

Production, transfert et rétention d'eau et d'azote dans les bassins versants emboîtés de l'Orgeval, affluent du Grand Morin

Vazken Andréassian (Cemagref QHAN¹, Antony)

Nenad. Nikolic (Cemagref DEAN², Antony)

Cyril Kao (Cemagref DEAN², Antony)

Daniel Zimmer (Cemagref DEAN², Antony)

Patrick Ansart (Cemagref QHAN¹, Antony)

Cédric Chaumont (Cemagref DEAN², Antony)

Le travail mené dans le cadre du PIREN-Seine par le Cemagref (unités de recherche QHAN¹ et DEAN² à Antony) s'inscrit dans la volonté affichée du programme de " remonter vers l'amont " du bassin versant de la Seine, en particulier vers les sous-bassins d'ordre 1 à 3. Si l'on s'intéresse à la pollution diffuse d'origine agricole et à de possibles mesures correctives visant à améliorer la qualité des eaux, il est difficile voire impossible d'agir très à l'aval. Une approche orientée vers la compréhension des facteurs qui contrôlent le fonctionnement des petits bassins versants ruraux d'amont ainsi que leur connexion avec les bassins d'aval est nécessaire. En effet, c'est à l'amont, à l'échelle des parcelles agricoles que se raisonnent les pratiques culturales, que s'organisent les rotations et que se produit l'excédent de matières actives qui peut alors être transféré vers les eaux de surface et souterraines. Notre travail se focalise sur les transferts d'eau, de nitrate et le cycle de l'azote, mais d'autres polluants sont suivis par ailleurs sur ce même bassin versant, les pesticides notamment par M. Chevreuil et H. Guivarc'h-Blanchoud.

Dans le cas de l'azote, on peut considérer en première approche que c'est le reliquat lessivable en entrée d'hiver (Arlot, 1999) qui, dans le contexte des bassins versants hydromorphes drainés tel le BVRE de l'Orgeval, est le maillon initial de la "chaîne de pollution". Ce reliquat dépend des successions culturales, de la technicité de l'agriculteur (de sa maîtrise de la fertilisation) et des caractéristiques pédologiques et hydriques des parcelles. Une fois lessivé, l'azote est entraîné vers un système de nappe ou les eaux de surface, il subit également des transformations le long de son trajet. Afin de comprendre l'origine exacte de ce nitrate, il est nécessaire de pouvoir quantifier les flux d'eau qui proviennent des bassins amonts et de déterminer les parts relatives qui arrivent à l'aval du bassin et dans les aquifères souterrains.

Les opérations de drainage agricole, raisonnées à l'échelle de la parcelle, s'accompagnent traditionnellement de travaux d'assainissement agricole qui visent à augmenter la capacité de transfert du réseau hydrographique (recalibrage des ruisseaux), ce qui a également pour conséquence d'augmenter la vitesse de transfert de l'eau. En fonction de l'hydrologie du bassin versant, deux cas extrêmes peuvent se présenter (Mariotti, 1998) :

- lorsque les sols sont imperméables, des nappes superficielles se forment dans les premiers mètres du sol au cours de l'hiver. L'essentiel des transferts rapides vers le réseau hydrographique de surface se fait via ces nappes, souvent drainées artificiellement. Le fonctionnement du bassin est alors marqué par une forte saisonnalité, une variation des concentrations et par un caractère conservatif des transferts d'azote.
- si au contraire les infiltrations vers la profondeur dominant, le transfert des nitrates est relativement long, la saisonnalité et la variabilité événementielle sont alors gommées. Les concentrations produites à l'aval sont par conséquent plus régulières et les biotransformations plus importantes : ces transferts ne sont donc pas forcément conservatifs. En outre, la pollution peut se

¹ QHAN : Qualité et Hydrologie Antony.

² DEAN : Drainage et Etanchéité Antony.

manifester dans les eaux de surface, avec un temps de latence supérieur à l'année, dépendant de la dynamique hydrogéologique des nappes.

La plupart des situations sont intermédiaires entre ces deux extrêmes mais plus les bassins versants considérés se situent à l'amont, plus le risque de trouver des situations du type 1 est grand ; et plus on va vers l'aval, plus les situations de type 2 prennent de l'importance, ce qui justifie le choix d'apports en nitrates à concentrations constantes fait dans le modèle Sénèque (Billen *et al.*, 1998). Les bassins versants emboîtés de l'Orgeval doivent permettre d'analyser les modalités des changements d'échelle spatiale dans les bassins amonts d'ordre 1 à 3. Pour ce faire, il est important d'y déterminer les parts respectives d'écoulements profonds, de surface et de subsurface et de les combiner à une analyse des concentrations en nitrates, ceci pour différentes échelles de temps (de l'évènement pluvieux à l'année hydrologique). De même, il serait utile de savoir s'il existe des milieux susceptibles d'abattre la pollution (milieux représentatifs des bassins d'ordre 1 à 3). Toutes ces analyses permettront de passer des petites aux grandes échelles et de valider, puis affiner, la modélisation du cycle de l'azote dans le bassin versant de la Seine.

1. Objectifs du travail

Dans le bassin de la Seine, une part importante des bassins amont se situent en position de plateau et peuvent présenter un caractère hydromorphe marqué (présence de nappes superficielles en hiver), c'est le cas notamment de Goins, Choqueuse et Mèlarchez.

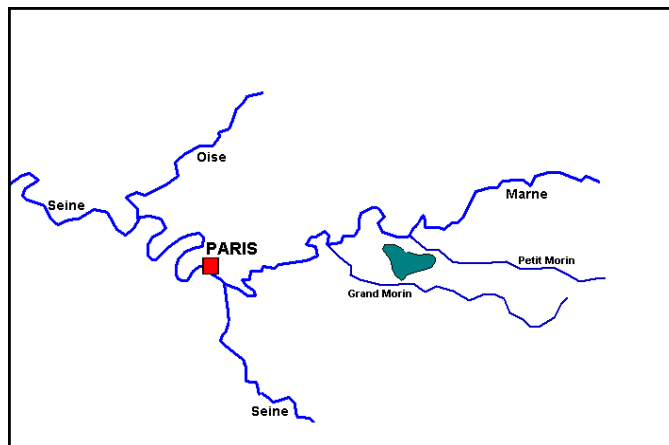


Figure 1-a : localisation du bassin versant de recherche de l'Orgeval.

Pour ce travail, nous avons retenu trois principaux objectifs :

1. quantifier le fonctionnement hydrologique des sous-bassins à différentes échelles de temps, notamment dans le but de mieux comprendre la variabilité spatiale (passage entre l'amont et l'aval) et temporelle (saisonnalité hydrologique marquée par le régime hydrique des sols) au sein de l'Orgeval : déterminer la part des écoulements de surface et souterrains.
2. quantifier les concentrations et les flux d'azote pour les différents sous-bassins sur la même échelle temporelle et faire la liaison avec les flux d'eau afin d'interpréter les flux de polluants.
3. déterminer s'il existe des zones particulières ayant un rôle potentiel effectif d'abattement des pollutions, à quelle échelle et selon quels mécanismes. En particulier, on peut s'interroger sur le rôle des interfaces riveraines et des zones forestières traversées par le réseau hydrographique. Ont-elles un effet sensible en provoquant, par exemple, une certaine dilution en tant qu'espace non-aménagé et non cultivé, ceci permettrait de "compenser" les apports des zones sources ? Sinon,

pourquoi et que peut on faire pour que ces zones dites “ tampons ” puissent jouer le rôle qui leur est attribué ?

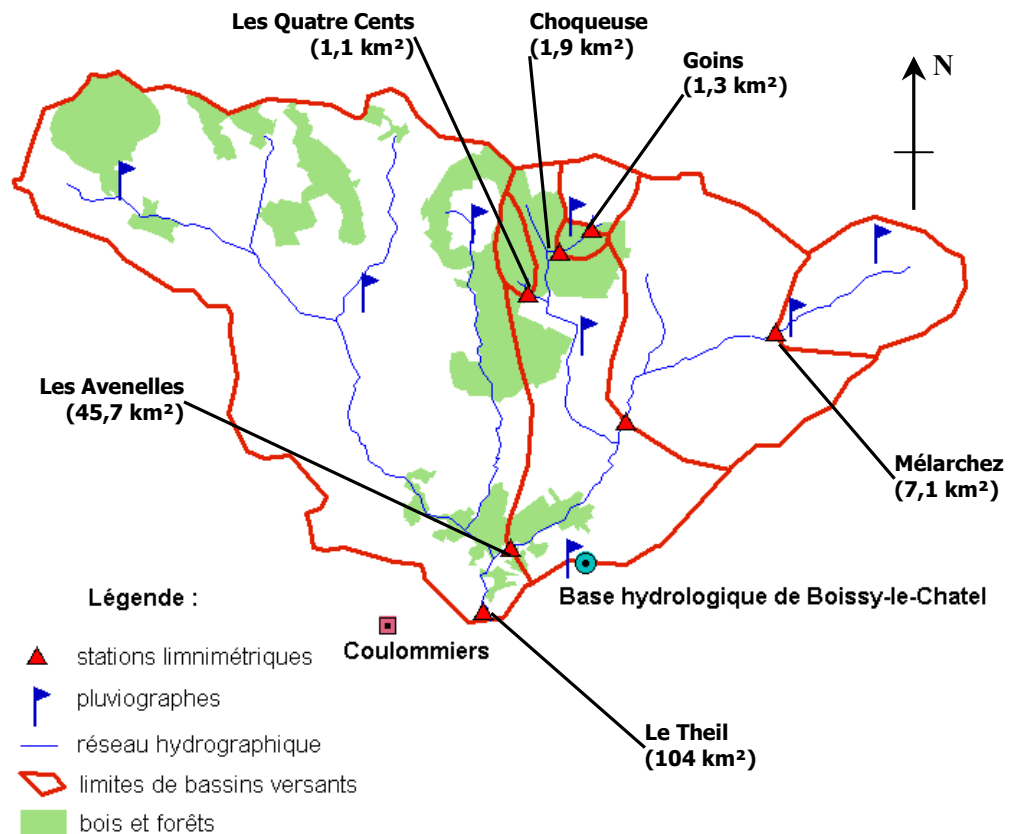


Figure 1-b : carte du bassin versant de recherche de l'Orgeval.

2. Matériel et méthodes

Situé en région Parisienne sur le plateau de Brie (Fig. 1-a), drainé par la rivière Orgeval, un affluent direct du Grand Morin, le bassin versant de recherche comprend plusieurs sous-bassins amont étudiés actuellement (Fig. 1-b) : Goins (1,3 km² : ordre 1) drainé à 80 % par des tuyaux enterrés et constitué uniquement de parcelles agricoles, Choqueuse (1,9 km² : ordre 1) comprenant le bassin de Goins plus un complément entièrement forestier non drainé de 0,6 km² et Mélarchez (7,1 km² : ordre 2) entièrement agricole et fortement drainé (> 90 %). Ces sous-bassins sont emboîtés dans le bassin des Avenelles (45,7 km² : ordre 3), lui même inclus dans le bassin de l'Orgeval au Theil (104 km² : ordre 3).

Au fil des ans, le système de suivi s'est diversifié et a évolué afin de répondre aux enjeux de suivi de la qualité de l'eau et de compréhension des mécanismes de transfert d'eau et de polluants. Dans le cadre du programme PIREN-Seine, les stations de Goins et Choqueuse ont été équipées fin 1998 d'un seuil avec déversoir en V à angle de 90°, fixé par un ancrage profond en béton (Photo. 1). La station des Quatre Cents de 1,1 km² (contrôle entièrement forestier) a été mise en service pendant l'été 1999. Elle servira de référence pour les apports forestiers durant la saison prochaine. Un limnigraphe, relié à un flotteur situé dans un puits de tranquillisation, enregistre les hauteurs d'eau toutes les 15 minutes. Chaque station est équipée d'une passerelle pour pouvoir effectuer des jaugeages manuels (permettant l'ajustement des courbes de tarage) et d'un préleveur automatique d'échantillons d'eau, équipé de 24 flacons. Le préleveur est programmé de manière à effectuer au moins un prélèvement quotidien en toutes circonstances, ainsi qu'un prélèvement au volume passé

(Fig. 2). Cette dernière caractéristique permet d'avoir un bon suivi des crues, tout en ne s'embarrassant pas de mesures nombreuses et inutiles en période d'étiage.

La mesure de la qualité des eaux se fait également aux stations de Mélarchez et des Quatre Cents. L'installation d'un quatrième échantillonneur est prévue au bassin du Theil, un prélèvement manuel est effectué tous les deux jours depuis décembre 1999.

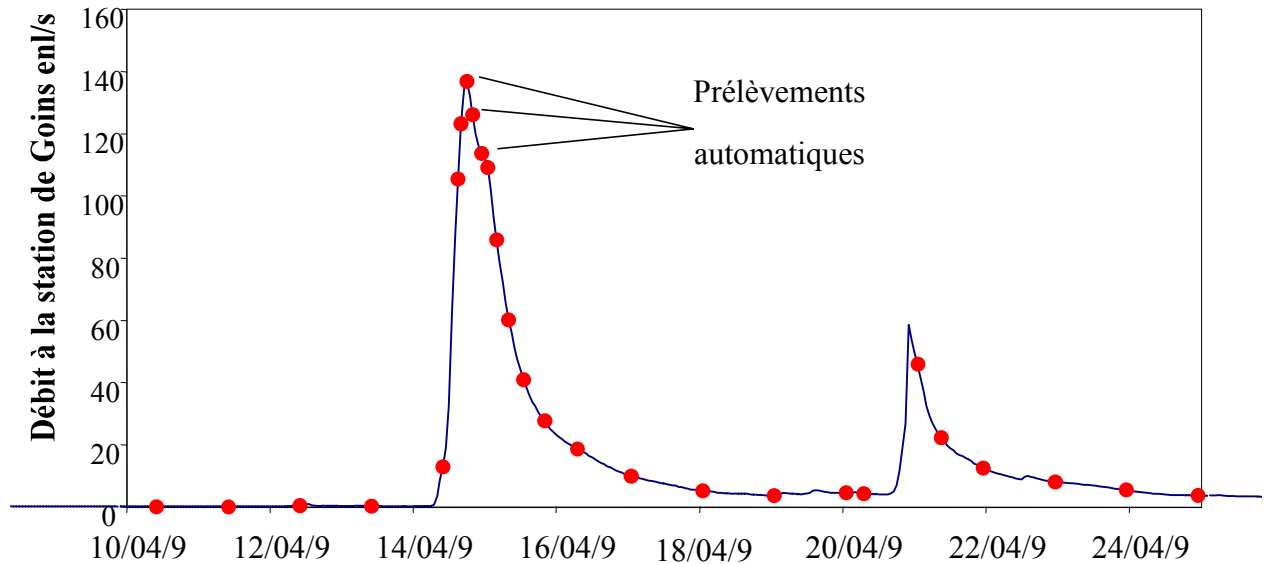


Figure 2 : dates des prélèvements automatiques à la station de Goins.



Photographie 1 : station hydrométrique de Choqueuse lors de la crue du 14 avril 1999.

La période étudiée ici correspond à la totalité de l'année hydrologique 1998-1999. Les bassins de Goins et Choqueuse étant intermittents, l'écoulement n'a repris pour la saison 1999-2000 qu'en octobre. Les débits sont restés faibles jusqu'en décembre, où de fortes crues ont eu lieu. La tempête du 26 décembre 1999 n'a endommagé qu'un préleveur, par contre, elle a occasionné des dégâts considérables en forêt, rendant l'accès aux stations très difficile.

3. Résultats

3.1. Fonctionnement hydrologique des bassins emboîtés du BVRE de l'Orgeval

Les bilans hydrologiques de surface sont effectués à des échelles de temps et d'espace variables. L'échelle spatiale est définie par le type de bassin sur lequel est effectué le bilan. Trois échelles de temps sont retenues dans ce travail : l'échelle de l'année hydrologique (octobre à juin), de la saison hydrologique (novembre à mars) et de l'évènement pluvieux. Chaque type de bassin a des caractéristiques hydrologiques propres, elles sont résumées dans le Tableau 1. Nous pouvons constater que les bassins d'ordre 3, Avenelles ou Theil, fonctionnent (débitent) de façon permanente, ce qui n'est le cas que d'une seule partie du bassin d'ordre 2. En revanche, les bassins d'ordre 1, Goins et Choqueuse, ont un fonctionnement beaucoup plus intermittent tout au long de l'année et même au sein de la saison hydrologique.

Tableau 1 : caractéristiques hydrologiques de chaque type de bassin.

Écoulements pendant la période :	Goins : bassin amont (ordre 1)	Mélarchez : bassin amont (ordre 2)	Avenelles : bassin aval (ordre 3)
	Non		
Printemps	(sauf lors de crues)	Oui	Oui
Été - début automne	Non	Oui	Oui
Saison hydrologique	Oui	Oui	Oui

3.1.1. La saisonnalité hydrologique

Le fonctionnement hydrologique des nappes superficielles passe par trois phases distinctes : la saison automnale de recharge des réserves du sol au cours de laquelle s'observent des écoulements sporadiques, la saison hydrologique (ou saison de drainage intense) (Lesaffre, 1988) qui correspond à une restitution permanente et entretenue de l'excès d'eau arrivant au sol, et la saison de disparition des nappes. La saison hydrologique est la période de l'année pendant laquelle la lame d'eau drainant le sol est maximale. Pour déterminer les dates de début et de fin des trois phases citées précédemment, une méthode empirique (Lesaffre, 1988) consiste à tracer le graphique des doubles cumuls de pluie et de débits (Fig. 3) et à essayer de délimiter des périodes caractéristiques selon la pente de la courbe. Plus on est à l'amont et en surface et plus la saisonnalité est marquée :

- Goins : une première période caractérisée par une pente faible, démarrée début novembre 1998 avec la reprise de l'écoulement sur le ru de Choqueuse, elle s'étend jusqu'au 28 novembre 1998, date de rupture de pente. Il s'agit de la période d'amorce de drainage. Une deuxième période se distingue par une pente plus forte, et dure jusqu'au 28 avril 1999. On l'assimilera à la saison hydrologique. Une troisième période semble plus régulière : après l'averse du 14 avril, une courbe de pente quasi nulle, c'est la saison de disparition des nappes.

- Mélarchez / Avenelles : la période d'amorce du drainage s'est terminée avant le 3 novembre 1998. La saison hydrologique a démarré avant le 03/11/98 et elle se prolonge jusqu'au 19/04/99 pour Mélarchez et jusqu'au 03/05/99 pour les Avenelles. La saison de disparition des nappes s'installe plus progressivement.

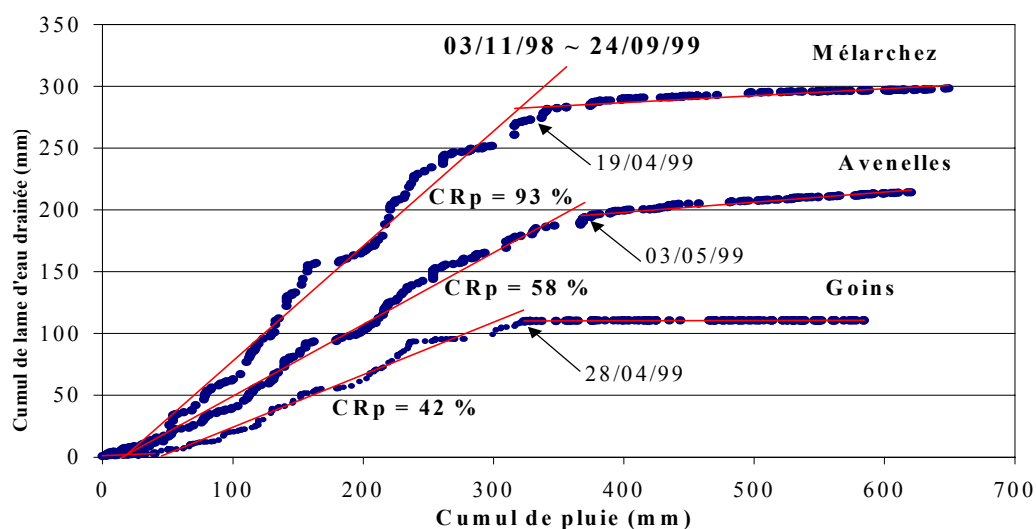


Figure 3 : saisons hydrologiques pour les bassins de Goins (ordre 1), Mélarchez (ordre 2) et Avenelles (ordre 3).

3.1.2. Bilans hydriques

3.1.2.1. Calcul du Coefficient de Restitution de la pluie brute

Les coefficients de restitution de la pluie brute (CRp) peuvent être calculés sur l'échelle de l'année hydrologique ou être obtenus pour la période de temps qui couvre la saison hydrologique (Arlot, 1999). Dans ce dernier cas, ces coefficients correspondent à la pente de la courbe des doubles-cumuls (Fig. 3) :

$$CRp = D / P \quad (1)$$

avec D : lame d'eau drainée par le réseau de drainage (mm)

P : apports d'eau par précipitations (mm)

Le Tableau 2 donne les différents CRp (exprimés en %) des différents bassins sur deux périodes : la campagne 1998-1999 de prélèvements d'échantillons pour l'analyse de la qualité de l'eau (du 02/11/98 au 30/05/99) et la saison hydrologique correspondante pour chaque bassin.

Tableau 2: CR calculés pour chaque bassin.

Bassins	CRp Campagne 1998-1999	CRp saison hydrologique 1998-1999
Choqueuse	26 %	37 %
Goins	35 %	42 %
Mélarchez	71 %	93 %
Avenelles	49 %	58 %
Theil	49 %	58 %

Pour les bassins amont, il y a deux comportements très distincts : Goins et Choqueuse se démarquent de Mélarchez en ayant des coefficients de restitution de la pluie 2 fois plus petits. Et la partie forestière de Choqueuse intercepte également plus d'eau que Goins. A l'aval, les deux bassins d'ordre 3 se comportent de la même façon en occupant une position intermédiaire. Le fait d'avoir des

coefficients plus élevés pendant la saison hydrologique que pendant presque toute l'année hydrologique montre que c'est pendant cette saison que le maximum de l'eau de pluie est restituée.

3.1.2.2. Ecoulements de surface

La quantification des écoulements de surface sur différentes périodes a été effectuée pour chaque bassin grâce à la mesure des débits (Tabl. 3). Nous pouvons remarquer pour chaque bassin que la quasi-totalité de l'eau de pluie est restituée pendant la saison hydrologique. La crue du 14 avril 1999, comprise dans la saison hydrologique, représente entre 1/7^e et 1/10^e du total.

Tableau 3: quantification des écoulements de surface pour les bassins à différentes périodes.

Bassins Etudiés	Campagne 1998-1999		Saison hydrologique		Crue du 14/04/99	
	Lame drainée totale (mm)	% du total	Lame drainée (mm)	% du total	Lame drainée (mm)	% du total
Goins	111	100	106	95.6	9	8.4
Choqueuse	98	100	94	95.2	9	9.6
Mélarchez	293	100	284	96.9	21	7.1
Avenelles	201	100	200	99.6	14	6.8
Theil	197	100	196	99.6	14	7.1

3.2. Qualité des eaux du bassin versant représentatif et expérimental de l'Orgeval

Nous décrivons la dynamique d'exportation des trois sous-bassins que sont Choqueuse, Goins et Mélarchez, les bassins de Theil et Avenelles ne possédant pas de préleveurs (la station du Theil devrait en recevoir un prochainement). Certains phénomènes observés seront explicités et les différents bassins seront comparés les uns aux autres (caractéristiques spatiale et temporelle de chaque sous-bassin), la relation sera faite avec leur fonctionnement hydrologique. Cela permettra, avec l'établissement des bilans d'azote, de comprendre les mécanismes mis en jeu pour expliquer le fonctionnement du système Orgeval.

Les concentrations instantanées en nitrate mesurées dans les eaux de drainage présentent, à l'échelle de la parcelle drainée, des variations très rapides autour de deux comportements types (Arlot, 1999) :

- **le premier type** est caractéristique d'un mécanisme de "dilution - reconcentration" : au cours de la crue, la concentration des eaux de drainage chute brusquement, puis remonte progressivement pour atteindre un niveau égal, ou presque égal, au niveau de concentration avant la crue.
- **le second type**, caractéristique d'un comportement d' "entraînement" , se traduit par une augmentation de la concentration avec le débit, puis par sa diminution avec la baisse du débit. Ces comportements sont surtout observés en début d'hiver (si les débits de drainage sont d'intensité modérée), en fin d'hiver (derniers écoulements) ou parfois pendant les reprises d'écoulement au printemps (lors de crues par exemple).

Ces deux phénomènes constatés régulièrement sur les différents sous-bassins ne suffisent pas à expliquer la dynamique d'exportation du nitrate. Pour ce faire, il est nécessaire de relier les résultats obtenus aux caractéristiques hydrologiques des sous-bassins étudiés, et aux pratiques culturales. Le tableau 4 résume la dynamique d'exportation du flux de nitrate pour chaque sous-bassin, le tableau 5 exprime la même chose sous forme de quantité d'azote nitrique (N-NO₃⁻).

Tableau 4 : bilans d'exportation du flux de nitrate pour chaque sous-bassin.

Bassins Etudiés	Campagne 1998-1999 (02/11/98 - 30/05/99)		Saison hydrologique (partielle* ou non)		Crue du 14/04/99	
	Flux total NO ₃ ⁻ (kg/ha)	% du flux total	Flux NO ₃ ⁻ (kg/ha)	% du flux total	Flux NO ₃ ⁻ (kg/ha)	% du flux total
Choqueuse	37	100	30	81	11	29
Goins	45	100	40	89	12	26
Mélarchez	109	100	96	89*	17	15

Tableau 5 : bilans d'exportation de la quantité d'azote nitrique pour chaque sous-bassin.

Bassins Etudiés	Campagne 1998-1999 (02/11/98 - 30/05/99)		Saison hydrologique (partielle* ou non)		Crue du 14/04/99	
	Quantité totale N-NO ₃ ⁻ (kg)	% du total	Quantité N-NO ₃ ⁻ (kg)	% du total	Quantité N-NO ₃ ⁻ (kg)	% du total
Choqueuse	1588	100	1292	81	457	29
Goins	1329	100	1183	89	348	26
Mélarchez	17425	100	15422	89*	2666	15

Mélarchez exporte beaucoup plus de nitrates que Goins et Choqueuse réunis (Tabl. 4), le gros de la quantité exportée a lieu pendant la saison hydrologique. Par contre, la crue du 14 avril a entraîné beaucoup de nitrates de Goins et Choqueuse : 2 fois plus qu'à Mélarchez. De plus, il est intéressant de voir que le plus faible flux de nitrates exporté de Choqueuse correspond en fait à une plus grande quantité d'azote nitrique (Tabl. 5) : ceci laisse supposer que la partie forestière de ce sous-bassin contribue au flux de nitrates, cette contribution est plus forte lors de la crue (+ 31 %) que pendant toute la durée de la saison hydrologique (+ 9 %). Or, c'est pendant cette période de l'année que la végétation reprend son développement et que l'activité microbienne du sol redémarre.

4. Interprétation des résultats et discussion

4.1. Hydrologie des bassins emboîtés du BVRE de l'Orgeval

Les tableaux 2 et 3 nous montrent que, pour chaque bassin, la majeure partie de l'eau de pluie est drainée et restituée pendant la saison hydrologique. Nous avons vu que le fonctionnement hydrologique des sous-bassins était différent : Goins et Choqueuse sont très intermittents et possèdent donc une amplitude de réaction à l'entrée d'eau plus forte. De plus, leurs taux de restitution de la pluie (CRp) sont beaucoup plus faibles (Tabl. 2, Fig. 3), tout ceci laisse supposer que les bassins amont d'ordre 1 perdent de l'eau par infiltrations profondes. En dépit des très faibles pentes sur le bassin de Goins, on trouve tout de même la différenciation "limons de plateau / argiles ferreux de milieu de pente / colluvions de bas de versant" (Bleuse, 1999). La proportion de ces divers faciès pédologiques pourrait être le facteur expliquant les différences de comportement hydrologique observées entre les sous-bassins amont de l'Orgeval, car géologiquement les bassins de Goins et Mélarchez semblent identiques. Mélarchez est totalement anthropisé en terme de fonctionnement hydrologique, il restitue 93 % de l'eau reçue pendant la saison hydrologique (Fig. 3). Or, la même différenciation pédologique qu'à Goins est observée sur un espace supérieur comprenant une plus grande différence de pente entre le haut et le bas de versant. Il faut croire que les drains collectent le maximum d'eau arrivant en surface : le réseau hydrographique de surface prévaut sur les infiltrations profondes dans ce cas.

Quant au bassin d'ordre 3 (Avenelles), il est représentatif du bassin de l'Orgeval (Theil) en occupant une position intermédiaire dans le taux de restitution de la pluie et en adoptant un fonctionnement hydrologique continu tout au long de l'année. Le choix d'apports en nitrates à concentrations constantes fait dans le modèle Sénèque (Billen *et al.*, 1998) pourrait se justifier à partir

de l'échelle de bassin d'ordre 3. Les mêmes valeurs de CRp pour les Avenelles et le Theil montrent qu'ils regroupent un ensemble de mécanismes identiques dans lequel on peut supposer que l'eau tombée au sol ne reste pas forcément captée par le réseau hydrographique de surface. De même, ces bassins restituent de façon régulière l'eau infiltrée à l'amont. Mais à l'échelle du bassin versant entier, on ne regagne pas en restitution (tab. 3), l'essentiel de l'eau qui percole rejoint les nappes profondes.

4.2. Qualité des eaux du bassin de recherche de l'Orgeval

Après avoir mis en évidence quelques points clés du fonctionnement hydrologique du BVRE de l'Orgeval, nous pouvons confronter ces résultats avec ceux obtenus sur la qualité des eaux afin de déterminer l'origine et le devenir de la pollution diffuse agricole en azote. En saison hivernale dominant des mécanismes de transfert des polluants uniquement liés à l'hydraulique de surface (drains, émissaires collecteurs, ruissellement) ou de subsurface (lessivage vers les nappes perchées), autrement dit, des transferts relativement rapides par rapport au reste de l'année. En terme de quantités exportées, cela se traduit par un maximum pendant la saison hydrologique (tab. 4 et 5).

Les trois sous-bassins exportent pratiquement tout leurs nitrates pendant la saison hydrologique ($\geq 81\%$). Le pourcentage du flux total attribué à Mèlarchez pour cette période n'est que partiel. En effet, sa saison hydrologique démarre le 22/10/98. La capacité et la vitesse de transfert de l'eau à Mèlarchez y est plus élevée que dans aucun des autres bassins. La connectivité des parcelles au réseau hydrographique court-circuite les voies d'écoulement traditionnelles dans les versants. D'ailleurs d'après Molénat (1999), Mèlarchez est un bassin de subsurface rapide où le temps moyen de résidence de l'eau n'est que de 35 jours. Au cours de la crue du 14 avril, un phénomène d'entraînement a été observé, ceci laisse supposer que le soluté (ici l'eau chargée en nitrate) a été emporté depuis la surface du sol, ce qui veut dire que ce flux élevé d'azote nitrique serait la conséquence d'une forte reprise de la minéralisation ou d'un apport d'amendement par des agriculteurs sur leurs parcelles (Arlot, 1999).

La Figure 4 représente les courbes de lessivage du chlore et des nitrates pour le sous-bassin de Goins pendant la campagne 1998-1999. La courbe du chlore s'apparente à un lessivage de stock : la pente devient de plus en plus faible et la courbe tend vers une asymptote (Arlot, 1999). Or ce n'est pas le cas pour les nitrates, la pente de la courbe augmente même après l'épisode de crue, ceci peut s'expliquer par le fait qu'il s'agisse d'un phénomène d'entraînement à partir d'un stock non limitant de nitrate. La même observation peut être faite pour Choqueuse ou Mèlarchez. La concentration de flux calculée sur toute cette campagne, pour les trois sous-bassins, montre qu'elle n'excède pas les 27 $\text{mg}(\text{NO}_3^-)/\text{l}$ d'eau drainée. Cette valeur est comprise dans les normes de potabilité de l'eau, mais il s'agit d'une moyenne sur l'année. A l'échelle de la saison hydrologique ou de l'évènement pluvieux, les quantités exportées sont importantes (tab. 4 et 5) et lors d'étiages, on dépasse souvent les 50 mg/l .

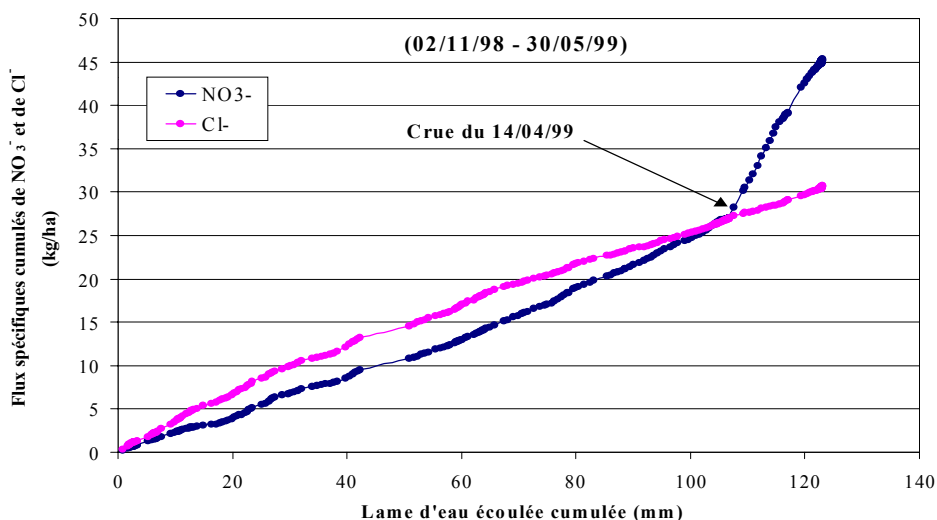


Figure 4 : lessivage des chlorures et des nitrates à Goins.

La saison hydrologique pour Goins et Choqueuse représente plus de 80 % des exportations totales de nitrate. La différence observée (89 % et 81 %) ne peut être expliquée par la durée de cette période, celle-ci est la même pour les deux bassins. La présence d'une partie forestière à Choqueuse expliquerait que ce sous-bassin restitue moins d'eau, et par la même occasion moins de nitrates. En effet, au cours de la saison hydrologique, la forêt contribue au flux d'azote (Tabl. 5) mais sa contribution, par rapport à celle de la partie agricole du bassin (Goins), est plus faible : la partie agricole exporte en moyenne 48 kg(NO₃⁻)/ha contre 30 kg(NO₃⁻)/ha pour la partie forestière. La fin de la saison hydrologique correspond à la période où la végétation et les micro-organismes du sol reprennent leur développement, il y a éventuellement de la réorganisation de l'azote présent sous forme de nitrate (immobilisation et dénitrification) dans le sol forestier.

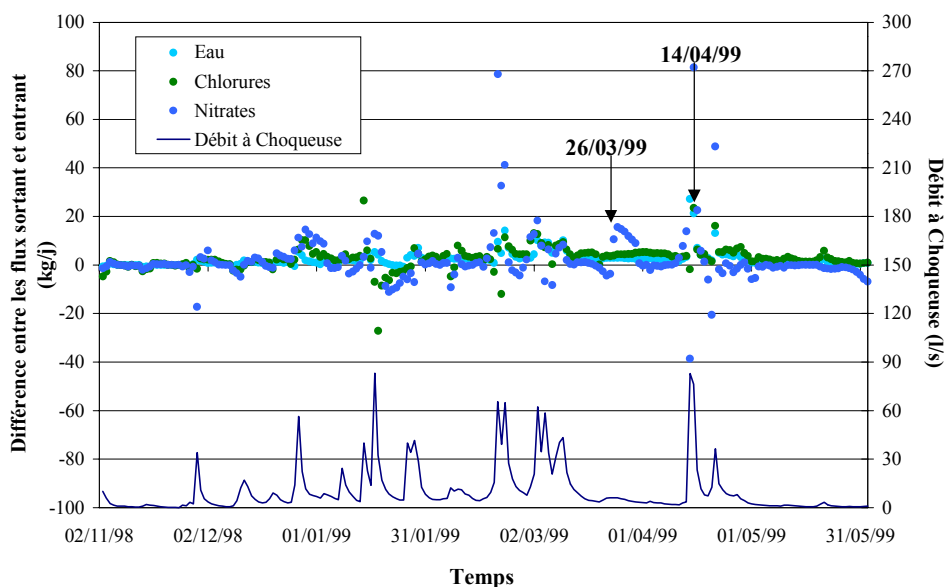


Figure 5 : différence entre les flux sortants et entrants d'eau, de chlore et de nitrates pour la campagne 1998-1999 de prélèvements d'échantillons.

La Figure 5 représente la différence entre les flux sortant et entrant d'eau, de nitrates et de chlore pour la campagne 1998-1999 de prélèvements d'échantillons. L'évolution du chlore suit en général assez bien celle de l'eau, en revanche les nitrates n'évoluent pas de la même manière. Ils connaissent de fortes différences de flux à certaines dates caractérisées par une crue (14 avril 1999) ou à d'autres dates pour les quelles aucun évènement majeur ne s'est produit (26 mars 1999). Ces phénomènes d'augmentation brusque de la différence de flux rendent compte de la contribution de la partie forestière de Choqueuse. En ce qui concerne la possibilité de rétention d'eau et de polluants par le tronçon forestier, il semble qu'elle soit négligeable ou inexistante dans l'état actuel du lit du ru, au contraire, la forêt peut se révéler contributrice nette. Cependant, les observations supplémentaires apportées par le nouveau bassin versant de contrôle entièrement forestier (Les Quatre Cents), permettront peut-être de répondre à quelques questions restées en suspens, concernant notamment quelques jours où la différence "flux sortant – flux entrant" est négative, et ceci de façon significative.

Les résultats obtenus lors de l'épisode de crue, 29 % exportés par Choqueuse contre 26 % pour Goins, s'expliquent par le fait que sur un épisode aussi court que celui-ci (3 jours), l'eau a entraîné sur son passage les nitrates de la partie forestière de Choqueuse. En effet, un phénomène d'entraînement a été observé à Goins et à Choqueuse. Ainsi, la zone forestière hydromorphe ne produit pas forcément beaucoup de nitrate en bilan net, mais elle ne retient pas non plus le flux de polluant lorsqu'il y a trop d'écoulement sur un aussi court laps de temps. Si cette crue avait duré assez longtemps, le bilan final aurait été peut-être inversé.

5. Conclusion et perspectives

Nous pouvons représenter le système Orgeval comme un ensemble de compartiments emboîtés qui interagissent entre eux et avec le réseau aquifère profond. Nous avons quantifié le fonctionnement hydrologique des sous-bassins à différentes échelles spatiale et temporelle. Le régime hydrique des sols, dû au faciès pédologique, est caractérisé par la présence d'infiltrations profondes et par l'évolution des nappes de surface. Ces phénomènes se combinent et provoquent l'intermittence d'écoulement observée pour les sous-bassins amonts d'ordre 1. Même sans intermittence marquée, tous les bassins possèdent une saison hydrologique au cours de laquelle la quasi totalité de l'eau arrivée au sol est évacuée.

Les résultats d'analyse des flux d'azote nitrique permettent de faire la liaison entre les flux d'eau et de polluants, ceci afin de comprendre l'origine et le devenir de la pollution nitrique. Dans le système Orgeval, les sous-bassins amont d'ordre 1 (Goins) et 2 (Mélarchez) sont largement contributifs à la pollution, surtout Mélarchez qui est un bassin de subsurface possédant un temps de résidence moyen de l'eau très court (35 jours) et un taux de restitution de l'eau de pluie très élevé. Le nitrate lessivé au niveau de ces sous-bassins ne ferait pas partie d'un stock limitant, au contraire de la nitrification se produirait au printemps. En outre, les infiltrations profondes à Mélarchez sont presque inexistantes, quant à celles de Goins, elles ne sont que partiellement restituées à l'aval (Avenelles puis Theil). Mais selon la dynamique hydrologique des nappes profondes, les polluants pourraient refaire surface après un temps de latence assez long (supérieur à l'année).

La zone entièrement forestière et hydromorphe du bassin de Choqueuse n'aurait pas tendance à abattre la pollution. En effet, même si elle contribue peu au flux d'azote nitrique qui la traverse, flux provenant du sous-bassin de Goins lors d'épisodes de crue par exemple, sa contribution représente, en quantité de N-NO₃⁻, 19,5 % en plus de celle de la partie agricole (Goins). Cela est pour grande partie dû au ru de Choqueuse : trop profond et pas assez sinueux pour que l'eau puisse déborder lors de crues.

Afin de compléter les bilans en azote nitrique, il serait intéressant de comparer les flux observés aux quantités de nitrate appliquées par les agriculteurs. Ainsi, nous aurions une idée de la taille du pool d'azote nitrique dans le sol et par conséquent du reliquat entrée hiver potentiellement lessivable.

6. Références

- Arlot M.-P. (1999). Nitrates dans les eaux. Drainage acteur, drainage témoin ? Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 446 p.
- Billen G. , Garnier J. & Le Guern G. (1998). SENEQUE 1.3, notice de présentation, Programme PIREN-Seine, UMR Sisyphe.
- Bleuse N. (1999). Influence de la forêt sur l'écoulement et la qualité des eaux de deux petits bassins versants ruraux. Mémoire de Maîtrise de géographie physique, Institut de géographie - Université Paris I, 134 p.
- Lesaffre B. (1988). Fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage souterrain des sols temporairement engorgés. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie – Paris VI, *Etudes – Hydraulique agricole*, Cemagref, **4**, 334 p.
- Mariotti A. (1998). Nitrate : un polluant de longue durée. *Pour la Science*, **249**, pp. 60-65.
- Molénat J. (1999). Rôle de la nappe sur les transferts d'eau et de nitrate dans un bassin versant agricole. Thèse de doctorat de l'Université de Rennes I, 272 p.