarque à nouveau des autres points.

La relation que l'on peut tirer en analysant le graphique sans les données de Mouscron (Figure 54 – graphique de droite) semble a priori meilleure ($R^2 = 0,47$), mais la tendance est cependant contraire à celle à laquelle on pouvait s'attendre au départ: Cette figure est à mettre en relation avec la Figure 49 (page 79) qui illustre qu'en région plus herbagère (et plus boisée), l'eau souterraine est souvent de meilleure qualité.

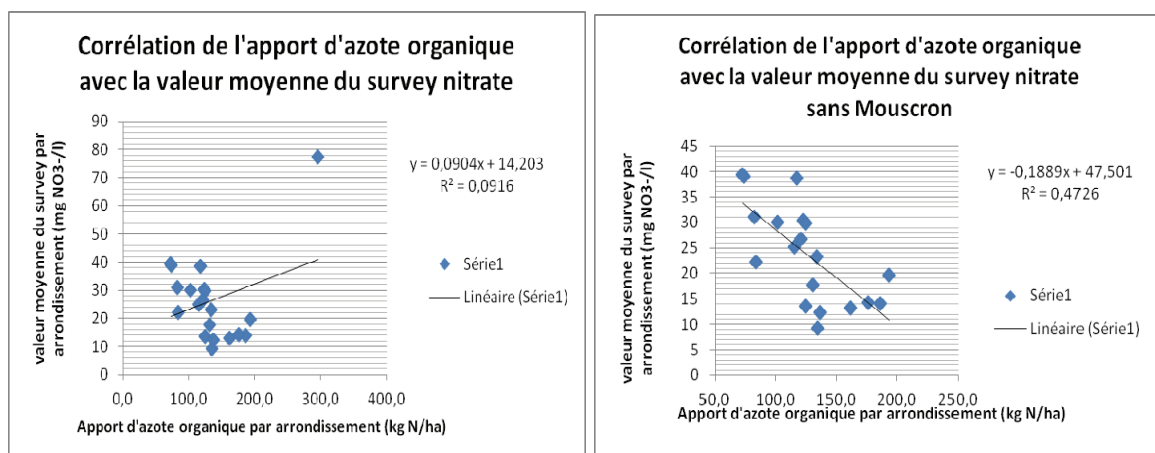


Figure 54. Corrélation (par arrondissement) entre de l'apport d'azote organique et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron

Analyse de la concentration moyenne du Survey Nitrates en relation avec l'apport d'azote minéral par arrondissement

Ces deux graphiques (Figure 55) illustrent des corrélations positives entre l'apport d'azote minéral et la concentration moyenne dans le Survey Nitrates, avec des coefficients de détermination faibles à moyens ($R^2 = 0,33$ et $0,38$ avec ou sans le point de Mouscron). Le fait d'exclure le point de Mouscron permet d'augmenter légèrement le coefficient de détermination.

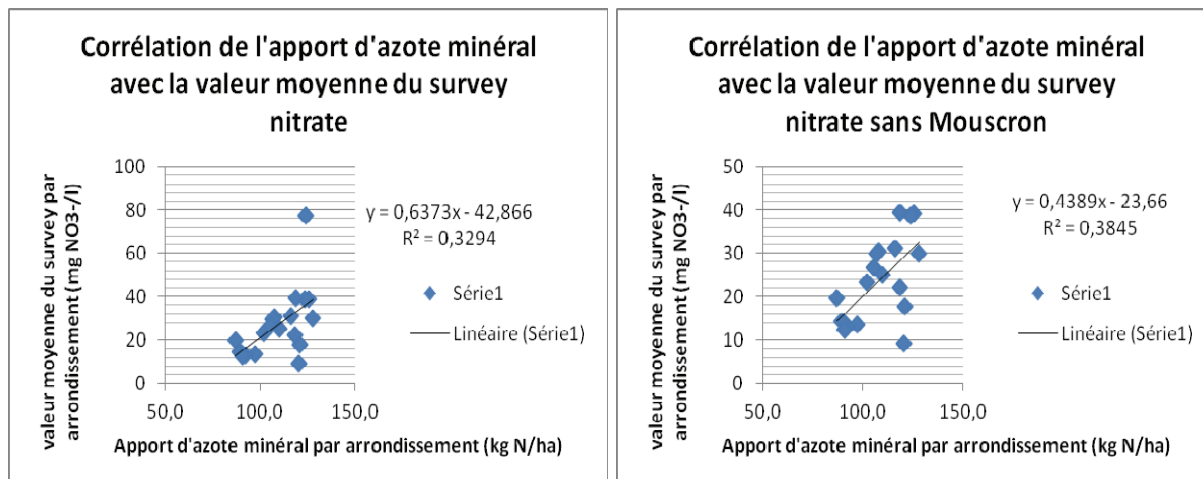


Figure 55. Corrélation (par arrondissement) entre l'apport d'azote minéral et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron

On peut donc conclure que le terme « apport d'azote minéral par arrondissement » permet mieux d'expliquer les différences observées entre les concentrations moyennes du Survey Nitrates que le solde du bilan azoté ou l'apport d'azote organique par arrondissement ; la relation n'est cependant pas franche.

Analyse de la concentration moyenne du Survey Nitrates en relation avec l'exportation d'azote par les cultures par arrondissement

On peut remarquer dans ces deux graphiques (Figure 56) que la corrélation entre les deux variables est logiquement négative (courbe de tendance décroissante).

Dans le premier graphique, on remarque également que le point de Mouscron se démarque à nouveau complètement des autres points. Le coefficient de détermination est assez faible ($R^2 = 0,24$). Par contre, en excluant le point correspondant à l'arrondissement de Mouscron, nous constatons que la corrélation est meilleure. Ceci est confirmé par un coefficient de détermination plus élevé ($R^2 = 0,54$).

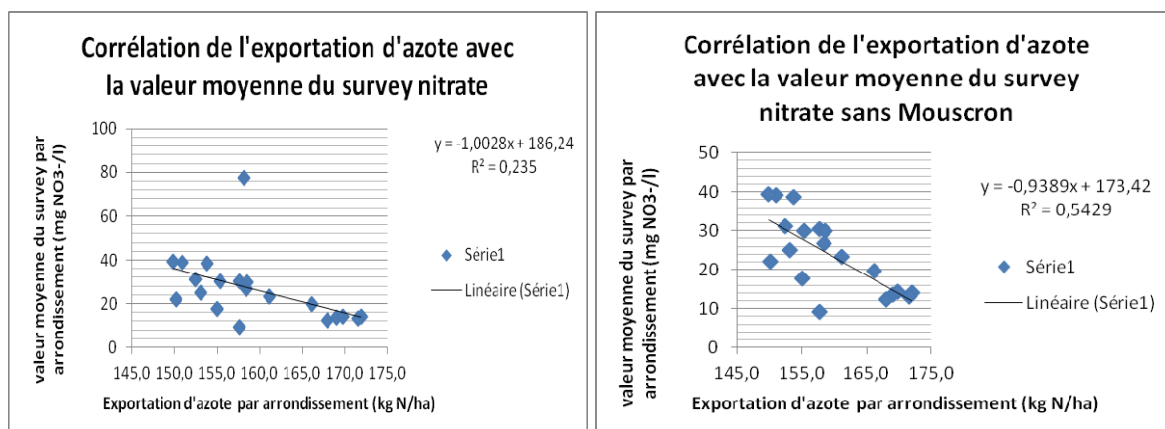


Figure 56. Corrélation (par arrondissement) entre l'exportation d'azote et la concentration moyenne en nitrate dans le Survey nitrate avec et sans l'arrondissement de Mouscron

11.4.4 Conclusion

Nous pouvons tout d'abord conclure à l'absence de corrélation entre les concentrations aux points du Survey Nitrates et le solde du bilan d'azote à l'échelle des arrondissements. L'analyse cartographique et les graphiques ne révèlent en effet aucune corrélation.

Nous pouvons également conclure à l'absence de corrélation entre les concentrations moyennes dans le Survey Nitrates et l'apport d'azote organique à l'échelle des arrondissements. Aussi bien l'analyse cartographique que l'analyse graphique montrent l'absence de corrélation entre ces deux variables.

En revanche, l'analyse cartographique ainsi que l'analyse statistique pour l'apport d'azote minéral nous permettent de conclure à une corrélation modérée entre cette variable et les concentrations moyennes du Survey Nitrates.

Une relation modérée existe également entre l'exportation d'azote par les cultures et les concentrations moyennes du Survey Nitrates. Ceci est confirmé par les analyses cartographique et graphique.

Nous remarquons également que certains arrondissements ou zones se démarquent particulièrement des autres. Ceux-ci mériteraient une analyse plus précise, comme l'arrondissement de Mouscron qui présente un excédent azoté (organique et minéral) particulièrement important. Dans ce cas précis d'excédent azoté structurel important, le bilan azoté semble être un meilleur indicateur des concentrations dans le Survey Nitrates.

Pour le reste, beaucoup de paramètres autres que les apports d'azote d'origine agricole entrent en compte : la nature du sol et du sous sol, l'occupation du territoire (dont la part et le type (culture, élevage, mixte) d'agriculture dans chaque arrondissement), les rejets industriels, humains, etc.

L'impact de la nature du sous-sol est particulièrement visible dans les nappes captives ou semi-captives des calcaires du primaire (arrondissements de Tournai, Ath et Soignies), où les teneurs en nitrate sont particulièrement faibles par rapport aux autres points d'échantillonnage situés à proximité. La zone des Sables Bruxelliens est également particulièrement illustrative à cet égard ; la nature sableuse du sous-sol permet d'expliquer la qualité de l'eau particulièrement médiocre qui y est observée par rapport aux autres points d'échantillonnage situés à proximité.

La comparaison du bilan azoté avec les valeurs du Survey Nitrates serait sûrement plus intéressante sur de plus petites zones. Nous pensons notamment au pays de Herve, qui représente une surface limitée dans l'arrondissement de Verviers, mais où les concentrations en nitrate sont bien plus élevées que dans le reste de l'arrondissement.

Au final, nous pouvons conclure que le solde du bilan d'azote à l'échelle des arrondissements n'est pas un bon indicateur de risque pour la qualité des eaux souterraines ; au contraire de l'apport d'azote minéral qui est mieux corrélé à la concentration en nitrate mesurée dans les aquifères wallons.

11.5 Evaluation de la méthode d'établissement du bilan d'azote

L'établissement d'un bilan d'azote annuel en région wallonne, dans l'arrondissement de Nivelles et sur les petits bassins versants pilotes d'Arquennes a permis d'estimer les excédents d'azote dans les sols agricoles. En ce sens, le bilan d'azote peut être considéré comme un indicateur agro-environnemental reflétant la gestion globale de l'azote. Cette approche est sans aucun doute indicative des risques de pertes azotées à long terme et présente l'avantage de ne requérir qu'un nombre relativement limité d'informations sur le système. Cependant, le calcul des excédents ne peut pas être interprété directement comme un indicateur des pertes azotées dans l'eau. De plus, cette méthode du n'est pas suffisamment précise si l'on veut pouvoir comparer différentes stratégies de prévention efficaces, du moins lorsqu'on considère des systèmes sans excédents azotés structurels importants (Mary et al, 1996). En effet, ce type d'approche par bilan annuel a le plus de chance d'être valable lorsqu'on est dans des conditions à forts excédents d'azote et lorsque le drainage annuel est très fort, ce qui n'est que partiellement le cas à Arquennes. Ces conditions permettent en effet de négliger les variations de bilan azoté qui se produisent au cours de l'année.

La méthode d'établissement de ce bilan amène également certaines réflexions. Tout d'abord, l'élaboration du bilan d'azote nécessite de choisir et de définir un certain nombre d'entrées et de sorties (cf. §11.1) ; ce choix est arbitraire et certains postes du bilan (apports d'azote par les semences, apports d'azote organique autres que les effluents d'élevage) pourraient être négligés du fait de leur faible contribution au bilan total tandis que d'autres entrées ou sorties (dénitrification, pertes par ruissellement et érosion, lixiviation) pourraient être pris en considération. Ce choix dépend du contexte dans lequel le bilan est établi et de la disponibilité des données.

Par ailleurs, la méthode du bilan azoté ne prend pas en compte l'effet des cultures intermédiaires puisque ces cultures ne reçoivent pas d'engrais azotés et qu'il n'y a pas d'exportation d'azote par les plantes (Mary et al, 1996). Pour rendre compte de ces situations, il est indispensable de mesurer et de simuler l'évolution de l'eau et de l'azote dans le sol au cours du cycle cultural (passage par une approche dynamique de modélisation).

La connaissance exacte des données nécessaires à l'établissement du bilan conditionne le degré de précision du bilan lui-même. Il est ainsi évident que la précision du bilan établi sur les bassins pilotes d'Arquennes est supérieure à celle de celui établi à l'échelle régionale grâce à la connaissance d'un certain nombre d'informations (rendements, apports azotés,...) qu'il a été possible de collecter du fait de la dimension limitée des bassins d'Arquennes. Celle-ci facilite non seulement la mesure de données (flux d'azote) mais aussi la collecte d'informations auprès des agriculteurs (rendements, apports d'engrais,...). La précision du bilan établi à Arquennes pourrait encore être accrue par l'installation de dispositifs de mesure, ce qui serait impossible (ou trop coûteux) à l'échelle d'un territoire plus vaste comme la région wallonne. L'établissement d'un bilan azoté à cette échelle présentera donc toujours un certain degré d'imprécision.

Enfin, le bilan global tel qu'établi en région wallonne ne différencie pas les formes d'azote (organique ou minéral) que l'on retrouve dans le sol et ne tient pas compte des processus de minéralisation/immobilisation. Il est donc impossible de chiffrer à partir de ce bilan l'évolution des stocks d'azote organique dans le sol et l'enrichissement potentiel de celui-ci en humus.

12 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRE H, 2006. La biodiversité dans les sols en Région wallonne. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Unité de la faune du sol, Section des invertébrés non insectes, Département de zoologie, Musée royal de l'Afrique Centrale. 43 p.
- CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON, 2007. Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. MRW - DGRNE. Namur. 736p.
- CELLULE ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON, 2008. Tableau de bord de l'environnement wallon 2008. SPW – DGARNE (DGO3) – DEMNA – DEE. 199p.
- CITEAU L., BISPO A., BARDY M., KING D., 2008. Gestion durable des sols. Editions Quae. 320 p.
- COLINET G., LAROCHE J., ETIENNE M., LACROIX D., BOCK L., 2004. Intérêt d'une stratification pédologique pour la constitution de référentiels régionaux sur les teneurs en éléments traces métalliques dans les sols de Wallonie *In : Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*. Vol. 8, fascicule 2. pp 27-38.
- COLINET G., LAROCHE J., TOUSSAINT B., GOFFAUX M-J., MARTINEZ M., OGER R., 2005. Base de données sols de Réquasud. Deuxième synthèse.
http://www.requasud.be/pdf/ReQuaSud_BaseDonnees_Sols.pdf. Requasud asbl, 36 p.
- COLLECTIF, 2004. District Hydrographique International de l'Escaut. Tome I: État des lieux en Région wallonne. Partie eaux de surface. Vol. 1. Namur: Ministère de la Région wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Observatoire des Eaux de Surface, Direction des Eaux de Surface, Direction des Eaux Souterraines. 144 p.
- COLLECTIF, 2004. District Hydrographique International de l'Escaut. Tome I: État des lieux en Région wallonne. Partie eaux souterraines. Vol. 2. Namur: Ministère de la Région wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Observatoire des Eaux de Surface, Direction des Eaux de Surface, Direction des Eaux Souterraines. 42 p.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2007. EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook Technical report N° 16/2007. European Environment Agency. Copenhagen. url: <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5/B1010vs4.0.pdf>
- FONDER, N., DENEUFBOURG, M., VANDENBERGHE, C., XANTHOULIS, D., AND MARCOEN, J. M. (2010). Suivi de la percolation du nitrate en terres cultivées par la technique lysimétrique. In "Atelier Nitrate-Eau. Evaluation du programme de gestion durable de l'azote" (C. Vandenberghe and J. M. Marcoen, eds.), Vol. 14 S1, pp. 17-25. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Peyresq (France).
- GHAZINOORY, S., ABDI, M., and AZADEGAN-MEHR, M. (2011). Swot methodology : a state of the art review for the past, a framework for the future. *Journal of Business Economics and Management* 12, 24-48.
- GENOT V., COLINET G., BOCK L., 2007. La fertilité et la biodiversité dans les sols. Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. pp 452-467
- GOOR F., 2007. L'érosion hydrique des sols. Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. pp 475-485.
- GRANDJEAN M., HANIN Y., ROUSSEAU V., 2007. L'occupation des sols et l'urbanisation. *In : Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. pp 124-137.
- GYBELS K., WUSTENBERGHS H., CLAEYS D., VERHAGEN E., LAUWERS L., KESTEMONT B., 2009. Nutrient Balance for Nitrogen. Statistics Belgium, Working paper n°22. SPF Economie, PME, Classes moyennes et Energie et ILVO. 54 p.

- KUMAR K., GUPTA S., CHANDER Y., SINGH A., 2005. Antibiotic use in agriculture and its impact on the terrestrial environment. *Advances in Agronomy*. Vol. 87 pp 1-45.
- LAUWERS, L., LENDERS, S., WUSTENBERGHS, H., SANDERS, A., VERVAET, M., CARLIER, P., VAN MEENSEL, J., 2004. Contribution to a more transparent and high performance modelling system for deriving agri-environmental indicators. *Studie uitgevoerd in opdracht van TAPAS 2002, Agri-environmental indicators*, Centrum voor Landbouweconomie, Brussel.
- LOUIS A., 1958. Texte explicatif de la planchette de Feluy 128 E. Carte des sols de Belgique. Bruxelles : Institut pour l'encouragement de la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture.
- MARY B., BEAUDOIN N., BENOIT M., 1996. Prévention de la pollution nitrique à l'échelle du bassin d'alimentation en eau. *In : Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Lemaire G. & Nicolardot B., série Les Colloques de l'INRA, INRA Editions, Paris.
- PECROT A., 1957. Texte explicatif de la planchette de Nivelles 129 W. Carte des sols de Belgique. Bruxelles : Institut pour l'encouragement de la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture.
- PHILIPPOT L., CUHEL J., SABA N., CHENEY D., CHRONAKOVA A., BRU D., ARROUAYS D., MARTIN-LAURENT F., SIMEK M., 2009. Mapping field-scale spatial patterns of size and activity of the denitrifier community. *Environmental Microbiology* (2009) 11(6), 1518–1526.
- SITEREM, CELINE, ISSeP, 2006. Analyse spatio-temporelle du dépassement des charges critiques en polluants acidifiants en Région wallonne. Analyse selon le type d'écosystème et mise en relation avec les quantités émises de substances acidifiantes. Rapport final de convention MRW-DGRNE. 193p.
- 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 *In : Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*. Vol. 8, fascicule 2. pp 55-62.
- VAN DER HEIJDEN MGA, KLIRONOMOS JN, URSIC M, MOUTOGLIS P, STREITWOLF-ENGEL, R, BOLLER T, WIEMKEN, A, SANDERS IR, 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* Vol. 396 : 69-72
- VAN ONGEVAL L., COPPENS G., GEYPENS M., 1998. Wetenschappelijk rapport hoofdstuk "vermesting" in MIRA-T 1998.
- VERVAET M., KERSELAERS E., CLAEYS D., VANDERMERSH M., LENDERS S., LAUWERS, L. WUSTENBERGHS H., FERNAGUT B., 2006. TAPAS 2004 – Agri-environmental indicators. Operationalisation of AEI calculation models. Execution Report, March 2006. Institute for Agricultural and Fisheries Research, Merelbeke.
- WARIN A., BERNAERDT R., DELCARTE E., MAESEN P., NAUD J., MARCOEN J.M., 2004. Développement d'un système harmonisé de surveillance de la qualité des terres agricoles en Région wallonne anticipant la future directive européenne sur les sols *In : Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*. Vol. 8, fascicule 2. pp 13-26.
- WARIN A., BERNAERDT R., DELCARTE E., MAESEN Ph., NAUD J., MARCOEN J.M., 2005. Mise en place de sites chantiers en vue de l'établissement d'un système harmonisé de surveillance de la qualité des terres cultivées en région wallonne. Rapport final de la subvention MRW-DGA à l'asbl Céréales Plus/Dossier 3524/1, 121 p.
- WISCHMEIER W.W., SMITH D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses, *Agriculture Handbook* n°537. US Department of Agriculture Research Service, Washington DC, USA, 58p.

13 ANNEXES

13.1 Annexe 1: bilan d'azote annuel en Région wallonne

Bilan d'azote (kg N/ha SAU)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Effluents d'élevage	135	136	134	134	133	134	132	131	130
Utilisation d'engrais minéraux	133	131	127	123	128	127	124	125	120
Autres fertilisants organiques	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Dépôts atmosphériques	27	21	25	25	25	25	25	24	22
Fixation biologique	6	7	6	7	6	6	6	6	6
Apport d'azote par semences	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Apport total d'azote	305	298	297	293	297	296	292	290	283
Exportation d'azote par les plantes	166	162	202	183	181	205	186	156	152
Emissions atmosphériques d'ammoniac	29	29	28	28	28	28	28	28	28
Excédent d'azote dans les sols agricoles	110	108	67	81	88	64	78	106	103

Bilan d'azote (kg N/ha SAU)	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Effluents d'élevage	131	130	135	130	125	124	124	122
Utilisation d'engrais minéraux	120	115	109	116	105	108	100	101
Autres fertilisants organiques	3	3	3	3	3	3	3	3
Dépôts atmosphériques	25	25	28	24	22	24	25	25
Fixation biologique	6	6	6	6	6	6	6	6
Apport d'azote par semences	1	1	1	1	1	1	1	1
Apport total d'azote	286	281	283	280	262	267	259	258
Exportation d'azote par les plantes	152	159	154	162	147	157	175	147
Emissions atmosphériques d'ammoniac	28	28	28	27	27	26	26	26
Excédent d'azote dans les sols agricoles	106	94	101	91	89	83	58	85

13.2 Annexe 2 : bilan d'azote annuel dans l'arrondissement administratif de Nivelles

Bilan d'azote (kg N/ha SAU)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Effluents d'élevage	73	80	75	71	72	70	70
Autres fertilisants organiques	3	3	3	3	3	3	3
Utilisation d'engrais minéraux	132	123	128	121	127	121	120
Dépôts atmosphériques	23	29	25	23	20	25	26
Fixation biologique	7	7	7	7	7	7	7
Apport d'azote par semences	2	2	2	2	2	2	2
Apport total d'azote	239	244	239	228	231	228	228
Exportation d'azote par les plantes	150	141	153	147	157	157	143
Emissions atmosphériques d'ammoniac	27	29	28	28	27	27	28
Excédent d'azote dans les sols agricoles	62	74	58	53	46	44	57

13.3 Annexe 3 : bilan d'azote annuel dans les bassins d'Arquennes

Bilan d'azote (kg N/ha SAU)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Effluents d'élevage	47	32	46	44	53	45	25	27
Autres fertilisants organiques	0	0	5	0	1	0	0	0
Utilisation d'engrais minéraux	137	143	116	147	115	126	114	158
Dépôts atmosphériques	21	21	20	20	20	20	20	20
Fixation biologique	18	4	37	4	9	19	20	4
Apport d'azote par semences	1	1	1	1	1	1	1	1
Apport total d'azote	224	200	226	217	198	211	180	210
Exportation d'azote par les plantes	166	137	170	174	179	172	164	183
Emissions atmosphériques d'ammoniac	5	6	6	8	9	8	5	7
Excédent d'azote dans les sols agricoles	53	57	50	35	11	31	11	19

13.4 Annexe 4. Coefficients d'exportation des principales cultures (COPREN)

CULTURE	Rendement Unité	Exportations N (kg/Qx ou T récolté)	
		Résidus enfouie	Résidus exporté
Avoine	Qx	1.9	2.5
Betteraves fourragères	T	1.5	1.9
Betteraves sucrières	T	1.9	1.9
Blé dur	Qx	1.9	2.5
Blé tendre d'hiver	Qx	1.9	2.5
Colza Hiver	Qx	3.5	7
Colza Printemps	Qx	3.5	7
Endive	T	2.5	2.5
Escourgeon	Qx	1.5	2.1
Féveroles hiver	Qx	3.8	4.9
Féveroles printemps	Qx	3.6	5.1
Haricots verts	T	3.4	
Lin fibre	T/MS		5.3
Lin Graines	Qx	3	
Lupin hiver	Qx	5.1	6.1
Lupin printemps	Qx	5.3	6.2
Luzerne	T/MS		
Maïs ens + RGA	T/MS		12.5
Maïs ensilage	T/MS		12.5
Maïs grain	Qx	1.5	2.2
Oignons	Qx	2	
Orge de printemps	Qx	1.5	2.1
Orge d'hiver	Qx	1.5	2.1
P. D. T. consommation	T	3.5	3.5
P.D.T. Fécule	T	3.5	3.5
Pois Protéagineux	Qx	3.7	5
Prairie fauchée	T/MS		15
Prairie pâturée	T/MS		25
Prairie pâturée-fauchée	T/MS		35
Seigle	Qx	1.4	2
Soja	Qx	6.1	7.1
Tournesol	Qx	1.9	3.7
Triticale	Qx	1.9	2.5