Geo³-Hydrogéologie - Département ArGEnCo
(Architecture, Géologie, Environnement & Constructions)
Université de Liège

Départements de Biologie et de Géologie
Université de Namur

Axe Echanges Eau-Sol-Plante, Gembloux Agro bio-tech
Université de Liège

Convention Région wallonne et HGE-ULg
Caractérisation complémentaire des masses d'eau dont le bon état dépend d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines

D4.2. Modélisation agro-hydrologique des bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont

Coordinateur du projet :

Dr. ir. Serge Brouyère (HGE-ULg)

Partenaires scientifiques :

Ulg-HGE : Dr. Philippe Orban, Pierre Briers

GxABT-Ulg-AEESP : Prof. Aurore Degré, Dr. Catherine Sohier

UN-LEED : Prof. Jean-Pierre Descy, Bruno Leporcq

UN-GEOL : Prof. Vincent Hallet, Flore Schmit, Gaëtan Rochez

Rédaction : Prof. Aurore Degré, Dr. Catherine Sohier

Table des matières

1. Introduction 4
2. Le modèle hydrologique EPICgrid 5
3. Domaine de simulation 8
4. Construction des bases de données 9
4.1. Introduction 9
4.2 Implémentation des données récoltées à l'échelle locale 9
4.2.1 Les données climatiques 9
4.2.2 Les données agronomiques 10
4.3. La spatialisation 14
5. Résultats des simulations EPICgrid 15
5.1 Bilans hydrologiques des bassins versants 15
5.1.1 Introduction 15
5.1.2 Bilans annuels 15
5.1.3 Bilans mensuels 16
5.1.4 Estimation des pertes des eaux de surface et vers les eaux souterraines 18
5.2 Flux d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines 21
5.2.1 Introduction 21
5.2.2 Pollution agricole diffuse 21
5.2.3 Pollution domestique diffuse 24
5.3 Concentration en nitrate des eaux de surface 26
5.3.1 Données observées 26
5.3.2 Résultats des simulations 27
6. Impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines 29
6.1 Introduction 29
6.2 L'Azote Potentiellement lessivable (APL) 29
6.3 APL observés dans la zone d'étude 30
6.4 Choix des parcelles 32
6.5 Résultats des simulations 33
6.5.1 Parcelle T29 33
6.5.2 Parcelle T525 35
6.5.3 Parcelle T520 37

7. Conclusion 40

Références 41

Annexe I : Bilans hydrologiques mensuels par bassin versant 42

Annexe II : Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines par bassin versant 47

1. Introduction

La contribution de l'Axe Echanges Eau-Sol-Plante de Gembloux Agro-Bio Tech (ULg) dans le cadre de la Convention SPW – ULg « Caractérisation complémentaire des masses d'eau dont le bon état dépend d'interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines » consiste notamment à implémenter un modèle hydrologique sol et zone vadose sur les 2 bassins versants tests (le Hoyoux amont et le Triffoy) afin :

- d'estimer les pressions diffuses issues du secteur agricole sur les eaux de surface et les eaux souterraines ;
- de tester l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

La modélisation est réalisée sur base du modèle agro-hydrologique EPICgrid (Sohier, 2011). Le modèle EPICgrid est un modèle hydrologique sol et zone vadose incluant les cycles des éléments (N,P) et permettant de représenter les flux diffus vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines.

2. Le modèle hydrologique EPICgrid

Le modèle EPICgrid est un modèle hydrologique de bassin versant développé par l'Axe Echanges Eau-Sol-Plante de Gembloux Agro-Bio Tech (ULg) (Sohier, 2011) sur base du modèle parcellaire EPIC (Williams et al., 1984).

Le modèle EPICgrid combine une description fine des relations entre le climat, l'eau, le sol et les plantes, telle que rencontrée dans les modèles 'Eau-Sol-Plantes' à l'échelle d'une parcelle élémentaire, et une description spatialement discrétisée du bassin versant ; en particulier, le modèle simule quotidiennement la croissance des plantes, la variation d'humidité du sol en relation avec la transpiration des végétaux.

Les paramètres du modèle sont déterminés sur base de référentiels physiques. Les données d'entrée utilisées pour la modélisation sont multiples (Figure 1) :

- données météorologiques journalières (précipitations, données de l'évapotranspiration potentielle, température de l'air, CO2) ;
- données du milieu : topographiques, pédologiques, géologiques, taux de matière organique, … ;
- données d'occupation du sol : zones urbanisées, types de cultures, types de forêts, … ;
- paramètres de croissance des cultures ;
- données relatives aux pratiques agricoles : dates de semis et de récolte, type de travail du sol, quantités de fertilisants organiques et minéraux, …. ;
- …

Le modèle EPICgrid simule, jour après jour, pour chaque maille du bassin versant pondérée de ses composantes (Figure 1), les flux d'eau et de nutriments (azote, phosphore) vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines. De plus, une composante « érosion » permet d'estimer les quantités de sédiments, et de nutriments associés, qui rejoignent les rivières ('sediment yield').

Les bilans hydrologiques répartissent par bassin versant ou par masse d'eau les termes :

- d'évapotranspiration réelle ;
- de flux d'eau issus du sol et du sous-sol apportés directement aux eaux de surface (ruissellement direct et flux hypodermiques lents) ;
- et de flux de percolation, apportés aux eaux souterraines (recharge ou « pluie efficace »).

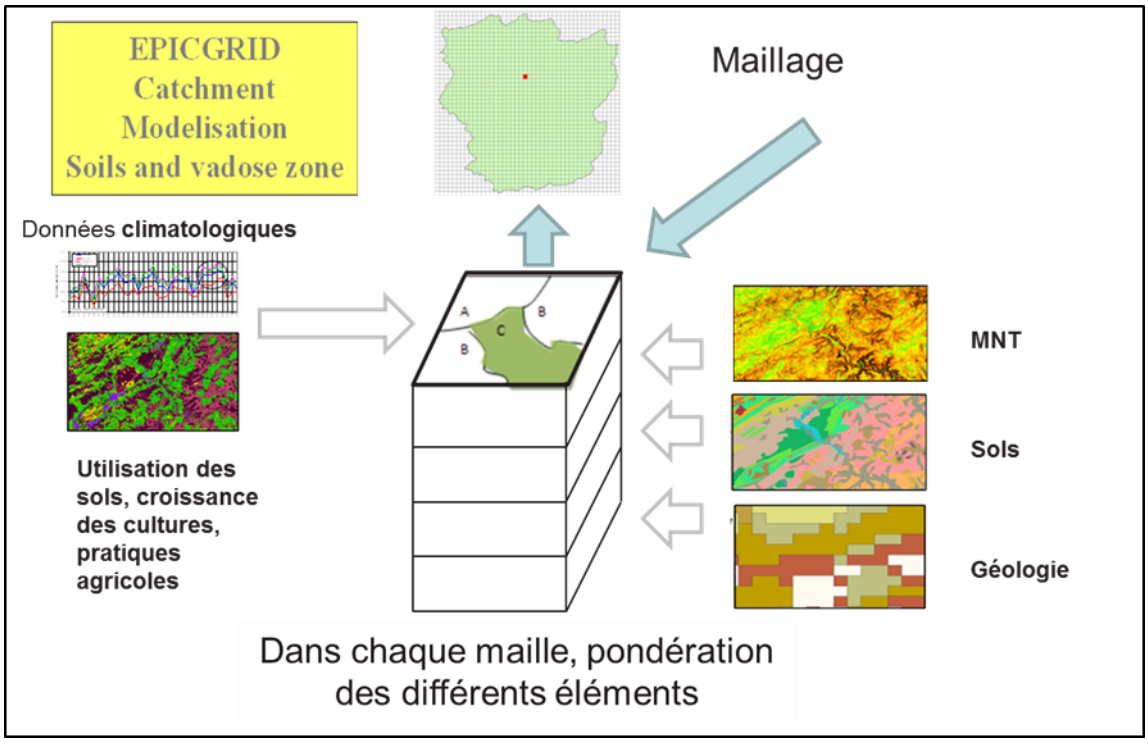


Figure 1 : Structure et données d'entrée du modèle EPICgrid

La simulation des processus diffus liés au transfert de l'azote, du phosphore et des pesticides tient compte, s'il y a lieu, de processus d'eau mobile-immobile dans le milieu poreux, de dégradation, d'adsorption-désorption sur les particules de sol, d'adsorption foliaire, volatilisation, etc., outre les aspects de transport et stockage proprement dits dans le milieu poreux lui-même.

Il est important de noter que la présente modélisation prend en compte uniquement les flux d'origine agricole diffuse ; elle n'inclut donc pas les pertes ponctuelles de nitrate ; il convient d'en tenir compte lors de l'interprétation globale.

L'ensemble du cycle de l'azote agricole diffus dans le sol est modélisé, les processus de volatilisation, nitrification-dénitrification, fixation symbiotique, etc., étant pris en considération ; la Figure 2 présente très schématiquement l'essentiel des flux simulés au sein d'EPICgrid.

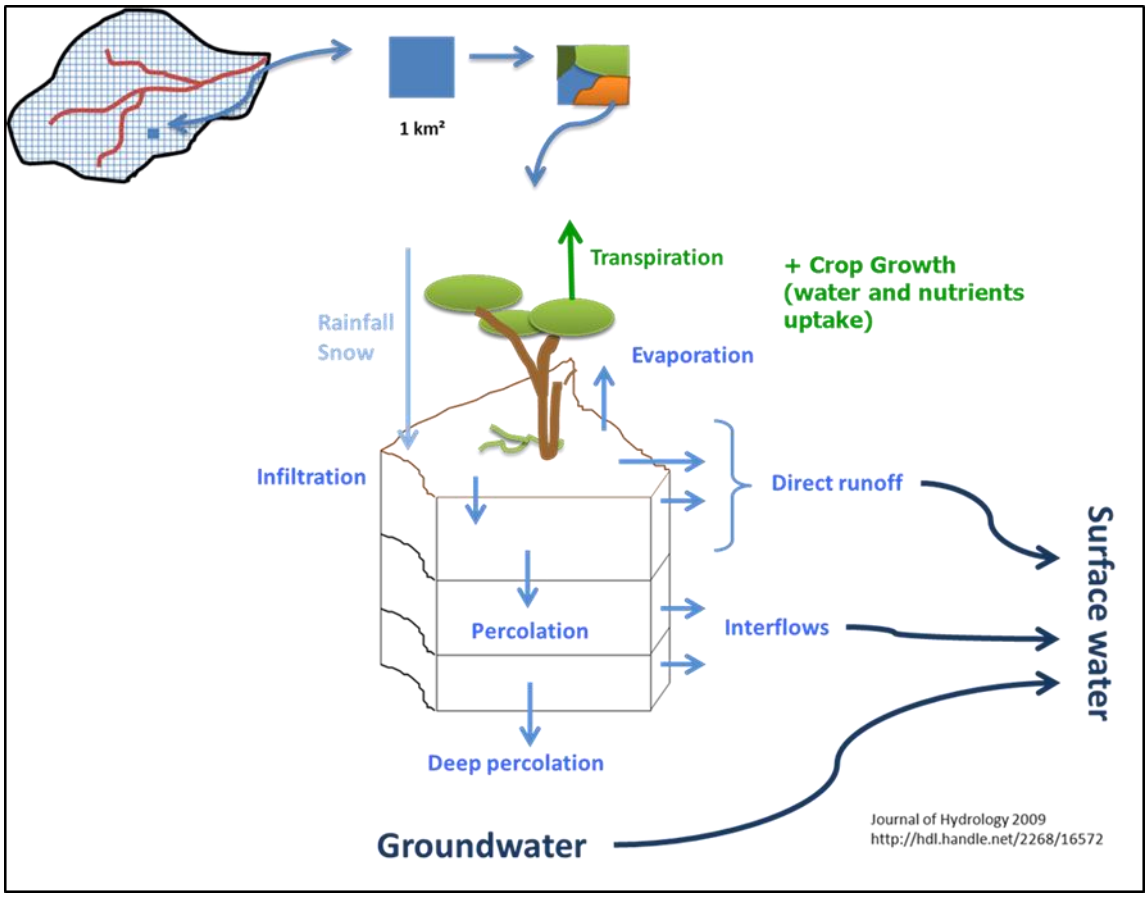


Figure 2 : Flux simulé par le modèle EPICgrid

3. Domaine de simulation

Les bassins versants étudiés dans le cadre du projet sont le Hoyoux amont et le Triffoy. Cependant, afin de fournir les données nécessaires au modèle hydrogéologique, le domaine de simulation du modèle EPICgrid a été étendu jusqu'à la station limnimétrique de Marchin (239 km²) afin d'inclure l'ensemble des affluents du Hoyoux (Figure 3).

Les bases de données du modèle EPICgrid seront affinées sur base de données locales pour ce bassin versant. Si nécessaire, des données extérieures à ce domaine seront néanmoins disponibles pour alimenter le modèle hydrogéologique mais celles-ci reposeront sur les bases de données régionales du modèle.

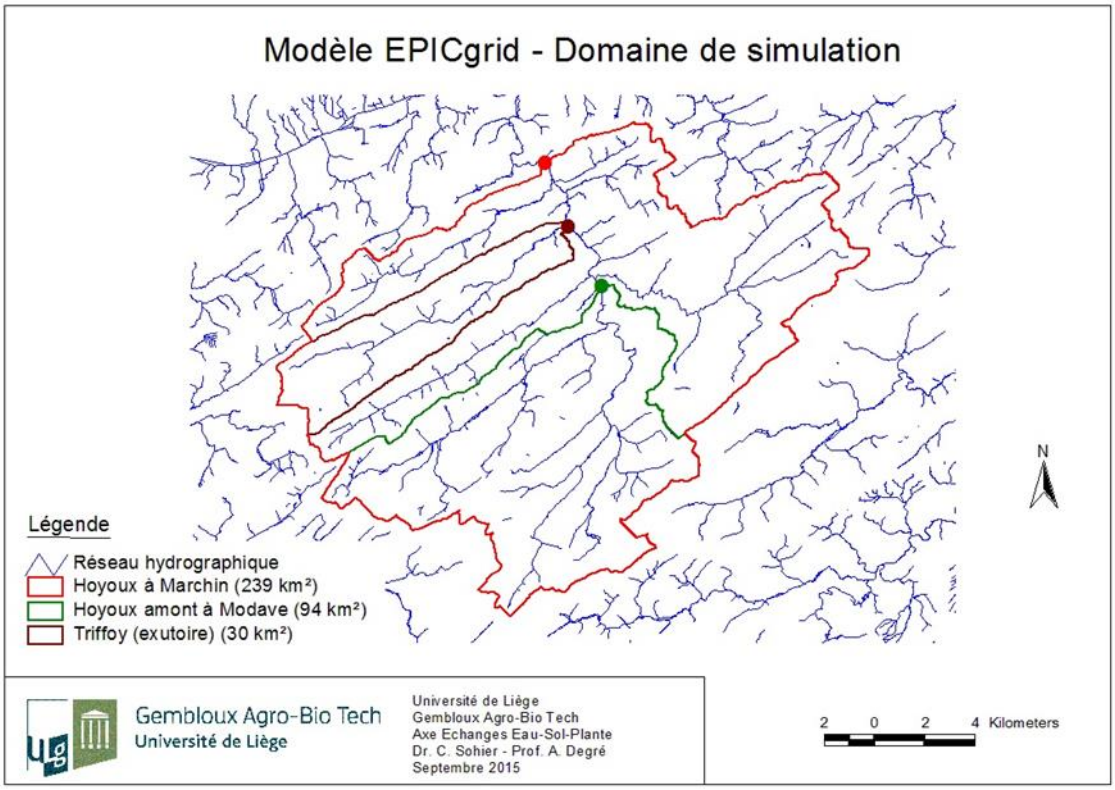


Figure 3 : Domaine de simulation du modèle EPICgrid

4. Construction des bases de données

4.1. Introduction

Les données nécessaires pour réaliser une simulation EPICgrid relèvent de trois catégories :

- les données bio-physiques permettant de caractériser le sol, le sous-sol, la topographie ainsi que l'occupation du sol ;
- les données climatiques ;
- les données agronomiques permettant de caractériser la distribution spatiale ainsi que l'évolution temporelle des pratiques agricoles.

Le modèle EPICgrid et les bases de données associées ont été développés à l'échelle régionale (Sohier, 2011). Dans le cadre de la présente application, les bases de données utilisées pour la modélisation régionale sont affinées afin de cerner au mieux les spécificités locales. Ainsi :

- la base de données climatiques est complétée par les données mesurées à la station météorologique implantée dans le cadre du projet ;
- les données agronomiques sont affinées sur base des données récoltées par Nitrawal chez les agriculteurs de la zone d'étude (fertilisations organiques et minérales, analyse d'engrais de ferme, dates des opérations culturales, pratiques en terme d'interculture, mesures d'APL (Azote Potentiellement Lessivable), …) ainsi que sur base des données du SIGEC (Système intégré de gestion et de contrôle) et des statistiques communales.

4.2 Implémentation des données récoltées à l'échelle locale

4.2.1 Les données climatiques

4.2.1.1 Données nécessaires

Les données climatiques nécessaires à la modélisation EPICgrid sont les suivantes :

- précipitation journalière ;
- température maximale journalière de l'air ;
- température minimale journalière de l'air ;
- rayonnement solaire journalier ;
- vitesse du vent moyenne journalière ;
- humidité relative journalière de l'air.

4.2.1.2 Sources des données

Dans le cadre du projet, une station météorologique a été implantée à Hodoumont. Celle-ci enregistre l'ensemble des paramètres précités depuis le 7 septembre 2013.

Ces données ont été adjointes à la base de données régionale du modèle EPICgrid.

4.2.1.3 Vérification des données

Les données enregistrées à la station d'Hodoumont ont été comparées aux mesures réalisées dans une station voisine afin de s'assurer de la validité des données collectées.

Les données des stations IRM de Strée et de Humain, publiées dans les bulletins mensuels édités par l'IRM, ont été utilisées pour confronter, d'une part, les données de précipitations et de températures (station de Strée) et, d'autre part, les données de rayonnement solaire (station de Humain).

Les données mesurées à la station d'Hodoumont sont en adéquation avec les données de ces stations ; aucune dérive des capteurs n'a été constatée.

4.2.2 Les données agronomiques

4.2.2.1 Collaboration Nitrawal

Afin d'alimenter le modèle EPICgrid avec des données aussi réalistes que possible, une collaboration avec les encadrants de Nitrawal a été initiée.

Nitrawal a ainsi collecté chez les agriculteurs de la zone d'étude un nombre très important de données sur plus de 500 parcelles. Les données collectées ont trait notamment aux successions culturales, aux fertilisations minérales et organiques (dates et types de fertilisants).

Des analyses d'engrais de ferme, des analyses standard ainsi que des APL ont également été réalisés par Nitrawal.

En outre, une réunion a été organisée à la commune d'Ohey afin de présenter aux agriculteurs le projet ainsi que les résultats des mesures d'Azote Potentiellement Lessivable (APL) réalisées par Nitrawal durant l'automne 2013.

4.2.2.2 Répartition des types de cultures

Les types de culture présents dans le bassin versant du Hoyoux ont été déterminés sur base du parcellaire SIGEC relatif aux années 2011, 2012 et 2013 (Tableau 1).

La répartition des types de culture rencontrés dans le bassin versant du Hoyoux est très proche de celle rencontrée dans le Condroz (région agricole à laquelle appartient le bassin versant du Hoyoux).

Les céréales couvrent plus de 50% des cultures présentes dans le bassin versant ; parmi celles-ci le froment est la céréale la plus répandue. Le maïs est la deuxième spéculation végétale la plus répandue dans le bassin versant.

Tableau 1 : Répartition des types de cultures – Condroz et bassin versant du Hoyoux (Source : SIGEC 2011-2013)

Condroz	
Cultures	Superficie (%)
Céréales (*)	6
Froment	36
Escourgeon	14
Betterave	8
Maïs	14
Pomme de terre	3
Cultures maraîchères	2
Jachère	3
Autres cultures (**)	14

Bassin versant du Hoyoux	
Cultures	Superficie (%)
Céréales (*)	7
Froment	35
Escourgeon	13
Betterave	9
Maïs	16
Pomme de terre	2
Cultures maraîchères	4
Jachère	3
Autres cultures (**)	12

(*) Céréales autres que froment et escourgeon

(**) Autres cultures que celles citées ci-avant

4.2.2.3 Successions culturales

Sur base du SIGEC des années 2011, 2012 et 2013, les successions culturales les plus rencontrées dans le bassin versant du Hoyoux (Tableau 2) sont pour plus de 50% du type « 2/3 céréales » c-à-d 2 céréales présentes sur un cycle de 3 ans. Les trois têtes de rotation les plus représentées sont le maïs, la betterave et le colza (repris dans les « autres cultures »).

Tableau 2 : Successions culturales établies sur base du SIGEC 2011-2013

Bassin versant du Hoyoux	
Succession	Superficie (%)
Au - F - E	13
B - F - E	10
M - F - E	7
Au - F - F	7
M - F - F	5
M - M - F	4
B - F - Au	4
Au - F - Au	4
B - F - F	4
Au - Au - Au	3
M - F – Au	3
Au - F - C	3
M - M - M	2
M - F - C	2
Total	71

Légende : Avoine (A), Betterave (B), Céréale (C), Escourgeon (E), Froment (F), Maïs (M), Pomme de terre (PT), Autres (Au) désignant toute culture autre que celles citées ci-avant.

4.2.2.4 *Apports azotés sous forme organique*

La charge en azote organique des cultures et prairies du bassin versant du Hoyoux est calculée selon une méthodologie identique à celle utilisée pour le calcul des apports d'azote organique pour la modélisation régionale (Sohier, 2011) ; celle-ci étant basée sur les statistiques de cheptel et de cultures par région agricole.

Dans le cadre de cette étude, le calcul a été réalisé non plus sur base des statistiques régionales mais sur base des statistiques communales. Les communes considérées pour calculer les charges organiques sont les suivantes : Clavier, Havelange, Marchin, Modave, Ohey et Tinlot.

Il est à noter que les statistiques communales sont entachées d'une incertitude spatiale étant donné que c'est le siège de l'exploitation qui est rattaché à une commune, les terres de l'exploitation pouvant être situées sur une autre commune.

La Figure 4 reprend l'évolution, par pas de 5 ans, des apports d'azote organique sur les terres fertilisables calculée pour le Condroz (sur base des statistiques régionales de cheptel et de cultures) et pour le bassin versant du Hoyoux (sur base des statistiques communales).

Les quantités d'azote organique apportées par hectare de superficie fertilisable sont légèrement plus importantes dans le bassin versant du Hoyoux que dans le Condroz. Cette différence se marque essentiellement au niveau des cultures ; les apports en prairie pâturée étant du même ordre de grandeur.

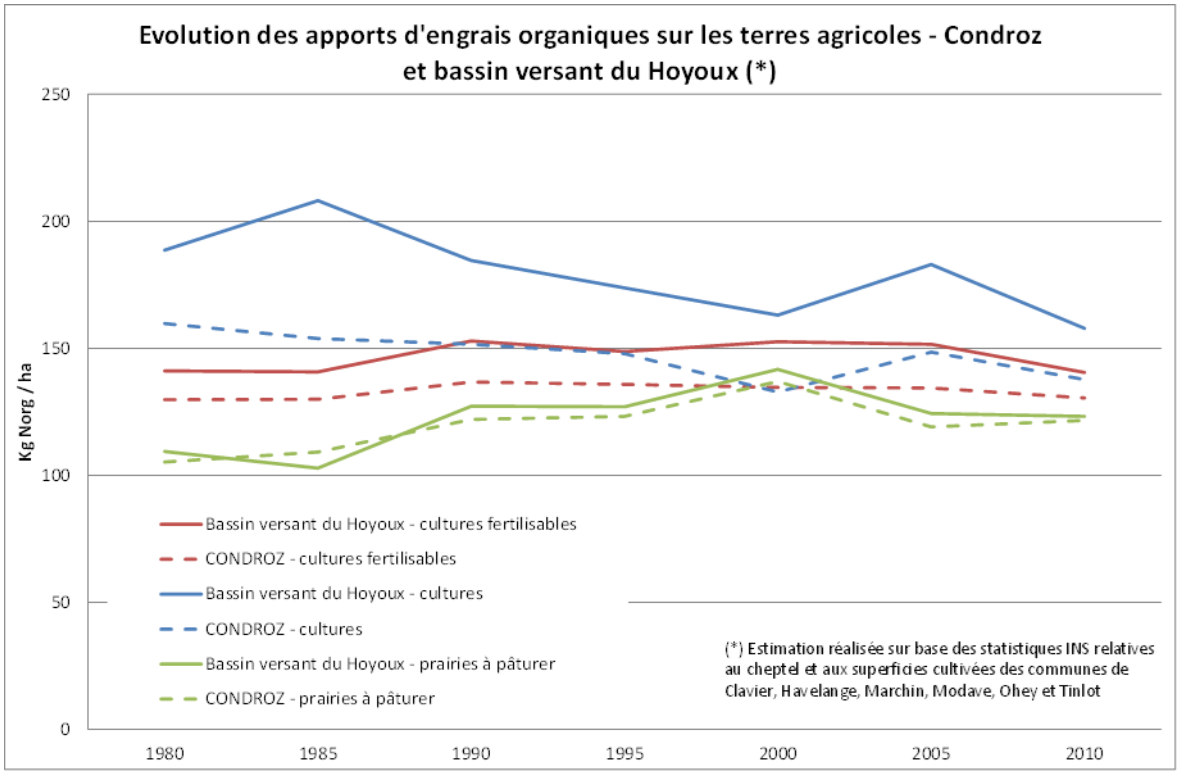


Figure 4 : Evolution des apports d'engrais organiques sur les terres agricoles – Condroz et bassin versant du Hoyoux

4.2.2.5 *Apports azotés sous forme minérale*

Pour la modélisation régionale, les données du RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole) sont utilisées pour déterminer les apports d'azote minéral par culture (Sohier, 2011). Ces statistiques sont établies par région agricole.

Pour le bassin versant du Hoyoux, Nitrawal a récolté un nombre très important de données chez les agriculteurs de la zone d'étude (Tableau 3). Des données locales, avec un échantillon suffisant, sont donc disponibles pour alimenter la modélisation.

Si l'on compare ces données locales aux données du Condroz (Figure 5), on constate que :

- les apports en azote minéral sont équivalents pour l'escourgeon et pour la pomme de terre ;
- la fertilisation minérale du froment et, surtout, de l'épeautre est plus importante dans le bassin versant du Hoyoux qu'en moyenne pour le Condroz ;
- la prairie, la betterave et le maïs reçoivent des apports minéraux plus faibles dans le bassin versant du Hoyoux qu'en moyenne dans le Condroz.

Tableau 3 : Apports d'engrais minéraux par culture – Résultats des enquêtes Nitrawal dans le bassin versant du Hoyoux

Bassin versant du Hoyoux				
Cultures	Nombre obs.	Médiane	Quartile1	Quartile3
Froment	88	180	150	187
Escourgeon	28	150	139	164
Epeautre	12	155	120	185
Betterave	28	108	80	137
Maïs	79	80	57	115
Pomme de terre	7	100	42	126
Prairies	176	80	45	100

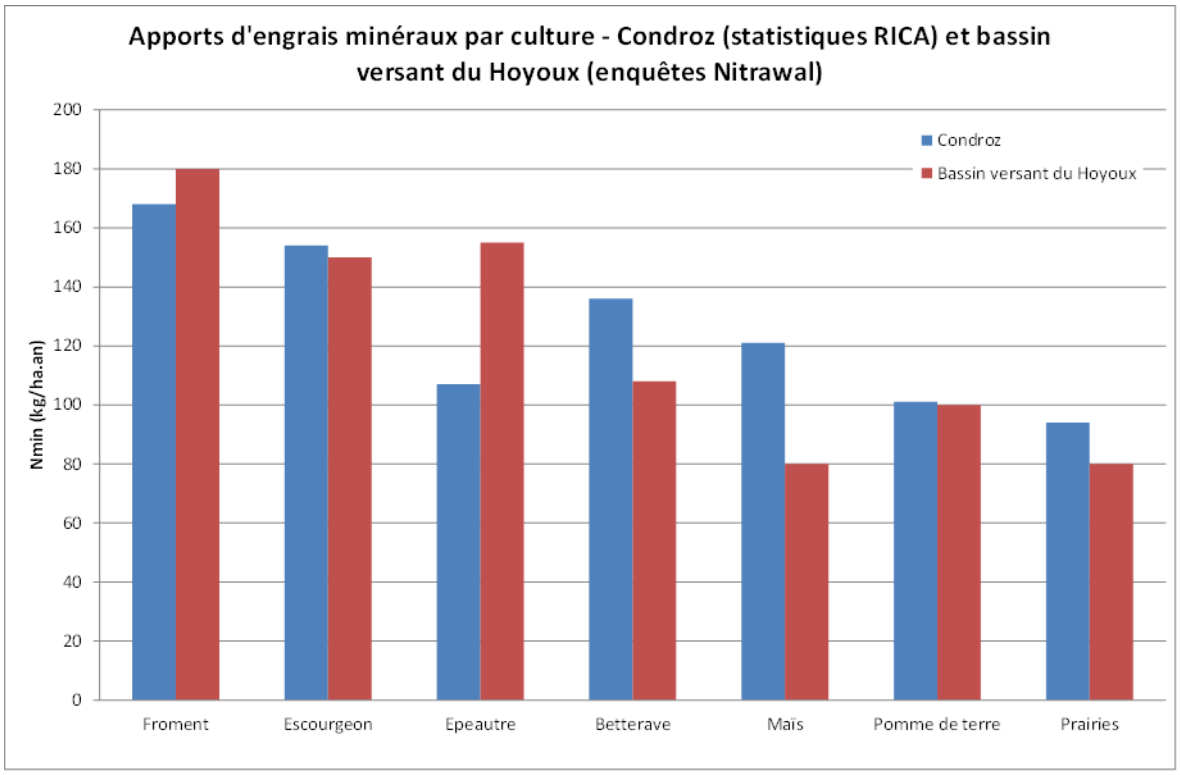


Figure 5 : Apports d'engrais minéraux par culture – Condroz (statistiques RICA) et bassin versant du Hoyoux (enquêtes Nitrawal)

4.2.2.6 Conclusion

Les pratiques agricoles rencontrées dans le bassin versant du Hoyoux sont finalement relativement proches de celles du Condroz.

Disposer de données locales permet d'améliorer la représentation de la variabilité spatiale des pratiques agricoles. Néanmoins, à défaut, les statistiques régionales restent des données fiables pour appréhender la diversité des pratiques agricoles et leur évolution dans le temps.

4.3. La spatialisation

Le modèle EPICgrid est un modèle de bassin versant discrétisé en mailles carrées régulières. Afin de faciliter le couplage du modèle « sol et zone vadose » et du modèle « eaux souterraines », la taille de la maille est celle du modèle régional, à savoir 1 km x 1 km.

5. Résultats des simulations EPICgrid

5.1 Bilans hydrologiques des bassins versants

5.1.1 Introduction

Les résultats des simulations relatifs à la répartition des termes du bilan hydrologique par bassin versant sont présentés en termes :

- d'évapotranspiration réelle ;
- d'écoulements vers les eaux de surface, correspondant à la somme :
  - du ruissellement direct (somme du ruissellement de surface et des hypodermiques rapides issus de la saturation temporaire des sols) ;
  - et des flux « hypodermiques lents » (écoulements issus du sous-sol variablement saturé).
- de recharge des eaux souterraines, correspondant à l'apport à la nappe de base.

L'ensemble des écoulements sont calculés au pas de temps journalier. Ceux-ci peuvent être agrégés de manière à calculer des bilans annuels ou mensuels.

5.1.2 Bilans annuels

Les bilans hydrologiques simulés sont reportés, en mm, pour chaque bassin versant au Tableau 4 pour l'année 2014 (données météorologiques disponibles à la station d'Hodoumont pour toute la période).

La lame d'eau évapotranspirée est comprise entre 614 et 638 mm ; cette variation s'expliquant notamment par les différences d'occupation du sol observées entre bassins.

La répartition entre écoulements hypodermiques lents et percolation de base est variable selon les bassins versants essentiellement en réponse à la nature du sous-sol (calcaire / schistes).

Tableau 4 : Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (2014) par bassin versant

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Bassin versant	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
Bassin versant ST1 - Exutoire du Triffoy (30.3 km²)	836	616	57	69	103
Bassin versant ST2 - Triffoy - Source de Marchin (29.1 km²)	836	619	54	67	106
Bassin versant ST3 - Triffoy - State (28.1 km²)	836	619	53	68	106
Bassin versant ST4 - Triffoy - Jamagne (25.1 km²)	836	621	50	66	109
Bassin versant ST5 - Hoyoux - Modave (94.4 km²)	836	630	52	72	97
Bassin versant ST6 - Torrent de Bonne (50.9 km²)	836	614	48	54	127
Bassin versant ST7 - Ruisseau de Pailhe (39.0 km²)	836	639	53	88	73
Bassin versant ST8 - Hoyoux - Petit Avin (38.4 km²)	836	627	45	65	113
Bassin versant ST9 - Hoyoux - Petit Modave (5.4 km²)	836	628	59	108	60

5.1.3 Bilans mensuels

L'évolution mensuelle des différents termes des bilans hydrologiques est présentée respectivement à la Figure 6 et à la Figure 7 pour les bassins versants ST1 (exutoire du Triffoy) et ST5 (Hoyoux à Modave) pour l'année 2014. Les bilans mensuels de chaque bassin versant sont présentés en Annexe I pour la période octobre 2013 – mars 2015.

De manière assez classique, on constate que :

- l'évapotranspiration réelle est maximale durant la période estivale, très faible durant les mois hivernaux ;
- les écoulements directs vers la rivière (ruissellement direct et hypodermiques lents) ainsi que les flux vers les eaux souterraines sont plus importants en période hivernale que le reste de l'année.

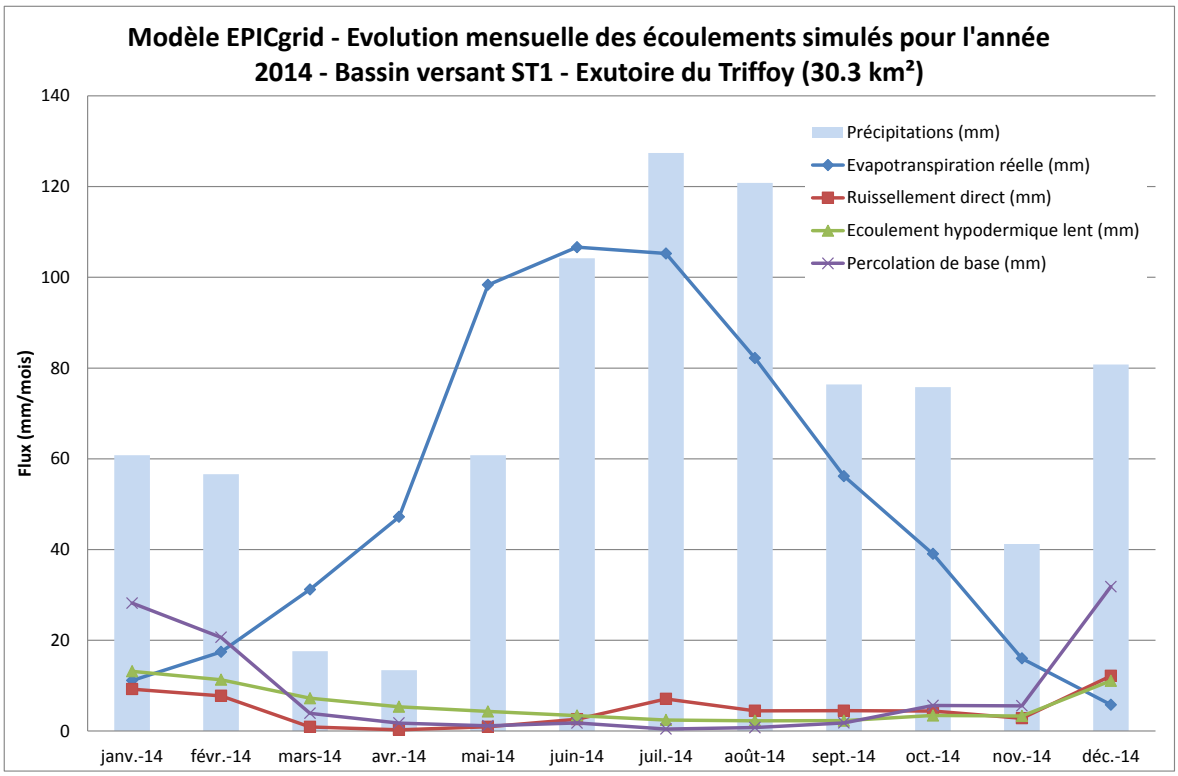


Figure 6 : Modèle EPICgrid - Evolution mensuelle des écoulements simulés pour l'année 2014 – Bassin versant ST1 – Exutoire du Triffoy (30.3 km²)

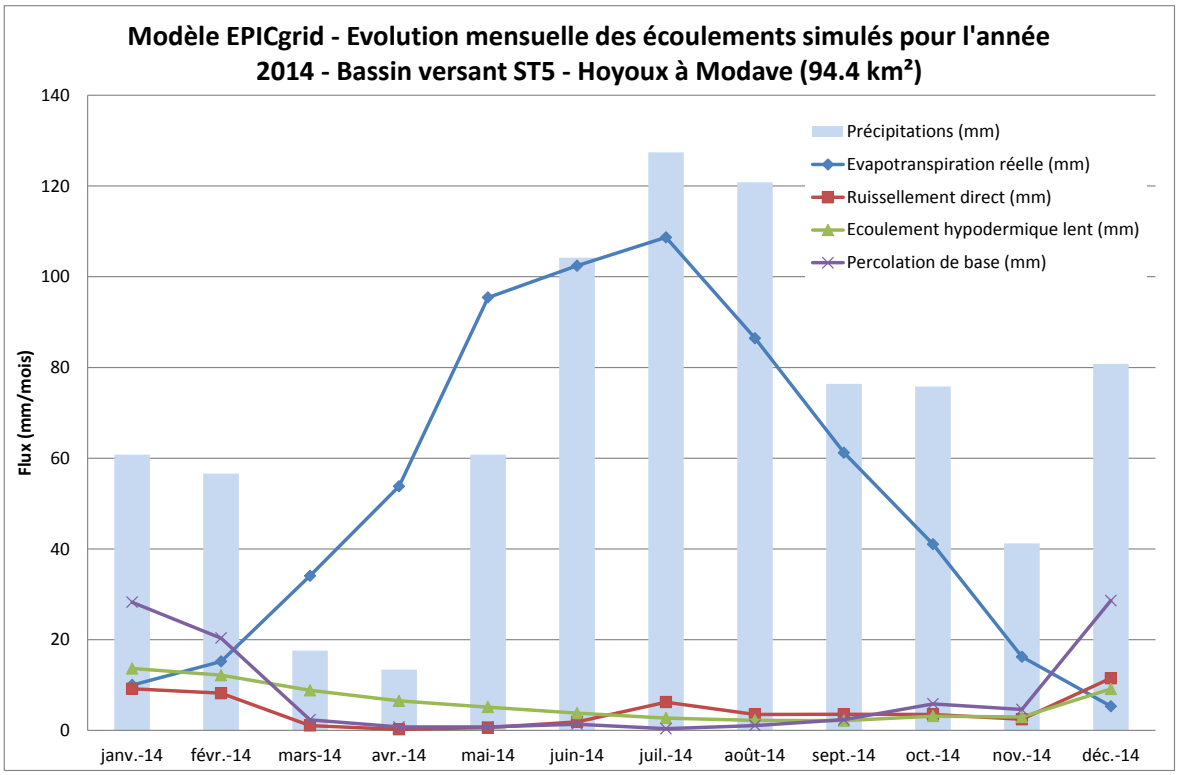
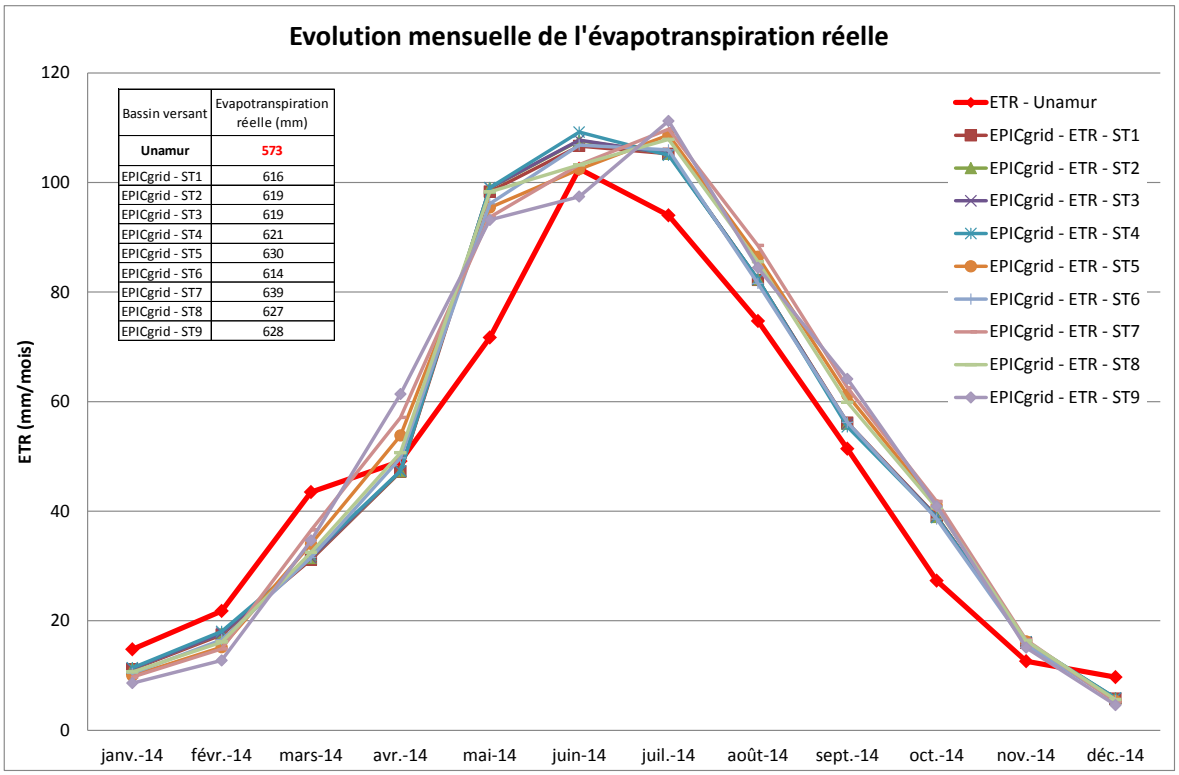


Figure 7 : Modèle EPICgrid - Evolution mensuelle des écoulements simulés pour l'année 2014 – Bassin versant ST5 – Hoyoux à Modave (94.4 km²)

Une estimation de l'évapotranspiration réelle a été réalisée par l'UNamur dans le cadre de l'établissement des bilans hydrogéologiques. L'estimation de l'évapotranspiration potentielle a été estimée sur base du programme EToCalculator développé par la Division des terres et des eaux de la FAO. Le modèle hydrologique « modifié » de Thornthwaite a été utilisé pour évaluer l'évapotranspiration réelle.

La comparaison de ces estimations avec les résultats du modèle EPICgrid (Figure 8) montre que :

- l'évapotranspiration réelle de l'année 2014 estimée par cette méthode est inférieure à celle estimée par le modèle EPICgrid. La différence est de l'ordre de 10% ;
- l'évapotranspiration réelle calculée dans le cadre de l'établissement des bilans hydrogéologique est identique pour l'ensemble des sous-bassins ; le calcul réalisé par le modèle EPICgrid permet de moduler les valeurs de l'évapotranspiration réelle par bassin car ce dernier prend en compte les caractéristiques du bassin versant (notamment l'occupation du sol).



Bassin versant	Evapotranspiration réelle (mm)
Unamur	**573**
EPICgrid - ST1	616
EPICgrid - ST2	619
EPICgrid - ST3	619
EPICgrid - ST4	621
EPICgrid - ST5	630
EPICgrid - ST6	614
EPICgrid - ST7	639
EPICgrid - ST8	627
EPICgrid - ST9	628

Figure 8 : Evolution mensuelle de l'évapotranspiration réelle

5.1.4 Estimation des pertes des eaux de surface et vers les eaux souterraines

Les bassins versants du Hoyoux et Bocq, s'ils présentent des sols et sous-sols de même nature, ont des débits spécifiques de crue relativement différents (Figure 9). Les débits spécifiques du Hoyoux sont nettement inférieurs à ceux du Bocq.

Cette différence est à mettre en relation avec les interactions nappe / rivière qui influencent le débit de ces deux cours d'eau. La majorité des rivières qui alimentent le Bocq ont un caractère drainant (le cours d'eau bénéficie d'apports en eau souterraine) alors que la majorité des rivières qui alimentent le Hoyoux ont un caractère perdant (le cours d'eau perd de l'eau vers la nappe) (Projet SYNCLIN'EAU).

Dans le bassin versant du Hoyoux, une partie des écoulements directs à la rivière simulés par le modèle EPICgrid se réinfiltre donc pour alimenter la nappe de base.

L'estimation du volume qui se réinfiltre depuis la rivière vers la nappe peut être appréhendé sur base d'une analyse conjointe des résultats de la modélisation et des données observées.

L'évolution du débit du Hoyoux et de ses affluents a été mesurée durant la totalité du projet par l'équipe de Professeur Hallet (UNamur). L'hydrogramme observé peut être décomposé par

différentes techniques (exemple : technique du VCN31) pour identifier les composantes « débit de base » et « ruissellement » (Figure 10).

La Figure 11 présente l'évolution mensuelle de l'écoulement superficiel estimé sur base de la séparation de l'hydrogramme observé à l'exutoire du Hoyoux ainsi que l'écoulement superficiel évalué par la modélisation EPICgrid. La différence entre ces deux flux permet d'appréhender, du moins en première approche, les volumes qui sont susceptibles de se réinfiltrer de la rivière vers les eaux souterraines (Figure 11).

Ces volumes ont été estimés, sur cette base, pour les trois principaux sous-bassins (ST1 (Exutoire du Triffoy), ST6 (Torrent de Bonne) et ST5 (Hoyoux à Modave)) selon un pas de temps décadaire et constitueront une entrée supplémentaire à prendre en considération dans la modélisation hydrogéologique.

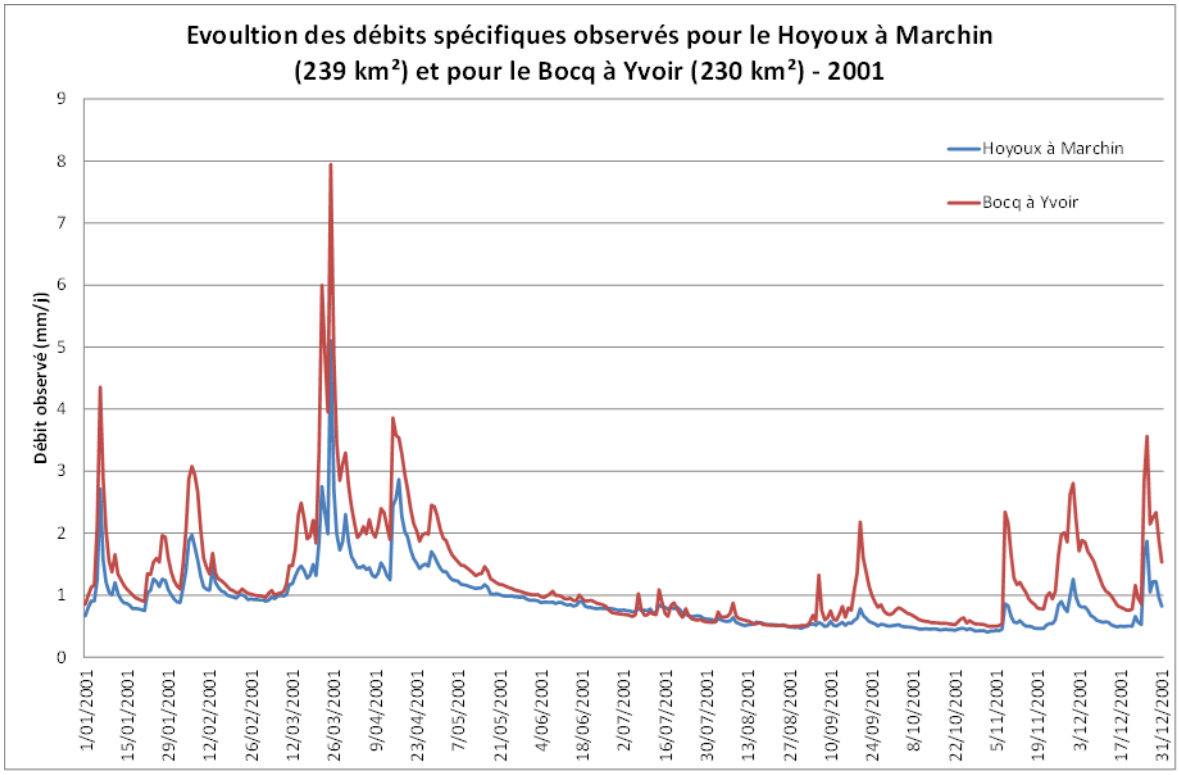


Figure 9 : Evolution des débits spécifiques observés pour le Hoyoux à Marchin (239 km²) et le Bocq à Yvoir (230 km²) - 2001

[1] le VCN3est défini comme le débit moyen minimum sur 3 jours consécutifs observé au cours d'un mois calendaire. Le minimum mensuel ainsi obtenu est alors considéré comme représentatif du débit de base.

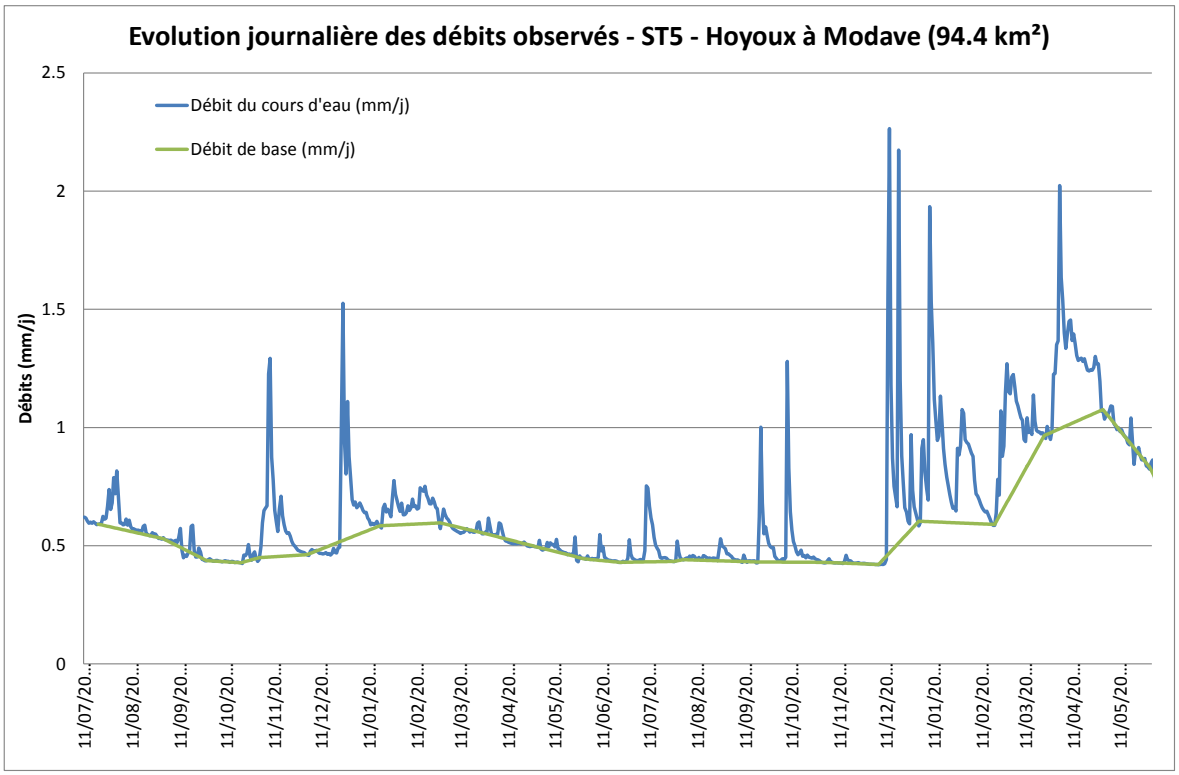


Figure 10 : Evolution journalière des débits observés – ST5 – Hoyoux à Modave (94.4 km²)

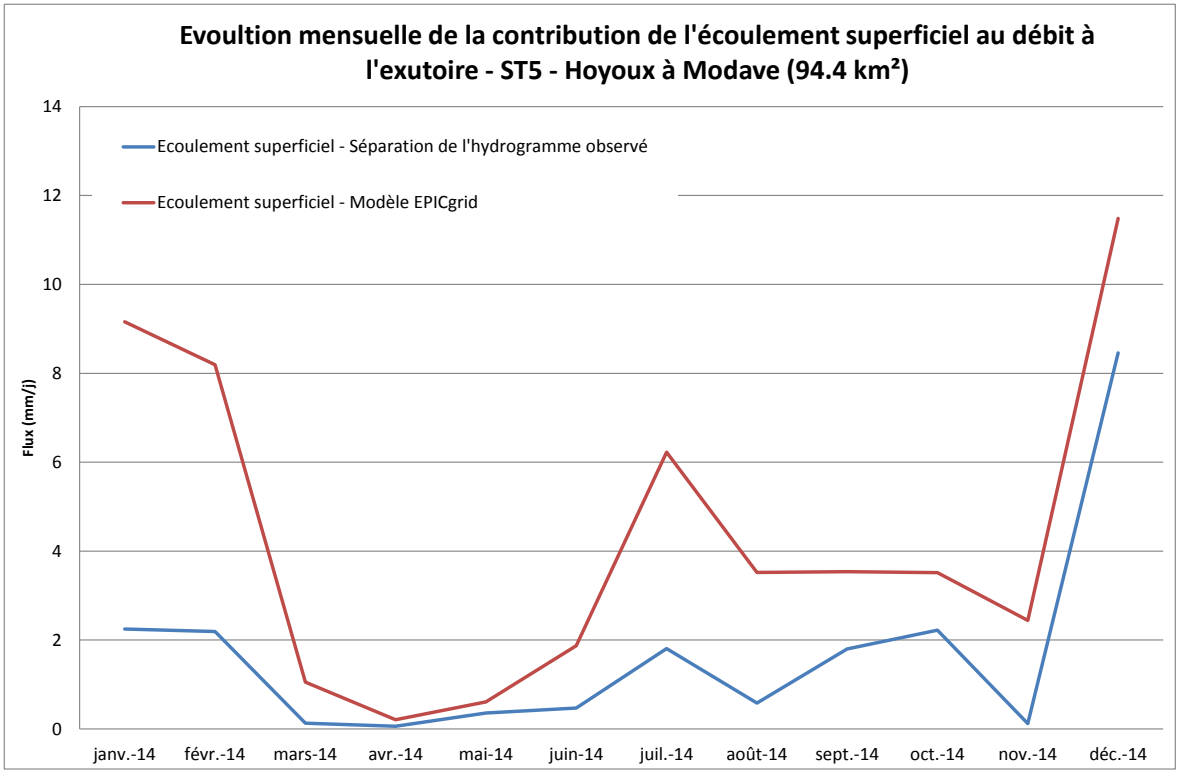


Figure 11 : Evolution mensuelle de la contribution de l'écoulement superficiel au débit à l'exutoire – ST5 – Hoyoux à Modave (94.4 km²)

5.2 Flux d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines

5.2.1 Introduction

Les sources de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines sont multiples. Outre la pollution d'origine agricole, les eaux de surface et les eaux souterraines sont également soumises à des contaminations issues de rejets d'eaux usées industrielles et domestiques (puits perdants, fuites des égouts, etc.).

On distinguera également les pollutions diffuses (problématique de type surfacique) des pollutions ponctuelles.

Les sources de contamination prises en considération par le modèle EPICgrid sont les sources agricoles diffuses. La contribution du secteur domestique à la pollution diffuse des eaux sera quant à elle également évaluée.

5.2.2 Pollution agricole diffuse

5.2.2.1 Introduction

La répartition des pertes diffuses en nitrate par lixiviation se décompte comme suit sur une base annuelle moyenne :

(1) Nitrate lixivié total = (2) Nitrate lixivié à la base de la zone racinaire + (3) Nitrate lixivié par ruissellement direct

avec :

(2) = (2.1) Nitrate lixivié vers les eaux de surface à partir des hypodermiques lents + (2.2) Nitrate lixivié en profondeur vers les eaux souterraines proprement dites (pluie efficace ou recharge de la nappe de base) + (2.3) variation de stock en nitrate dans le sous-sol de la zone vadose

et (3) = (3.1) Nitrate dans le ruissellement de surface et les sédiments + (3.2) Nitrate des hypodermiques rapides issus du sol + (3.3) variation de stock en nitrate dans le sol de la zone vadose.

5.2.2.2 Bilans annuels des flux d'azote par bassin versant

Le Tableau 5 présente, pour les différents bassins versants, le bilan des pertes en azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines pour l'année 2014. Des différences parfois importantes entre bassins sont constatées et sont à mettre en relation avec l'occupation du sol du bassin versant.

Tableau 5 : Bilans des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (2014) par bassin versant

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.an)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.an)
	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
Bassin versant ST1 - Exutoire du Triffoy (30.3 km²)	3.5	3.5	5.2
Bassin versant ST2 - Triffoy - Source de Marchin (29.1 km²)	3.5	3.5	5.3
Bassin versant ST3 - Triffoy - State (28.1 km²)	3.4	3.6	5.3
Bassin versant ST4 - Triffoy - Jamagne (25.1 km²)	3.4	3.6	5.7
Bassin versant ST5 - Hoyoux - Modave (94.4 km²)	2.5	2.5	3.0
Bassin versant ST6 - Torrent de Bonne (50.9 km²)	2.9	2.7	5.1
Bassin versant ST7 - Ruisseau de Pailhe (39.0 km²)	2.3	3.0	2.1
Bassin versant ST8 - Hoyoux - Petit Avin (38.4 km²)	2.6	2.6	3.9
Bassin versant ST9 - Hoyoux - Petit Modave (5.4 km²)	1.9	2.5	1.3

5.2.2.3 Bilans mensuels des flux d'azote par bassin

L'évolution annuelle des flux d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines est présentée à la Figure 12 et à la Figure 13 pour les bassins versants ST1 (exutoire du Triffoy) et ST5 (Hoyoux à Modave) pour l'année 2014. Les bilans mensuels de chaque bassin versant sont présentés en Annexe II pour la période octobre 2013 – mars 2015.

Les flux les plus importants d'azote vers les eaux sont observés en période hivernale. Les flux directs vers les eaux de surface présentent une seconde augmentation, certes plus faible, durant la période estivale et automnale.

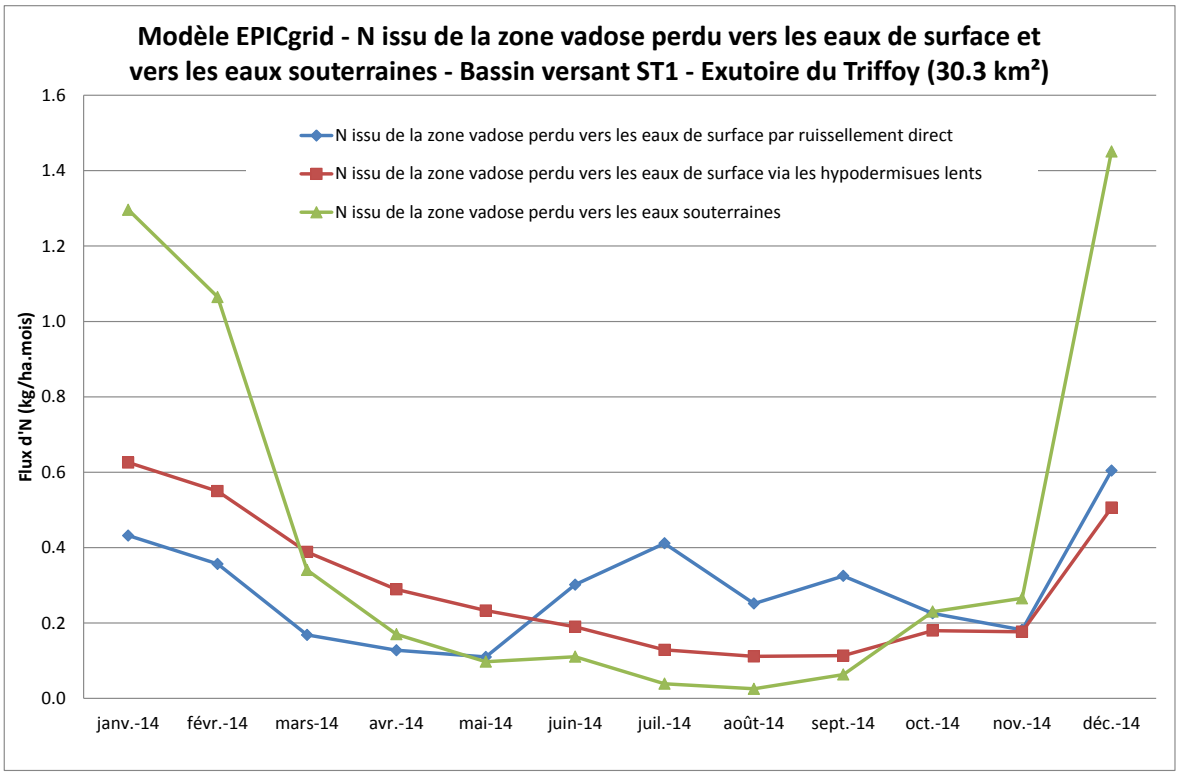


Figure 12 : Modèle EPICgrid – N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines – Bassin versant ST1 – Exutoire du Triffoy (30.3 km²)

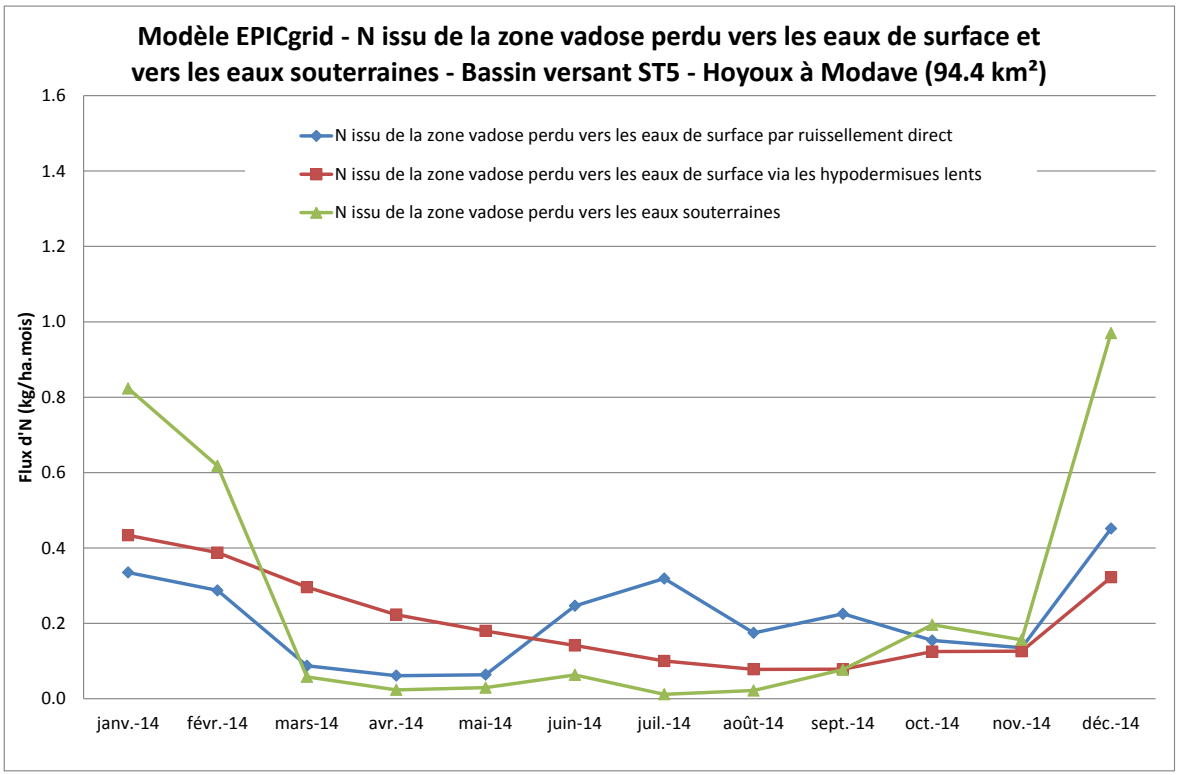


Figure 13 : Modèle EPICgrid – N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines – Bassin versant ST5 – Hoyoux à Modave (94.4 km²)

5.2.3 Pollution domestique diffuse

5.2.3.1 Introduction

Le modèle EPICgrid comprend un module « pollution domestique diffuse » (Sohier, 2011) qui permet d'évaluer les contributions respectives des secteurs agricoles et domestiques à la pollution azotée des eaux de surface et des eaux souterraines.

Un bilan de charge azotée réparti en deux termes, charge azotée rejetée en eau de surface et charge azotée infiltrée dans le sol, est établi sur base d'un organigramme synthétisant le cycle des eaux usées en assainissement collectif ainsi qu'un assainissement autonome et transitoire.

L'organigramme utilisé pour l'assainissement collectif est présenté à la Figure 14. Certains paramètres permettant de quantifier le volume d'eaux usées à chaque étage de l'organigramme étant mal connus, plusieurs scénarios sont considérés, à savoir : la situation idéale (scénario 1), le pire cas de figure (scénario 3) et une situation intermédiaire (scénario 2). La paramétrisation proposée est présentée au Tableau 6.

La contribution de l'assainissement autonome et de l'assainissement transitoire est également prise en considération.

Ces organigrammes ont été établis en collaboration avec la SPGE dans le cadre du Projet Qualvados[2] et reflètent la situation de l'égouttage de 2005.

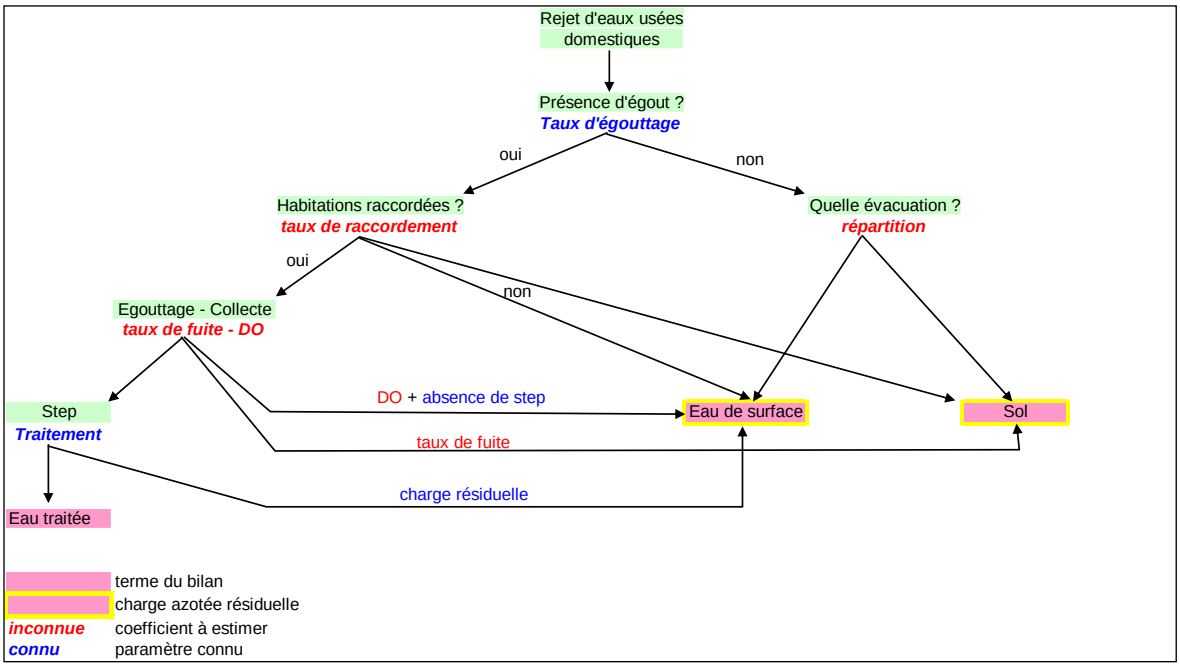


Figure 14 : Organigramme du cycle des eaux usées en assainissement collectif

[2] Projet Qualvados. Evaluation des mesures prises pour réduire les incidences de la pollution diffuse d'origine agricole et domestique sur la qualité des masses d'eau de surface et souterraines de la Région wallonne à l'aide du modèle EPICgrid. Convention DGRNE-SPGE-FUSAGx (2006-2008)

Tableau 6 : Paramétrisation des scénarios pour l'assainissement collectif (Source : SPGE)

TAUX – assainissement collectif	Scénario idéal	Scénario intermédiaire	Pire Scénario
Raccordement aux égouts	1	0.8	0.5
Rejet en eau de surface ou dans le sol	0 et 1	0.7 et 0.3	1 et 0
Fuite des égouts	0	0.1	0.5
Déversoirs d'orage (DO)	0	0.3	0.7
Rendement épuratoire en azote			
Step < 10.000 EH	0.7	0.4	0
Step >= 10.000 EH	0.9	0.7	0.4

5.2.3.2 Contribution du domestique diffus à la pollution azote des eaux de surface

La contribution des apports diffus d'origine domestique à la pollution azotée des eaux est estimée uniquement pour les eaux de surface. L'estimation de la contribution domestique à la pollution des eaux souterraines nécessite, en effet, de connaître l'historique du développement de l'égouttage étant donné les temps de transfert parfois très importants entre l'émission du soluté dans le milieu et son arrivée au voisinage des nappes de base.

On parlera d'apports directs en azote vers les eaux de surface en ce sens que les apports d'azote vers les eaux de surface concernent uniquement l'azote véhiculé par le ruissellement direct et les hypodermiques lents ; sans prise en compte des quantités d'azote apportées aux rivières via la vidange des nappes de base (débit de base).

La contribution relative du secteur domestique à la pollution azotée des eaux de surface est évaluée par maille kilométrique et peut être synthétisée par bassin versant. La Figure 15 présente la contribution relative du secteur domestique pour chaque maille du bassin versant du Hoyoux pour le scénario 2 (situation intermédiaire). Le Tableau 7 synthétise, pour les 3 scénarios, les contributions par bassins. Pour le Triffoy et ses sous-bassins, la contribution du secteur domestique à la pollution azotée des eaux de surface est de l'ordre de 10%. Cette contribution est variable d'un bassin versant à l'autre et peut s'avérer significative.

Tableau 7 : Modèle EPICgrid – Synthèse par bassin versant de la contribution relative du domestique à la pollution azotée des eaux de surface – Partim Apports directs – Scénario 1, 2 et 3

	Scénario 1 (Scénario idéal)	Scénario 2 (Scénario intermédiaire)	Scénario 3 (Pire Scénario)
Bassin versant ST1 - Exutoire du Triffoy (30.3 km²)	10	11	12
Bassin versant ST2 - Triffoy - Source de Marchin (29.1 km²)	10	11	12
Bassin versant ST3 - Triffoy - State (28.1 km²)	10	11	12
Bassin versant ST4 - Triffoy - Jamagne (25.1 km²)	9	10	10
Bassin versant ST5 - Hoyoux - Modave (94.4 km²)	21	25	28
Bassin versant ST6 - Torrent de Bonne (50.9 km²)	26	26	26
Bassin versant ST7 - Ruisseau de Pailhe (39.0 km²)	14	15	16
Bassin versant ST8 - Hoyoux - Petit Avin (38.4 km²)	16	21	24
Bassin versant ST9 - Hoyoux - Petit Modave (5.4 km²)	45	63	69

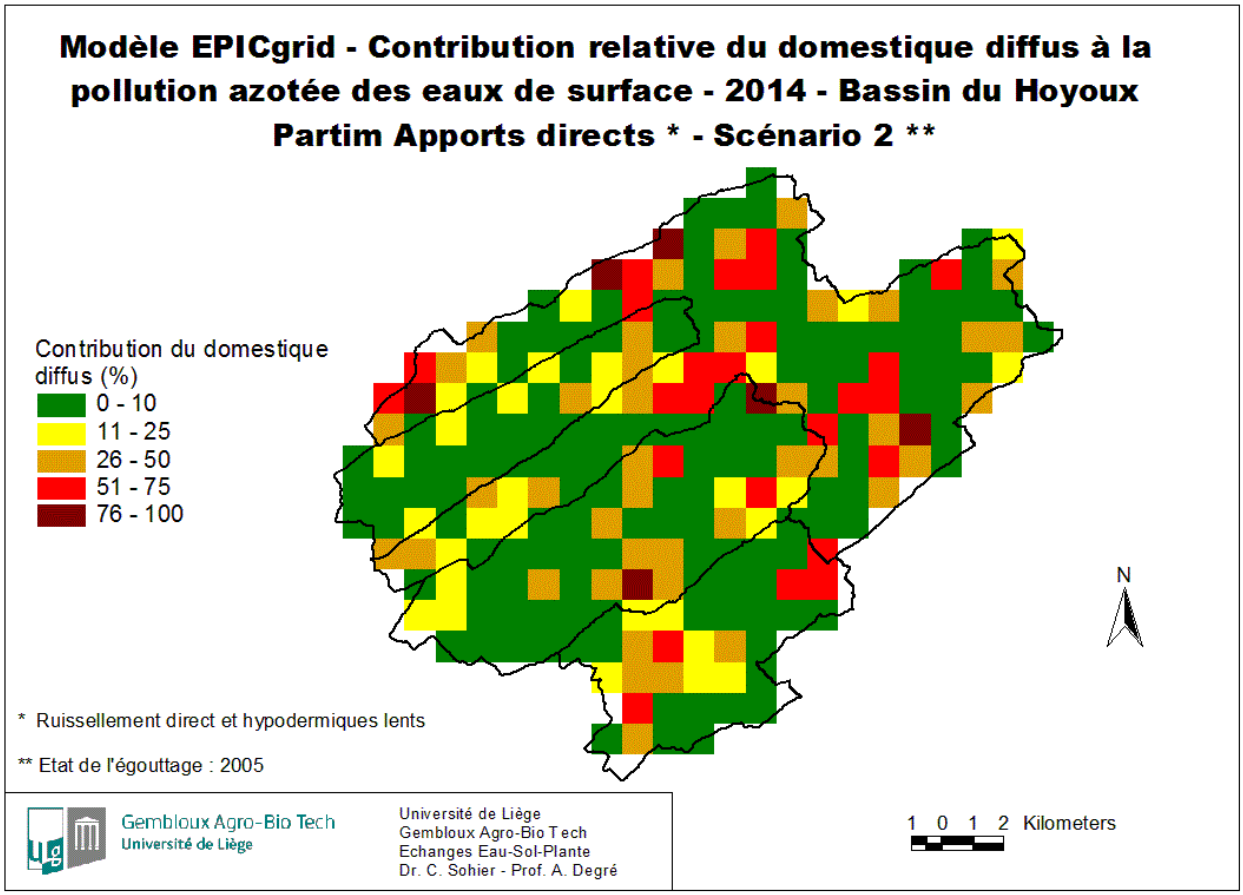


Figure 15 : Modèle EPICgrid – Contribution relative du domestique diffus à la pollution azotée des eaux de surface – 2014 – Bassin du Hoyoux – Partim Apports directs - Scénario 2

5.2.3.3 Estimation des pertes d'azote des eaux de surface et vers les eaux souterraines

Dans le bassin versant du Hoyoux, une partie des écoulements directs à la rivière simulés par le modèle EPICgrid se réinfiltre pour alimenter la nappe de base (cf. Point 5.1.4).

Les flux d'azote qui sont ainsi transférés des eaux de surface vers les eaux souterraines ont été estimés pour les trois principaux sous-bassins (ST1 (Exutoire du Triffoy), ST6 (Torrent de Bonne) et ST5 (Hoyoux à Modave)) selon un pas de temps décadaire et constitueront une entrée supplémentaire à prendre en considération dans la modélisation hydrogéologique.

5.3 Concentration en nitrate des eaux de surface

5.3.1 Données observées

Les concentrations en nitrate dans les eaux de surface ont été mesurées par les équipes ULg-HGE et UN-LEED en 3 stations :

- Station ST1 : Exutoire du Triffoy (30.3 km²) ;

- Station ST8 : Hoyoux - Petit Avin (38.4 km²) ;
- Station ST5 : Hoyoux - Modave (94.4 km²).

Les concentrations en nitrate observées dans les eaux de surface sont reportées en Figure 16.

Des précautions particulières devront être prises dans l'interprétation de ces données étant donné le caractère discontinu de la donnée mais surtout du fait des imprécisions liées aux aléas de terrain qui entachent la valeur de la donnée elle-même (envasement des sondes, nécessité de recalibrer régulièrement les sondes, …).

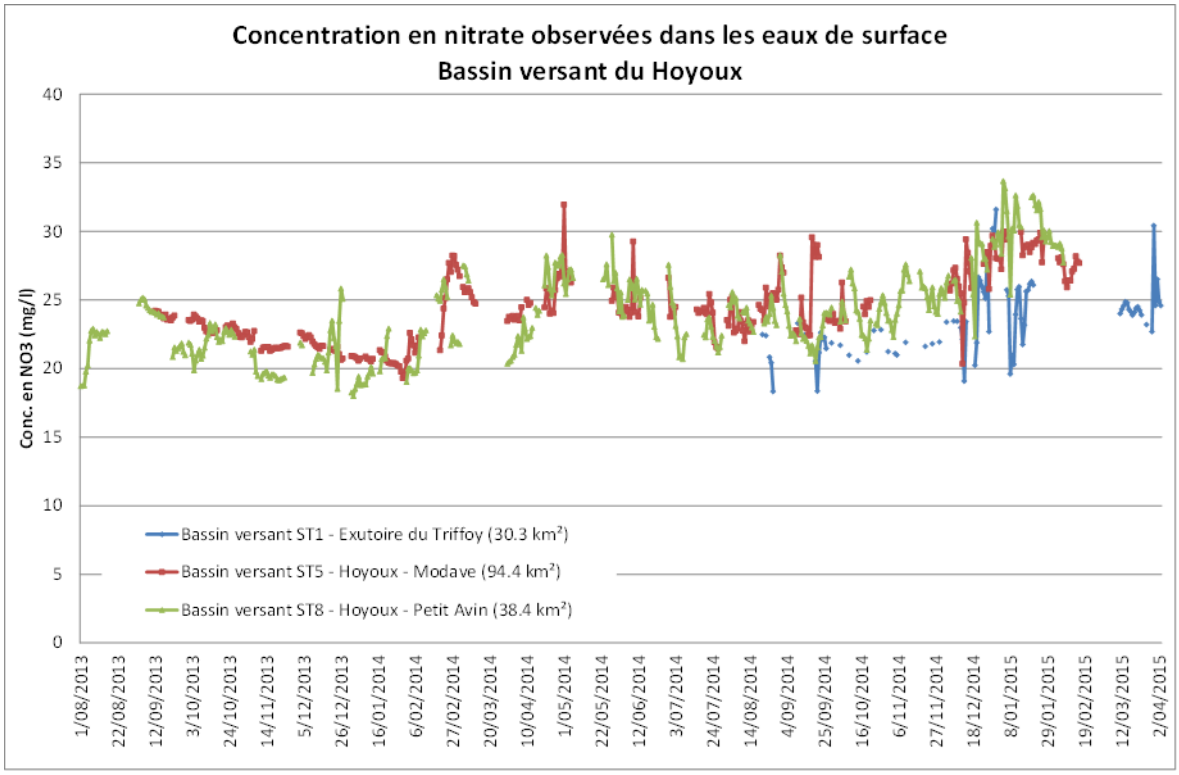


Figure 16 : Concentration en nitrate observées dans les eaux de surface – Bassin versant du Hoyoux

5.3.2 Résultats des simulations

Les résultats des simulations EPICgrid sont présentés respectivement au Tableau 8 pour la station ST1 (Exutoire du Triffoy), au Tableau 9 pour la station ST8 (Hoyoux à Petit-Avin) et au Tableau 10 pour la station 5 (Hoyoux à Modave).

Les résultats sont présentés en termes de concentration moyenne en nitrate, calculée sur la période de mesure, des flux directs vers les eaux de surface (ruissellement direct et hypodermique lent).

La contribution du secteur domestique à la pollution des eaux de surface s'étant avérée significative pour certains sous-bassins, les concentrations en nitrate ont été calculées en considérant les apports agricoles et domestiques à la rivière. A titre d'information, la concentration en nitrate résultant uniquement de la composante agricole est également mentionnée dans les différents Tableaux.

Les concentrations moyennes en nitrate calculées via la modélisation agro-hydrologique s'avèrent être du même ordre de grandeur que les concentrations observées.

Les différences entre concentrations observées et simulées sont à mettre en relation avec les incertitudes qui affectent les mesures mais également avec les hypothèses qui sous-tendent la modélisation (respect du PGDA, …).

Tableau 8 : Concentration moyenne en nitrate des eaux de surface observées et simulées entre le 21/8/2014 et le 3/4/2015 - Bassin versant ST1 - Exutoire du Triffoy (30.3 km²)

Observations	Apport agricole seul	Apport agricole et domestique (Scénario 1)	Apport agricole et domestique (Scénario 2)	Apport agricole et domestique (Scénario 3)
23.6	23.7	25.6	25.8	26.0

Tableau 9 : Concentration moyenne en nitrate des eaux de surface observées et simulées entre le 1/8/2013 et le 7/2/2015 - Bassin versant ST8 - Hoyoux - Petit Avin (38.4 km²)

Observations	Apport agricole seul	Apport agricole et domestique (Scénario 1)	Apport agricole et domestique (Scénario 2)	Apport agricole et domestique (Scénario 3)
23.1	20.6	23.9	25.2	25.9

Tableau 10 : Concentration moyenne en nitrate des eaux de surface observées et simulées entre le 12/9/2013 et le 16/2/2015 - Bassin versant ST5 - Hoyoux - Modave (94.4 km²)

Observations	Apport agricole seul	Apport agricole et domestique (Scénario 1)	Apport agricole et domestique (Scénario 2)	Apport agricole et domestique (Scénario 3)
24.2	17.6	21.4	22.4	23.1

Une comparaison des concentrations observées et simulées selon un pas de temps plus fin est délicate du fait notamment de la nécessité de prendre en compte les interactions nappe/rivière.

6. Impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines

6.1 Introduction

La modélisation agro-hydrologique est un outil qui permet de tester l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

L'objectif des modélisations qui sont réalisées dans le cadre du présent projet est double :

- reproduire les pratiques agricoles actuelles telles qu'observées dans la zone d'étude et démontrer les APL qui ont été mesurés sur le terrain ;
- réaliser différents scénarios de modifications des pratiques agricoles afin de mettre en exergue les modalités qui permettraient de réduire les contaminations.

6.2 L'Azote Potentiellement lessivable (APL)

L'Azote Potentiellement Lessivable ou APL est la quantité d'azote nitrique contenu dans le sol à l'automne, susceptible d'être entraîné hors de la zone racinaire pendant l'hiver (90 cm en culture – 30 cm en prairie).

L'APL est utilisé comme outil de contrôle en zone vulnérable dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA). Chaque année, au minimum 5% des exploitations ayant une partie ou la totalité de leur superficie agricole en zone vulnérable sont sélectionnées et contrôlées par l'Administration. Des mesures sont réalisées dans 3 parcelles de l'exploitation et sont comparées à des valeurs de référence.

Les références sont établies à partir d'APL mesurés dans 40 exploitations agricoles suivies depuis 2002 par les membres scientifiques (GxABT et UCL) de Nitrawal. Ces exploitations reçoivent des conseils de fertilisation et gèrent leurs parcelles dans le respect du PGDA.

La limite à ne pas dépasser (seuil d'intervention) est la valeur du centile 66 à laquelle est ajoutée une marge de tolérance liée à la variabilité de la mesure (Figure 17). Le centile 66 est la 66ème valeur sur 100 quand on classe les APL par ordre croissant. Pour les cultures, cette marge de tolérance correspond à +/- 20 % de la médiane sans toutefois être inférieure à 15 kg d'azote nitrique par hectare. Par contre, en prairies, elle est fixée à 23,8 kg d'azote nitrique par hectare.

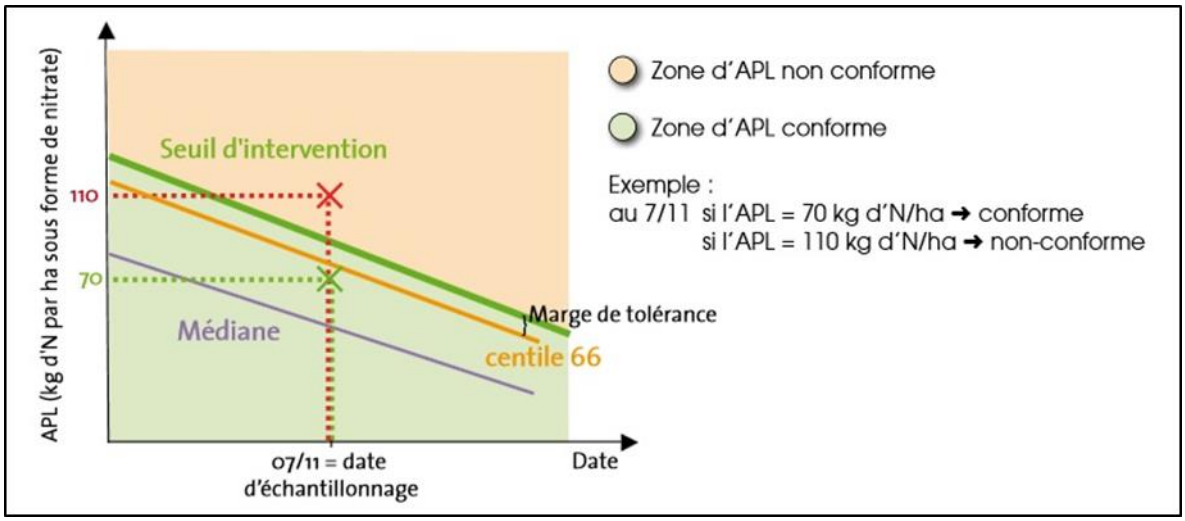


Figure 17 : Conformité des APL (Source : Nitrawal, 2014)

6.3 APL observés dans la zone d'étude

Des mesures d'Azote Potentiellement Lessivable (APL) ont été réalisées par Nitrawal chez les agriculteurs des bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont durant les automnes 2013 et 2014.

Le Tableau 11 et le Tableau 12 présentent, respectivement pour les observations réalisées en 2013 et en 2014, la conformité des APL mesurés dans les 2 bassins versants. La Figure 18 et la Figure 19 présentent, pour 2 exemples, la distribution des APL mesurés.

Tant pour 2013 que pour 2014, la majorité des APL sont conformes. On remarquera cependant (exemples en Figure 18 et en Figure 19) que certaines valeurs très importantes sont occasionnellement observées. Ces valeurs peuvent résulter d'une mauvaise conduite de la culture (fumure excessive, …) mais peuvent aussi refléter un accident survenu en cours de culture (problème phytosanitaire ou autre).

Tableau 11 : Conformité des APL réalisés par Nitrawal dans les bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont à l'automne 2013

Classe		NB obs.	APL conformes	APL non conformes
1	Betteraves	4	3 (75%)	1 (25%)
2	Céréales non suivies d'une culture implantée en automne	15	13 (87%)	2 (13%)
3	Céréales suivies d'une culture implantée en automne ; chicorée	10	9 (90%)	1 (10%)
4	Maïs	16	14 (88%)	2 (12%)
5	Pomme de terre	2	1 (50%)	1 (50%)
6	Colza	7	7 (100%)	0 (0%)
7	Légumes cultivés pour leurs feuilles, tiges ou fruits	3	2 (67%)	1 (33%)
8	Prairies pâturées ou fauchées	-	-	-

Tableau 12 : Conformité des APL réalisés par Nitrawal dans les bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont à l'automne 2014

Classe		NB obs.	APL conformes	APL non conformes
1	Betteraves	6	5 (83%)	1 (17%)
2	Céréales non suivies d'une culture implantée en automne	15	11 (73%)	4 (27%)
3	Céréales suivies d'une culture implantée en automne ; chicorée	12	11 (92%)	1 (8%)
4	Maïs	18	16 (89%)	2 (11%)
5	Pomme de terre	-	-	-
6	Colza	4	4 (100%)	0 (0%)
7	Légumes cultivés pour leurs feuilles, tiges ou fruits	3	2 (67%)	1 (33%)
8	Prairies pâturées ou fauchées	-	-	-

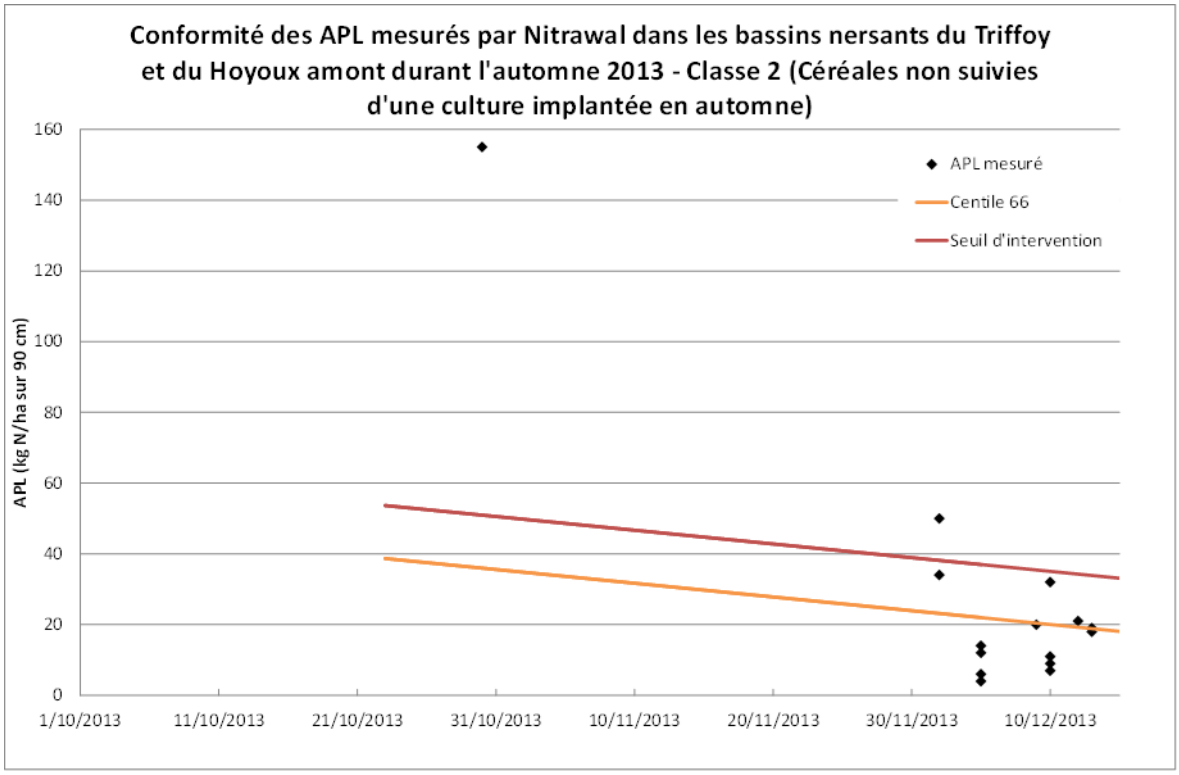


Figure 18 : Conformité des APL mesurés par Nitrawal dans les bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont durant l'automne 2013 – Classe 2 (Céréales non suivies d'une culture implantée en automne)

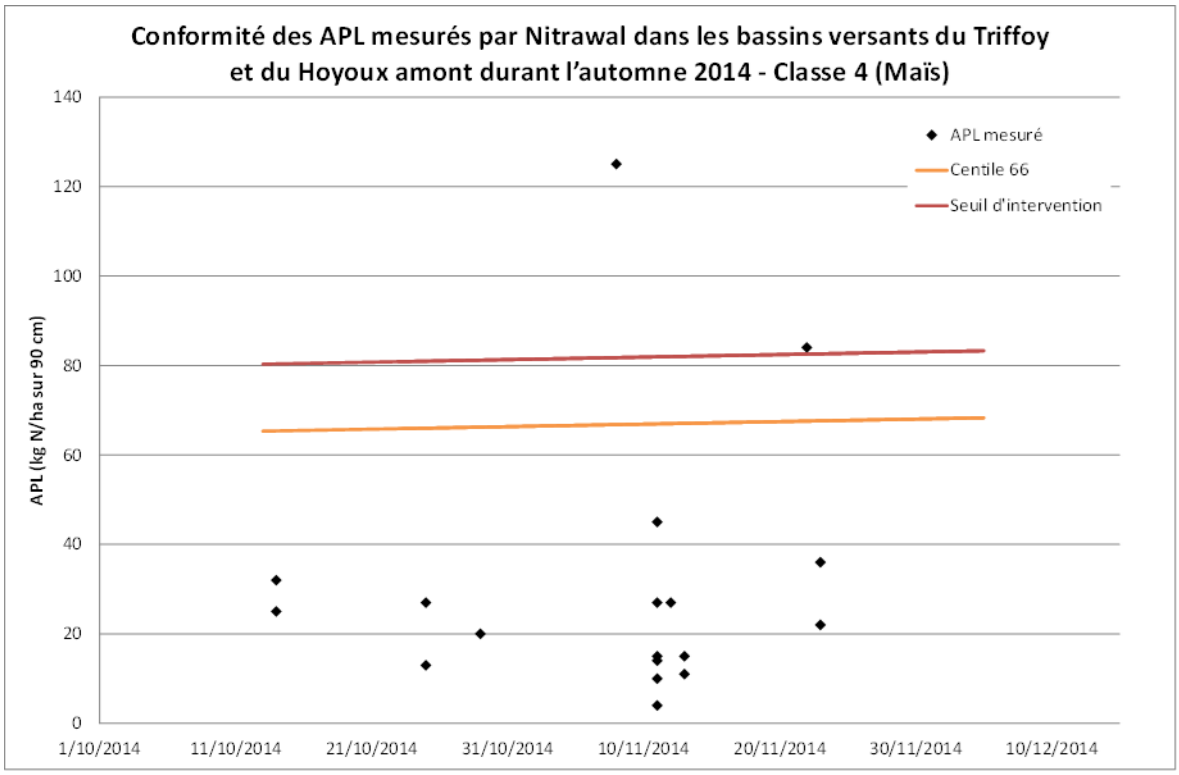


Figure 19 : Conformité des APL mesurés par Nitrawal dans les bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont durant l'automne 2014 – Classe 4 (Maïs)

6.4 Choix des parcelles

Les critères qui ont guidé le choix des parcelles retenues pour étudier l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines sont les suivants :

- parcelles présentant un APL élevé (supérieur au centile 66) ;
- parcelles pour lesquelles des informations détaillées concernant les pratiques agricoles ont pu être récoltées par Nitrawal (notamment fertilisations organiques et minérales, présence d'une CIPAN) ;
- parcelles emblavées avec une des principales cultures présentes dans la zone d'étude, à savoir foment, maïs, escourgeon ou betterave.

Sur cette base, 3 parcelles ont été sélectionnées. Pour ces parcelles, au total 4 mesures d'azote potentiellement lessivable sont disponibles : 2 en froment, 1 en maïs et 1 en betterave.

6.5 Résultats des simulations

6.5.1 Parcelle T29

6.5.1.1 Caractéristiques de la parcelle

Située dans le bassin versant du Triffoy, la parcelle T29 présente un sol-limoneux caillouteux à charge de calcaire et une pente moyenne de 3.1%.

La rotation est du type Maïs (2014) – Froment (2013) avec implantation d'une interculture (moutarde) avant la tête de rotation. Les fertilisations organiques et minérales apportées à cette parcelle en cours des années 2013 et 2014 sont reprises au Tableau 13.

L'APL mesuré après froment (2/12/2013) est de 50 kg N/ha.

Tableau 13 : Apports de fertilisants organiques et minéraux – Parcelle T29

	Maïs	Froment
Fertilisation organique	10/9/2013 : 30 t/ha de fumier bovin	-
Fertilisation minérale	Printemps : 58 kg N/ha	15/3/2013 : 80 kg N/ha 15/4/2013 : 80 kg N/ha 15/5/2013 : 27 Kg N/ha

6.5.1.2 Simulation de l'APL observé

Les bases de données du modèle EPICgrid ont été implémentées afin de reproduire le contexte bio-physique de la parcelle ainsi que les pratiques culturales qui régissent la conduite de cette parcelle au cours des années 2013 et 2014.

Les résultats de la modélisation sont présentés à la Figure 20. Celle-ci présente, en regard de l'évolution de l'Indice de Surface Foliaire (LAI), l'évolution du stock d'azote dans les 90 premiers centimètres de sol (profondeur correspondant à la mesure de l'APL) ainsi que l'APL observé à l'automne 2013 après froment. La correspondance entre APL observé et simulé est tout à fait satisfaisante.

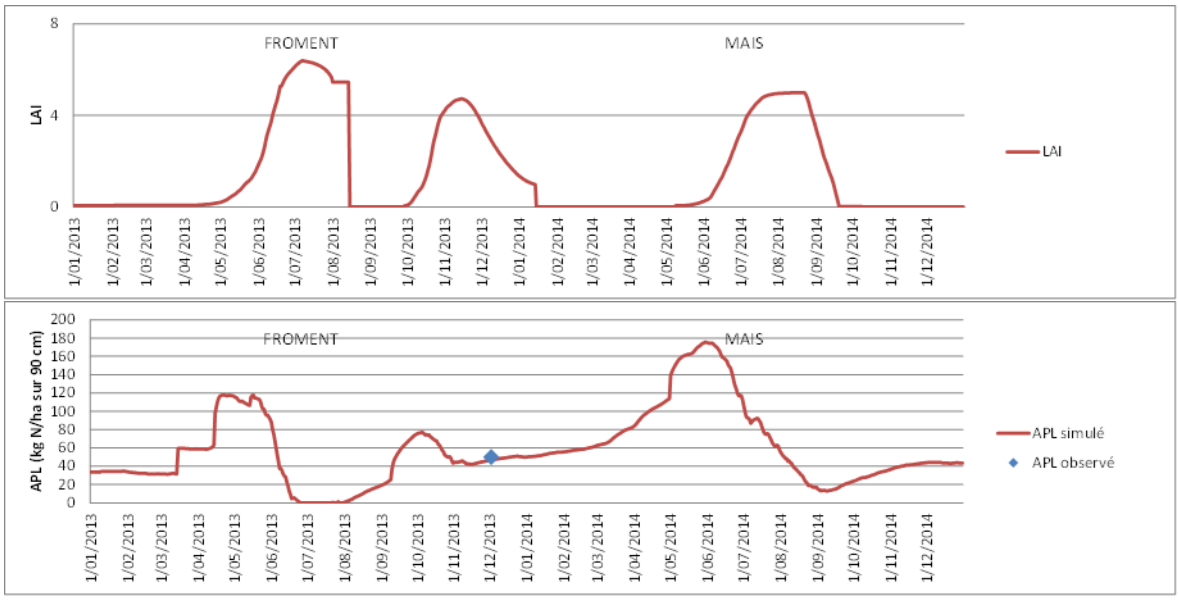


Figure 20 : Modèle EPICgrid – Simulation de l'Azote Potentiellement Lessivable (APL) – Parcelle T29

6.5.1.3 Scénario de modification des pratiques agricoles

La médiane des APL mesurés par Nitrawal à l'automne 2013 dans les bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont pour les parcelles de froment suivies de l'implantation d'une CIPAN est de 18 kg N/ha. L'APL observé sur la parcelle T29 (50 kg N/ha) est largement supérieur à cette valeur.

Les informations récoltées par Nitrawal pour cette parcelle indiquent que l'interculture n'a pas été implantée de façon optimale ; semée à la volée, la CIPAN ne s'est pas développée correctement.

Comme le montre les simulations présentées à la Figure 21, bien implantée la CIPAN se développe mieux et prélève davantage d'azote et permet ainsi de réduire la teneur en azote dans le profil. L'APL est dans ce cas (à date équivalente) du même ordre de grandeur que la médiane des observations réalisées en froment avec implantation d'une CIPAN.

Les simulations réalisées montrent également (Figure 21) que :

- sans l'implantation d'une CIPAN, le stock d'azote à l'automne augmente de manière très importante suite à la minéralisation des résidus végétaux et de la matière organique ; la CIPAN permet de limiter de façon très efficace le stock d'azote dans le profil ;
- les pertes d'azote à 90 cm de profondeur durant l'hiver qui suit la culture de froment sont réduites par l'implantation d'une CIPAN ; cette réduction étant d'autant plus importante que la CIPAN est implantée dans de bonnes conditions ;
- la concentration en nitrate de l'eau de lessivage durant l'hiver qui suit la culture de froment est également réduite de par l'implantation de la CIPAN. Sans CIPAN, cette concentration est de 61 mg NO3/l ; avec CIPAN, celle-ci est comprise entre 13 et 31 mg NO3/l en fonction des modalités d'implantation de la CIPAN.

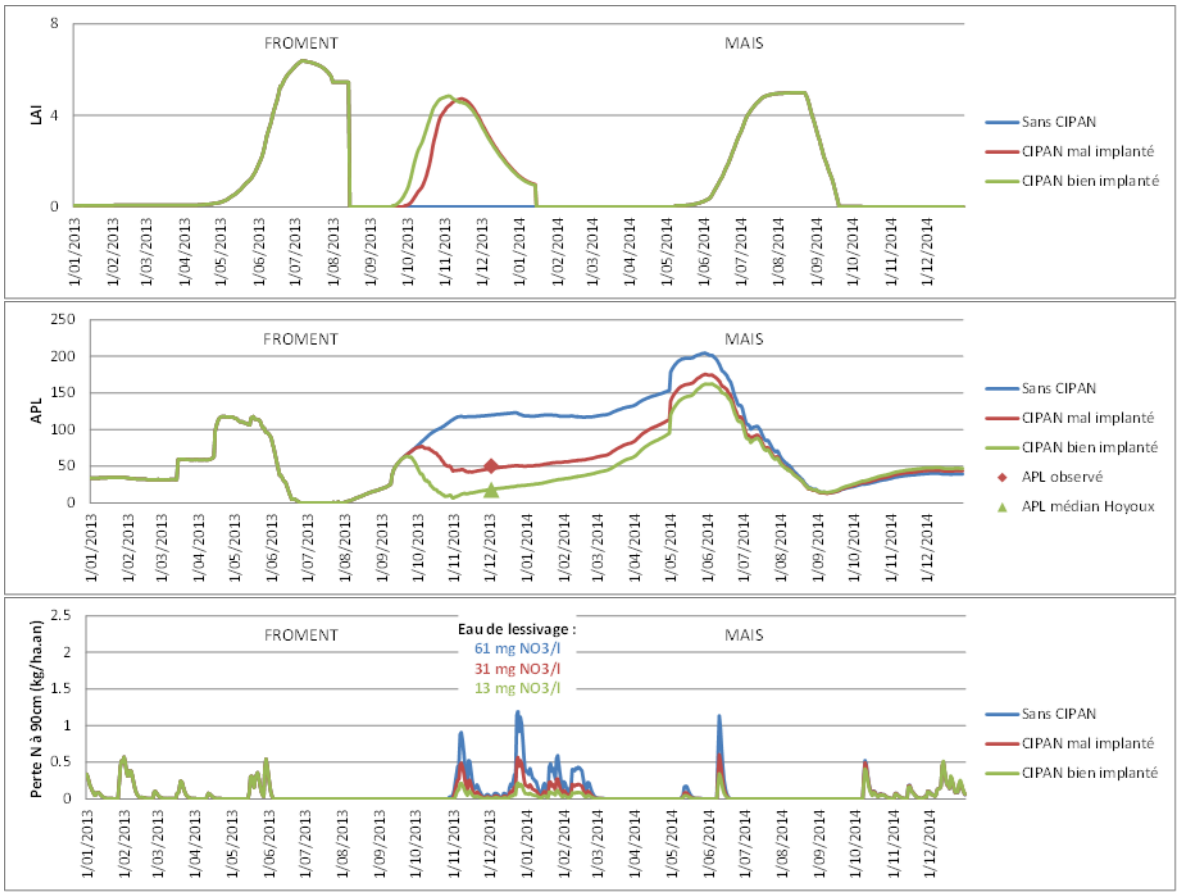


Figure 21 : Modèle EPICgrid – Simulation de scénario de modification des pratiques agricoles – Parcelle T29

6.5.2 Parcelle T525

6.5.2.1 Caractéristiques de la parcelle

La parcelle T525, localisée dans le bassin versant du Triffoy, présente un sol limoneux et une pente de 3%.

Durant les années 2013-2014, la parcelle a été emblavée successivement en betterave (2013) et en froment (2014) avec implantation d'une CIPAN avant la betterave. Les fertilisations organiques et minérales apportées à ces deux cultures sont présentées au Tableau 14.

Les APL mesurés sont respectivement de 66 kg N/ha après betterave (13/12/2013) et de 55 kg N/ha après froment (22/11/2014).

Tableau 14 : Apports de fertilisants organiques et minéraux – Parcelle T525

	Betterave	Froment
Fertilisation organique	50 t/ha de fumier bovin (tous les 2-3 ans)	-
Fertilisation minérale	Avril/mai : 92 kg N/ha	6/3/2014 : 81 kg N/ha 3/4/2014 : 54 kg N/ha 15/5/2014 : 54 Kg N/ha

6.5.2.2 Simulation de l'APL observé

Les quantités d'azote organique épandues sur la parcelle T525 sont connues avec une relative incertitude quant à la fréquence d'apport (« tous les 2-3 ans »). Rapporté sur base annuelle, la différence dans les quantités apportées est sensible. Pour un apport de 50 t/ha tous les 3 ans ou tous les 2 ans, l'apport moyen annuel est respectivement de 16.7 t/ha.an et de 25 t/ha.an.

Afin de prendre un compte cette incertitude, deux simulations ont été réalisées avec respectivement un apport de fumier de bovin en tête de rotation de 50 t/ha et de 30t/ha (sans modification des apports d'engrais minéraux).

La Figure 22 présente, en regard du développement des cultures (LAI), l'évolution des stocks d'azote dans le profil (0 – 90 cm) ainsi que les pertes d'azote hors du profil pour les deux configurations de fertilisation organique.

Les APL observés (pour la betterave en 2013 et pour le froment en 2014) se situent tous les deux entre les APL simulés pour les deux schémas de fertilisation organique.

En fonction des apports organiques, la concentration en nitrate des eaux de lessivage est très différente. Durant l'hiver qui suit la tête de rotation, la concentration en nitrate des eaux de lessivage est de 54 mg/l pour un apport de 30 t/ha et de 117 mg/l pour un apport de 50 t/ha de fumier de bovin en tête de rotation.

La maîtrise des apports de fertilisants (organiques mais également minéraux) est primordiale car elle conditionne l'évolution des teneurs en azote du sol et in fine la concentration en nitrate des eaux de lessivage.

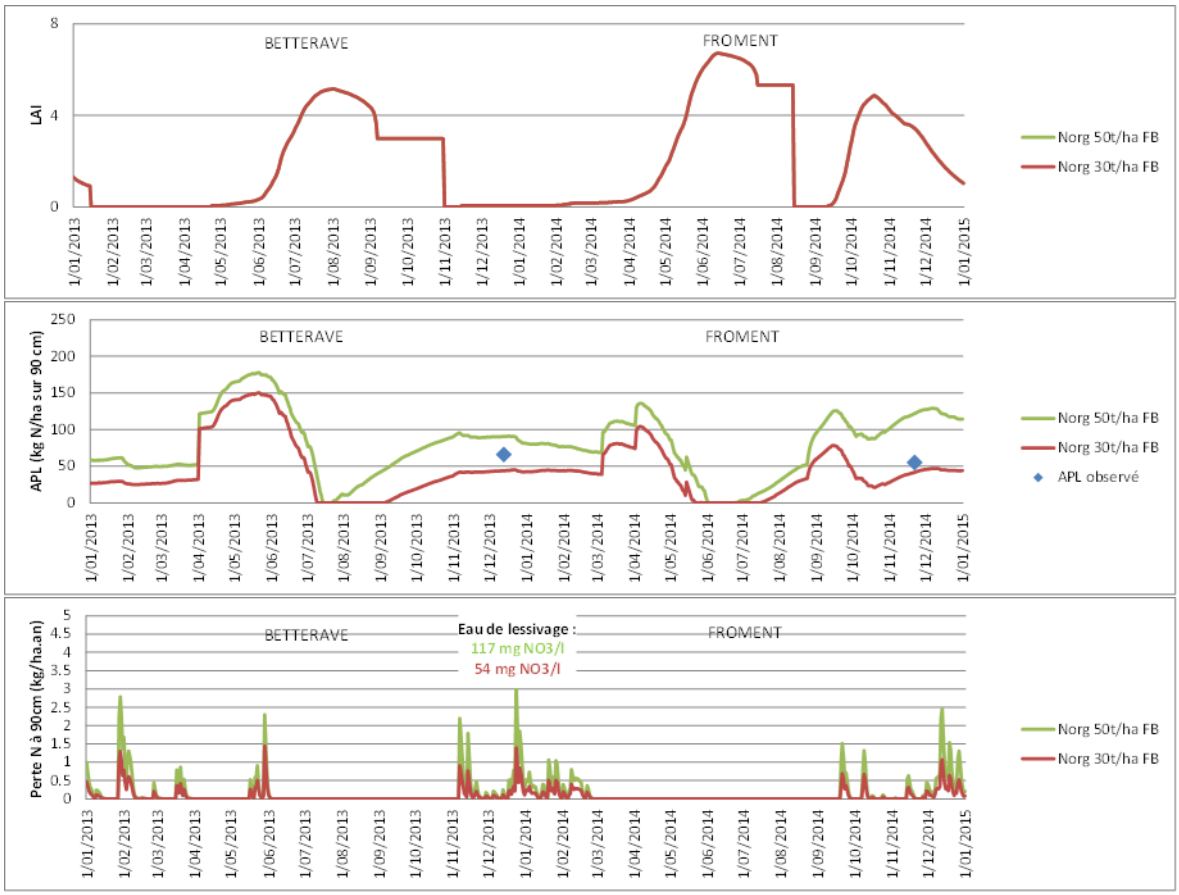


Figure 22 : Modèle EPICgrid – Simulation de l'Azote Potentiellement Lessivable (APL) – Parcelle T525

6.5.2.3 *Scénario de modification des pratiques agricoles*

Comme le montre la Figure 22, la réduction des apports organiques permet de réduire les reliquats azotés et donc les pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines.

Une meilleure répartition des engrais organiques produits sur l'exploitation entre les différentes parcelles est donc à préconiser.

6.5.3 *Parcelle T520*

6.5.3.1 *Caractéristiques de la parcelle*

La parcelle T520 est située dans le bassin versant du Triffoy. Son sol est limoneux et sa pente moyenne est de 4.2%.

Les cultures implantées en 2013 et 2014 sont le maïs (2013) et le froment (2014) avec implantation d'un CIPAN (moutarde) avant maïs. Le Tableau 15 reprend les apports de fertilisants organiques et minéraux apportés à ces deux cultures.

Après maïs (13/12/2013), l'APL mesuré est de 66 kg N/ha.

Tableau 15 : Apports de fertilisants organiques et minéraux – Parcelle T520

	Maïs	Froment
Fertilisation organique	Fin été 2012 : 50 t/ha de fumier bovin	-
Fertilisation minérale	Avril/mai : 92 kg N/ha	6/3/2014 : 81 kg N/ha 3/4/2014 : 54 kg N/ha 15/5/2014 : 54 Kg N/ha

6.5.3.2 *Simulation de l'APL observé*

Les caractéristiques bio-physiques et culturales de la parcelle ayant été introduites dans le modèle EPICgrid, les simulations ont permis de reproduire de manière correcte l'APL mesuré sur la parcelle T520 (Figure 23).

La Figure 23 présente en regard du développement des cultures (maïs (2013) et froment + CIPAN (2014)), l'évolution du stock d'azote simulé dans le profil (90 cm) ainsi que l'APL observé à l'automne 2013 après maïs.

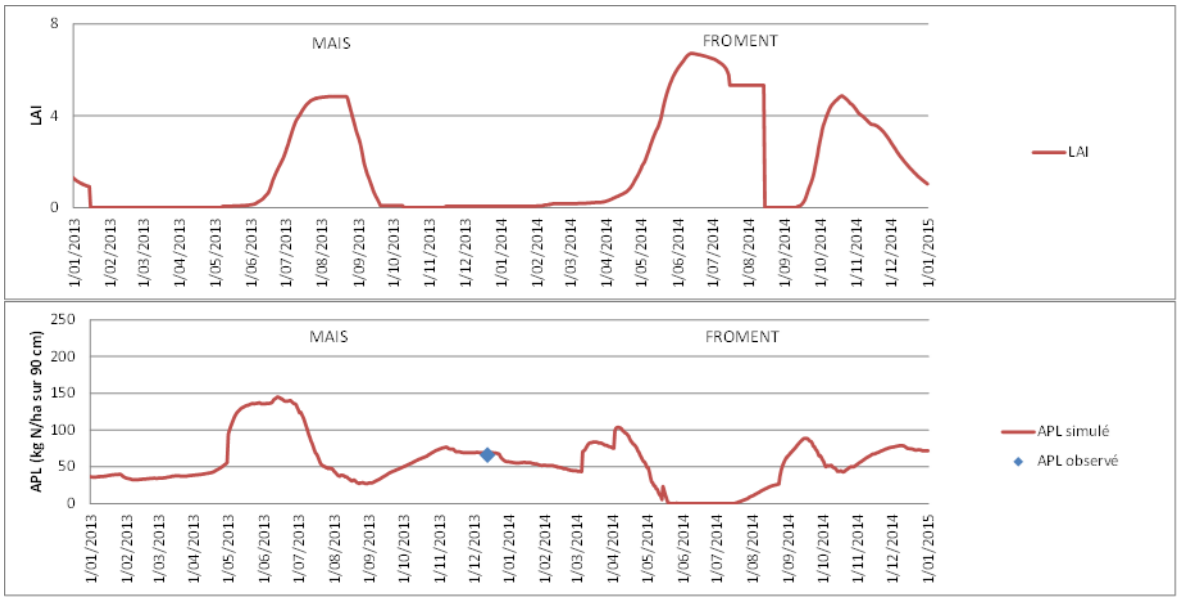


Figure 23 : Modèle EPICgrid – Simulation de l'Azote Potentiellement Lessivable (APL) – Parcelle T520

6.5.3.3 *Scénario de modification des pratiques agricoles*

L'APL mesuré sur cette parcelle à l'automne 2013 après maïs (66 kg N/ha) est très largement supérieur à la médiane (24 kg N/ha) des APL mesurés par Nitrawal sur les parcelles de maïs dans les bassins versants du Triffoy et du Hoyoux amont.

Cette parcelle dont la rotation est du type « Maïs-Froment » reçoit des apports très importants de fertilisants organiques : 50 t de fumier par tous les 2 ans ; la fertilisation minérale du maïs est également supérieur aux pratiques de la zone d'étude (92 kg N/ha contre 59 kg N/ha en moyenne pour les mêmes conditions culturales (maïs précédé d'une CIPAN)).

En reproduisant les fertilisations minérales et organiques moyennes pratiquées dans la zone d'étude, le stock d'azote simulé dans le profil (90 cm) est réduit (Figure 24). Dans ces conditions, l'APL simulé est du même ordre de grandeur que la médiane des APL mesurés après maïs dans les bassins versants étudiés.

Les pertes d'azote hors du profil sont également réduites et la concentration en nitrate des eaux de lessivage durant l'hiver qui suit le maïs passe de 119 mg NO3/l à 38 mg NO3/l.

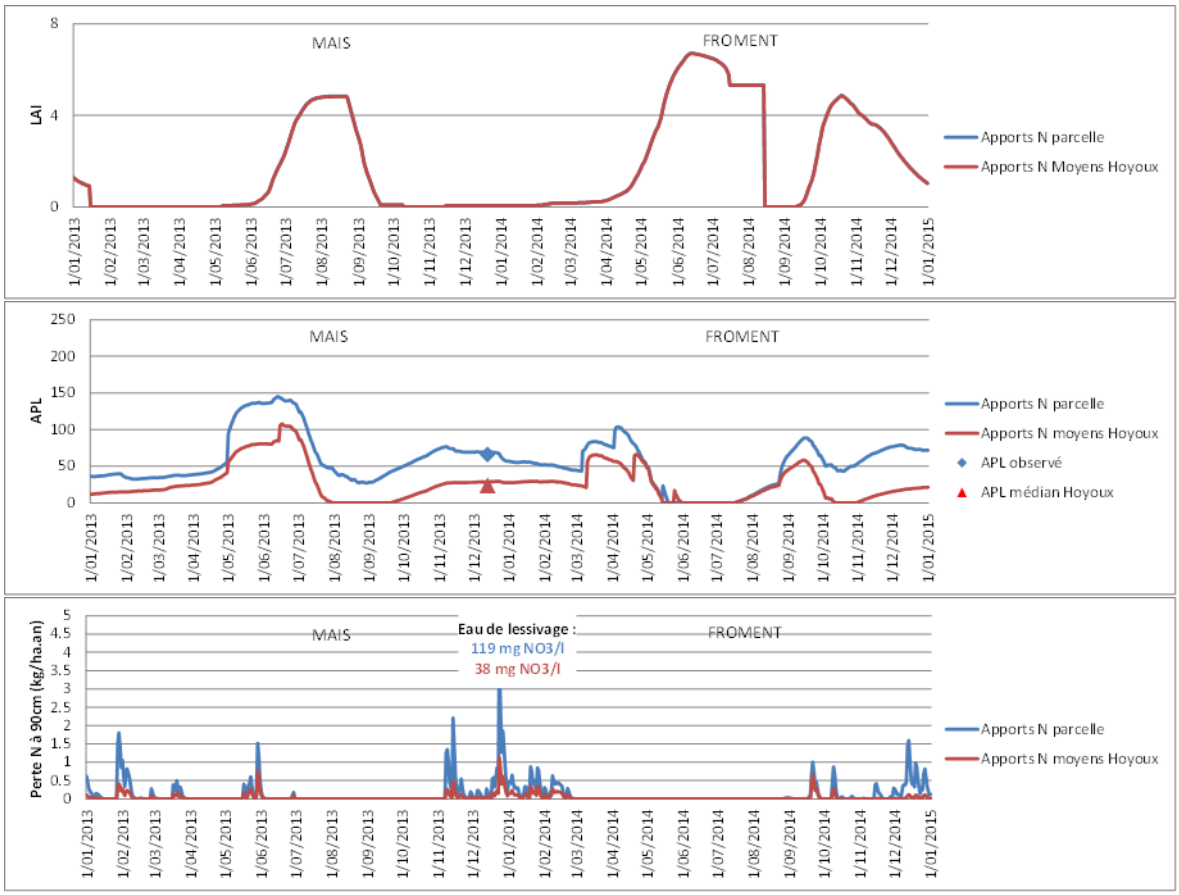


Figure 24: Modèle EPICgrid – Simulation de scénario de modification des pratiques agricoles – Parcelle T520

7. Conclusion

Les données récoltées à l'échelle locale dans le cadre du projet (données météorologiques, pratiques agricoles (collaboration Nitrawal)) ont été utilisées pour alimenter les bases de données du modèle agro-hydrologique EPICgrid.

Appliqué aux bassins versants du Hoyoux amont et du Triffoy, le modèle EPICgrid a permis d'évaluer les flux d'eau et d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines.

Outre la pollution agricole diffuse, la contribution du secteur domestique à la pollution azotée des eaux de surface a également été estimée.

La confrontation des résultats du modèle et des données observées a permis d'évaluer le sens des interactions nappe / rivière et, en première approche, les volumes concernés. La comparaison avec l'analyse des chroniques hydrologiques réalisées par l'UNnamur vient renforcer ces conclusions.

Le modèle a également été utilisé pour tester l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Le modèle a non seulement permis de reproduire les APL (Azote Potentiellement Lessivable) observés mais a également permis d'identifier des pratiques agricoles permettant de réduire les contaminations.

Références

Nitrawal (2014). Fiche « APL : Azote Potentiellement Lessivable ». http://www.nitrawal.be/resources/shared/apl/Fiche_APL_2014.pdf

Sohier C. (2011). Développement d'un modèle hydrologique sol et zone vadose afin d'évaluer l'impact des pollutions diffuses et des mesures d'atténuation sur la qualité des eaux en Région wallonne (thèse de doctorat). Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 338 p., 30 tabl., 146 fig. http://hdl.handle.net/2268/86912

Williams J.R., Jones C.A., Dyke P.T. (1984). A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Transactions of the ASAE. 27, 129-144.

Annexe I : Bilans hydrologiques mensuels par bassin versant

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST1 - Exutoire du Triffoy (30.3 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	35	1	2	0
nov-13	126	12	15	9	19
déc-13	81	9	15	11	27
janv-14	61	11	9	13	28
févr-14	57	17	8	11	21
mars-14	18	31	1	7	4
avr-14	13	47	0	5	2
mai-14	61	98	1	4	1
juin-14	104	107	3	3	2
juil-14	127	105	7	2	0
août-14	121	82	4	2	1
sept-14	76	56	4	2	2
oct-14	76	39	4	3	6
nov-14	41	16	3	3	6
déc-14	81	6	12	11	32
janv-15	77	8	11	14	32
févr-15	50	15	6	10	18
mars-15	42	26	4	9	11

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST2 – Triffoy – Source de Marchin (29.1 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	35	1	2	0
nov-13	126	12	14	9	20
déc-13	81	9	14	11	28
janv-14	61	11	9	13	29
févr-14	57	18	7	11	21
mars-14	18	31	1	7	4
avr-14	13	47	0	5	2
mai-14	61	99	1	4	1
juin-14	104	108	2	3	2
juil-14	127	105	7	2	0
août-14	121	82	4	2	1
sept-14	76	56	4	2	2
oct-14	76	39	4	3	6
nov-14	41	16	3	3	6
déc-14	81	6	11	11	33
janv-15	77	8	11	13	33
févr-15	50	15	6	10	19
mars-15	42	26	3	9	11

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST3 – Triffoy – State (28.1 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	35	1	2	0
nov-13	126	12	14	9	19
déc-13	81	9	14	11	27
janv-14	61	11	9	13	29
févr-14	57	18	7	11	21
mars-14	18	31	1	7	4
avr-14	13	47	0	5	2
mai-14	61	99	1	4	1
juin-14	104	108	2	3	2
juil-14	127	105	6	2	0
août-14	121	82	4	2	1
sept-14	76	56	4	2	2
oct-14	76	39	4	3	6
nov-14	41	16	3	3	6
déc-14	81	6	11	11	33
janv-15	77	8	11	13	33
févr-15	50	15	6	10	18
mars-15	42	26	3	9	11

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST4 – Triffoy – Jamagne (25.1 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	35	1	2	0
nov-13	126	12	13	8	19
déc-13	81	9	13	11	28
janv-14	61	11	8	12	30
févr-14	57	18	7	11	22
mars-14	18	32	1	7	4
avr-14	13	47	0	5	2
mai-14	61	99	1	4	1
juin-14	104	109	2	3	2
juil-14	127	105	6	2	0
août-14	121	82	4	2	1
sept-14	76	55	4	2	2
oct-14	76	39	4	3	6
nov-14	41	16	2	3	6
déc-14	81	6	10	11	34
janv-15	77	8	10	13	34
févr-15	50	15	5	9	19
mars-15	42	27	3	8	11

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST5 – Hoyoux – Modave (94.4 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	35	1	2	0
nov-13	126	12	14	7	19
déc-13	81	8	14	10	25
janv-14	61	10	9	14	28
févr-14	57	15	8	12	20
mars-14	18	34	1	9	2
avr-14	13	54	0	7	1
mai-14	61	95	1	5	1
juin-14	104	102	2	4	1
juil-14	127	109	6	3	0
août-14	121	86	4	2	1
sept-14	76	61	4	2	2
oct-14	76	41	4	3	6
nov-14	41	16	2	3	5
déc-14	81	5	11	9	29
janv-15	77	7	11	13	31
févr-15	50	13	6	10	17
mars-15	42	23	4	10	10

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST6 - Torrent de Bonne (50.9 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	34	1	1	0
nov-13	126	12	13	7	25
déc-13	81	8	13	9	32
janv-14	61	10	7	11	35
févr-14	57	17	6	9	25
mars-14	18	32	1	5	2
avr-14	13	50	0	3	0
mai-14	61	96	1	3	1
juin-14	104	107	2	2	2
juil-14	127	106	7	1	0
août-14	121	82	4	1	1
sept-14	76	56	4	2	3
oct-14	76	39	4	3	9
nov-14	41	16	2	3	8
déc-14	81	5	10	10	40
janv-15	77	7	9	12	40
févr-15	50	14	5	8	21
mars-15	42	24	3	7	12

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST7 - Ruisseau de Pailhe (39.0 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	36	1	3	0
nov-13	126	12	15	8	14
déc-13	81	7	15	11	19
janv-14	61	10	10	16	22
févr-14	57	15	9	15	16
mars-14	18	37	1	12	2
avr-14	13	57	0	9	1
mai-14	61	94	1	7	1
juin-14	104	103	2	5	1
juil-14	127	110	6	3	0
août-14	121	88	3	3	1
sept-14	76	63	3	2	2
oct-14	76	42	3	3	4
nov-14	41	17	3	3	3
déc-14	81	5	12	9	21
janv-15	77	6	12	15	24
févr-15	50	13	7	13	13
mars-15	42	23	4	13	8

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST8 – Hoyoux – Petit Avin (38.4 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	35	1	2	0
nov-13	126	12	12	7	22
déc-13	81	8	13	9	28
janv-14	61	11	8	12	33
févr-14	57	16	7	10	23
mars-14	18	32	1	8	3
avr-14	13	51	0	6	1
mai-14	61	98	1	5	1
juin-14	104	103	2	3	2
juil-14	127	108	6	2	0
août-14	121	86	3	2	1
sept-14	76	60	3	2	3
oct-14	76	41	3	3	7
nov-14	41	16	2	3	5
déc-14	81	6	10	9	34
janv-15	77	7	9	11	36
févr-15	50	14	5	9	19
mars-15	42	24	3	9	12

Modèle EPICgrid – Productions des écoulements (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST9 – Hoyoux – Petit Modave (5.4 km²)

			Flux vers les eaux de surface		Flux vers les eaux souterraines
Mois	Précipitations (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Ruissellement direct (mm)	Ecoulement hypodermique lent (mm)	Percolation de base (mm)
oct-13	71	34	1	4	0
nov-13	126	11	15	9	9
déc-13	81	6	16	13	14
janv-14	61	9	12	19	18
févr-14	57	13	11	17	14
mars-14	18	35	2	15	3
avr-14	13	61	0	11	1
mai-14	61	93	0	9	1
juin-14	104	97	1	6	1
juil-14	127	111	6	5	0
août-14	121	84	3	4	1
sept-14	76	64	3	3	1
oct-14	76	41	3	5	3
nov-14	41	15	3	5	3
déc-14	81	5	13	10	13
janv-15	77	6	14	17	20
févr-15	50	11	8	15	11
mars-15	42	20	5	16	8

Annexe II : Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines par bassin versant

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST1 - Exutoire du Triffoy (30.3 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.1	0.0
nov-13	0.8	0.4	0.8
déc-13	0.8	0.5	1.2
janv-14	0.4	0.6	1.3
févr-14	0.4	0.5	1.1
mars-14	0.2	0.4	0.3
avr-14	0.1	0.3	0.2
mai-14	0.1	0.2	0.1
juin-14	0.3	0.2	0.1
juil-14	0.4	0.1	0.0
août-14	0.3	0.1	0.0
sept-14	0.3	0.1	0.1
oct-14	0.2	0.2	0.2
nov-14	0.2	0.2	0.3
déc-14	0.6	0.5	1.5
janv-15	0.6	0.6	1.6
févr-15	0.3	0.5	1.0
mars-15	0.3	0.4	0.6

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST2 – Triffoy – Source de Marchin (29.1 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.1	0.0
nov-13	0.8	0.4	0.9
déc-13	0.8	0.5	1.2
janv-14	0.4	0.6	1.3
févr-14	0.4	0.6	1.1
mars-14	0.2	0.4	0.4
avr-14	0.1	0.3	0.2
mai-14	0.1	0.2	0.1
juin-14	0.3	0.2	0.1
juil-14	0.4	0.1	0.0
août-14	0.2	0.1	0.0
sept-14	0.3	0.1	0.1
oct-14	0.2	0.2	0.2
nov-14	0.2	0.2	0.3
déc-14	0.6	0.5	1.5
janv-15	0.6	0.6	1.7
févr-15	0.3	0.5	1.1
mars-15	0.3	0.4	0.7

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST3 – Triffoy – State (28.1 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.1	0.0
nov-13	0.8	0.4	0.9
déc-13	0.8	0.5	1.2
janv-14	0.4	0.6	1.3
févr-14	0.4	0.6	1.1
mars-14	0.2	0.4	0.4
avr-14	0.1	0.3	0.2
mai-14	0.1	0.2	0.1
juin-14	0.3	0.2	0.1
juil-14	0.4	0.1	0.0
août-14	0.2	0.1	0.0
sept-14	0.3	0.1	0.1
oct-14	0.2	0.2	0.2
nov-14	0.2	0.2	0.3
déc-14	0.6	0.5	1.5
janv-15	0.6	0.7	1.7
févr-15	0.3	0.5	1.1
mars-15	0.3	0.5	0.7

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST4 – Triffoy – Jamagne (25.1 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.1	0.0
nov-13	0.7	0.4	0.9
déc-13	0.7	0.5	1.3
janv-14	0.4	0.6	1.4
févr-14	0.3	0.6	1.2
mars-14	0.2	0.4	0.4
avr-14	0.1	0.3	0.2
mai-14	0.1	0.2	0.1
juin-14	0.3	0.2	0.1
juil-14	0.4	0.1	0.0
août-14	0.3	0.1	0.0
sept-14	0.3	0.1	0.1
oct-14	0.2	0.2	0.2
nov-14	0.2	0.2	0.3
déc-14	0.6	0.5	1.6
janv-15	0.5	0.7	1.8
févr-15	0.3	0.5	1.2
mars-15	0.3	0.5	0.7

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST5 – Hoyoux – Modave (94.4 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.1	0.0
nov-13	0.6	0.3	0.7
déc-13	0.6	0.3	0.8
janv-14	0.3	0.4	0.8
févr-14	0.3	0.4	0.6
mars-14	0.1	0.3	0.1
avr-14	0.1	0.2	0.0
mai-14	0.1	0.2	0.0
juin-14	0.2	0.1	0.1
juil-14	0.3	0.1	0.0
août-14	0.2	0.1	0.0
sept-14	0.2	0.1	0.1
oct-14	0.2	0.1	0.2
nov-14	0.1	0.1	0.2
déc-14	0.5	0.3	1.0
janv-15	0.4	0.4	1.0
févr-15	0.2	0.3	0.5
mars-15	0.2	0.3	0.3

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST6 - Torrent de Bonne (50.9 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.0	0.0
nov-13	0.7	0.3	1.2
déc-13	0.7	0.4	1.5
janv-14	0.4	0.6	1.4
févr-14	0.3	0.5	1.0
mars-14	0.2	0.3	0.1
avr-14	0.1	0.2	0.0
mai-14	0.1	0.1	0.0
juin-14	0.3	0.1	0.1
juil-14	0.4	0.1	0.0
août-14	0.2	0.1	0.0
sept-14	0.3	0.1	0.1
oct-14	0.2	0.2	0.4
nov-14	0.1	0.2	0.3
déc-14	0.4	0.4	1.5
janv-15	0.4	0.6	1.4
févr-15	0.2	0.4	0.8
mars-15	0.3	0.3	0.4

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST7 - Ruisseau de Pailhe (39.0 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.1	0.0
nov-13	0.5	0.3	0.5
déc-13	0.6	0.4	0.6
janv-14	0.3	0.5	0.5
févr-14	0.3	0.5	0.4
mars-14	0.1	0.4	0.0
avr-14	0.1	0.3	0.0
mai-14	0.1	0.2	0.0
juin-14	0.2	0.2	0.0
juil-14	0.3	0.1	0.0
août-14	0.2	0.1	0.0
sept-14	0.2	0.1	0.0
oct-14	0.1	0.1	0.1
nov-14	0.1	0.1	0.1
déc-14	0.4	0.3	0.7
janv-15	0.4	0.5	0.7
févr-15	0.2	0.4	0.4
mars-15	0.2	0.4	0.2

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST8 – Hoyoux – Petit Avin (38.4 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.1	0.1	0.0
nov-13	0.6	0.3	0.8
déc-13	0.7	0.3	1.0
janv-14	0.4	0.5	1.1
févr-14	0.3	0.4	0.8
mars-14	0.1	0.3	0.1
avr-14	0.1	0.2	0.0
mai-14	0.1	0.2	0.0
juin-14	0.3	0.1	0.1
juil-14	0.3	0.1	0.0
août-14	0.2	0.1	0.0
sept-14	0.2	0.1	0.1
oct-14	0.2	0.1	0.2
nov-14	0.1	0.1	0.2
déc-14	0.5	0.3	1.2
janv-15	0.4	0.5	1.2
févr-15	0.2	0.4	0.7
mars-15	0.2	0.3	0.4

Modèle EPICgrid – Bilans mensuels des pertes d'azote vers les eaux de surface et vers les eaux souterraines (Octobre 2013 – Mars 2015) - Bassin versant ST9 – Hoyoux – Petit Modave (5.4 km²)

	N issu de la zone vadose perdu vers les eaux de surface (kg/ha.mois)		N issu de la zone vadose perdu vers les eaux souterraines (kg/ha.mois)
Mois	Par ruissellement direct	Via les hypodermiques lents	
oct-13	0.0	0.1	0.0
nov-13	0.5	0.2	0.2
déc-13	0.6	0.3	0.3
janv-14	0.3	0.4	0.3
févr-14	0.3	0.4	0.3
mars-14	0.0	0.3	0.0
avr-14	0.0	0.3	0.0
mai-14	0.0	0.2	0.0
juin-14	0.2	0.2	0.0
juil-14	0.3	0.1	0.0
août-14	0.1	0.1	0.0
sept-14	0.2	0.1	0.0
oct-14	0.1	0.1	0.1
nov-14	0.1	0.1	0.1
déc-14	0.4	0.2	0.4
janv-15	0.3	0.4	0.4
févr-15	0.2	0.3	0.2
mars-15	0.1	0.4	0.1