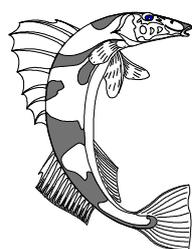


Suivi de la qualité des eaux des sources du Maine et de Plaisir Fontaine. 27 Février au 03 aout 2011.



Suivi et rapport réalisé par

CUINET Alain

DAUDEY Thomas

RAHON Julien

DAUD Jean-Baptiste

Remerciements :

Remerciements à la Fédération de Pêche du Doubs qui a bien voulu porter ce projet d'études et qui a réagi avec la célérité nécessaire à l'urgence de la problématique (merci à messieurs Lorraine et Rossignon en particulier).

Remerciements aux financeurs Agence de l'eau, Conseil Général du Doubs, Conseil Régional sans lesquels toute investigation est impossible.

Remerciements au laboratoire de Chimie de Besançon (LCE) pour son implication dans les problématiques de qualité d'eau régionale et pour les efforts tarifaires consentis en conséquence.

Remerciements à Mr Côte pour son accueil et pour sa participation à quelques prélèvements survenus aléatoirement le dimanche soir par exemple. Cette bonne volonté nous a permis d'affiner l'échantillonnage.

Remerciements à Madame De Montrichard pour son accueil et son autorisation à pénétrer dans le parc du Château de Cléron.

SOMMAIRE

1. Introduction	3
2. Contexte hydrogéologique	4
2.1. Rappel le bassin versant de la Haute-Loue	4
2.2. Le Bassin versant du Maine	7
2.2.1. Limite connues	7
2.2.2. Occupation des sols	8
2.3. Le Bassin versant du Ruisseau de Plaisirfontaine	10
2.3.1. Limite connues	10
2.3.2. Occupation des sols	11
3. Localisation des sources	12
3.1. Localisation	12
4. Matériels et Méthodes	14
4.1. Echantillonnage	14
4.2. Paramètres d'étude	14
4.3. Seuils de qualité références	15
5. Données historiques	16
6. Résultats	17
6.1. Hydrologie.....	17
6.2. Paramètres de mesures « in situ »	20
6.3. Eléments azotés	22
6.3.1. Azote Kjeldahl.....	23
6.3.2. Nitrites	30
6.3.3. Nitrates	32
6.3.4. Azote total	34
6.3.5. Devenir de l'azote dans les cours d'eau. Rôle auto-épurateur du milieu interstitiel (sédiment).....	37
6.4. Eléments phosphorés.....	41
6.4.1. Phosphates	42
6.4.2. Phosphore total	44
6.4.3. Devenir du Phosphore dans le milieu.....	46
6.5. Lien entre Formes azotées et phosphorées mesurées aux sources et dans la Loue..	47
6.6. Lien entre l'évolution des fertilisations minérales et l'évolution des concentrations mesurées à Chenecey.	53
6.7. Concentrations d'azote et de phosphore mesurées dans la Loue.	55
6.8. Appréciation des flux d'azote et de phosphore mesurés aux sources.	56
7. Synthèse	57
8. Suite à donner.....	58
9. Annexes.....	62
9. Annexes.....	63
Annexe 1 : Azote organique dans les cours d'eau franc-comtois.	63
Annexe 2. La Loue à Chenecey (résultats suivi AEP Ville de Besançon).....	64
Annexe 3. Synthèse sur l'azote et les phosphates dans la Loue.....	71

1. Introduction

Cette étude initiée par Eaux Continentales, portée par la Fédération de Pêche du Doubs et financée par l'Agence de l'Eau, le Conseil général du Doubs et le Conseil régional de Franche-Comté arrive dans le contexte particulier d'une forte altération de la qualité piscicole de la Loue associée à des mortalités importantes de truites, ombres mais aussi chabot et loche-franche.

Les hypothèses sur l'origine de ces mortalités sont en cours de validation (c'est l'un des objectifs de ce travail), mais l'ampleur du phénomène sur la Loue en termes de localisation géographique et de durée dans le temps, associée à des observations comparables sur d'autres cours d'eau franc-comtois (Doubs franco-suisse, Ain) laissent présager d'une problématique générale liée à la qualité des apports de nos bassins versants et conséquemment à la qualité de nos sources.

En effet, dans un contexte karstique profondément marqué par ses faibles capacités de filtration et sa perméabilité en grand, exurgences ou résurgences de nos bassins versants constituent une source non négligeable d'apports de nutriments ou de polluants aux cours d'eau.

Cette étude se propose donc d'explorer au mieux la qualité de 2 sources affluentes de la Loue. L'exurgence du Maine qui draine l'important bassin de Valdahon associé à une activité agricole, industrielle et de service, et l'exurgence du Ruisseau de Plaisirfontaine qui draine un bassin à vocation exclusivement agricole.

Le bassin versant de Plaisirfontaine est suivi parallèlement par la Chambre d'Agriculture du Doubs. Il est donc bien connu en termes d'occupation des sols et de pratiques agricoles. Des comparaisons seront donc menées entre nature des apports, amendements, fertilisation et qualité des eaux à la source. La concentration des formes azotées et phosphorées sera discutée. Une ébauche de la notion de flux sera produite (hélas en l'absence de mesure de débit et sur la base de hauteurs d'eau relevées associées à des débits évalués. (Ces débits sont recalés par rapport à quelques jaugeages Conseil général du Doubs).

Par ailleurs la comparaison de la qualité des eaux des deux sources se proposera d'apporter des éléments pertinents en termes d'impact des différentes activités

2. Contexte hydrogéologique

2.1. Rappel le bassin versant de la Haute-Loue

La haute vallée de la Loue s'est formée sur un sous sol de nature karstique. La géomorphologie du bassin a été conditionnée par les zones tabulaires (plateaux) et les zones plissées (faisceau) dans lesquelles la Loue et ses affluents ont creusé leur lit. La particularité du système karstique confère aux cours d'eau une capacité de drainage différente du simple bassin topologique.

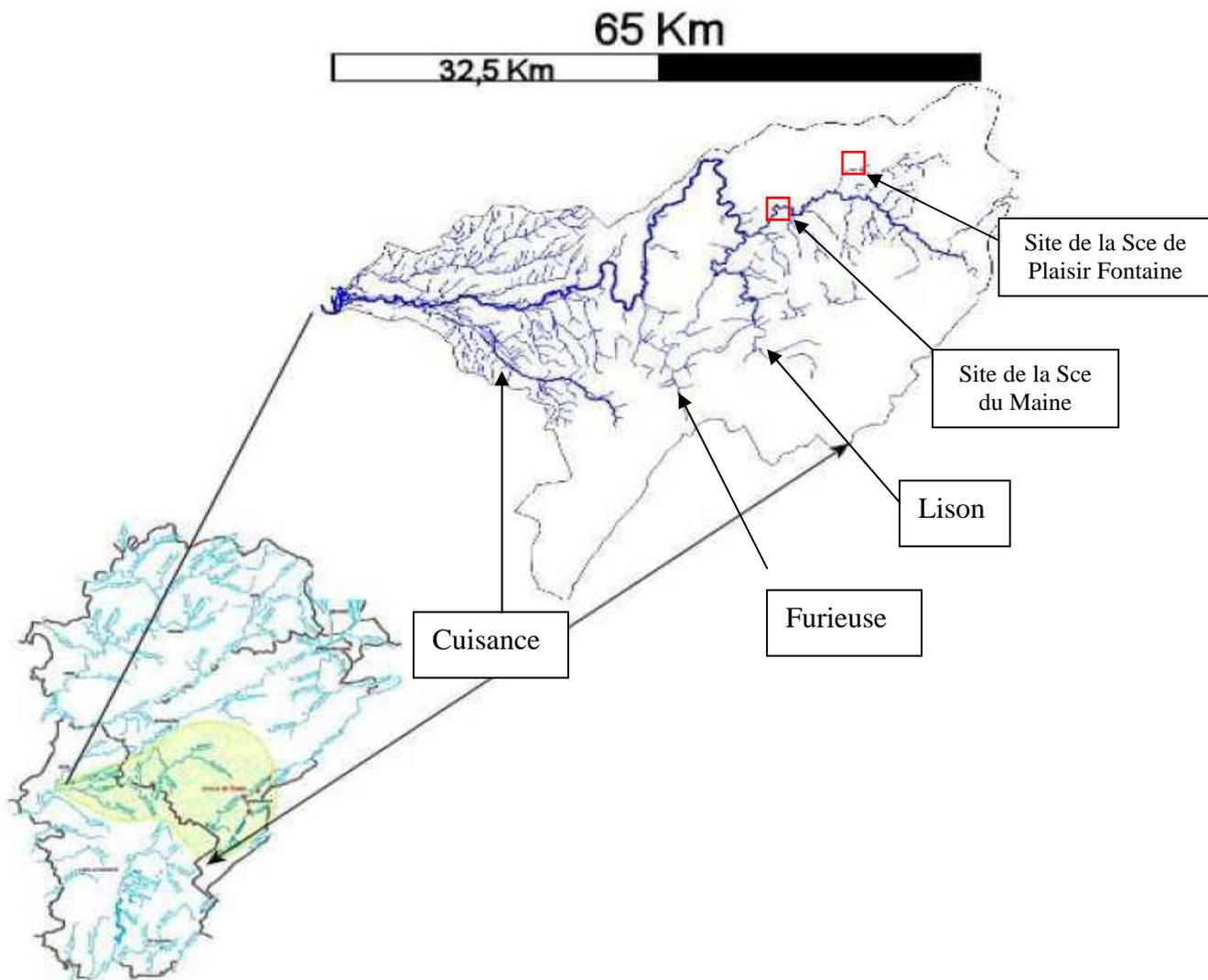
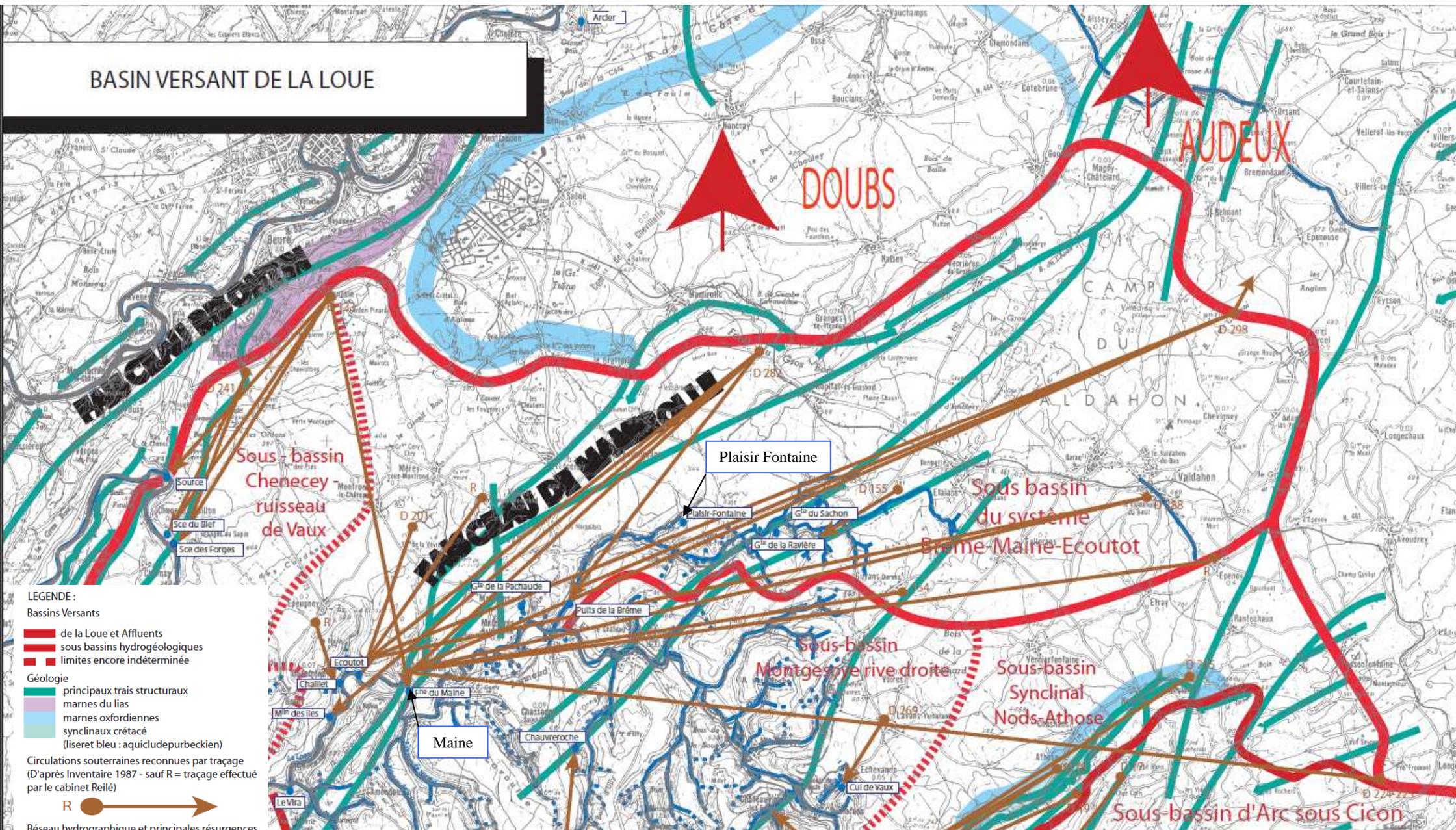


Figure 1 : Localisation du bassin versant de la Loue en Franche Comté (FROSSARD, 2006).



BASIN VERSANT DE LA LOUE

- LEGENDE :**
- Bassins Versants**
 - de la Loue et Affluents
 - sous bassins hydrogéologiques
 - - - limites encore indéterminée
 - Géologie**
 - principaux traits structuraux
 - marnes du lias
 - marnes oxfordiennes
 - synclinaux crétacé (liseret bleu : aquicludepurbeckien)
 - Circulations souterraines reconnues par traçage**
(D'après l'inventaire 1987 - sauf R = traçage effectué par le cabinet Reillé)
 - R
 - Réseau hydrographique et principales résurgences**
 - Sce du Maine

Figure 2 : Bassin Versant hydrogéologique des affluents de la Haute Loue en Rive droite

2.2. Le Bassin versant du Maine

2.2.1. Limite connues

Bibliographie Pascal Reilé Karstologia Mémoires n° 19 Grottes de karsts de France Université de Nice Sophia antipolis 2010 (p272 p 273)

Faisceau et premiers plateaux. Le système Brême-Maine-Écoutôt

Les écoulements souterrains du premier plateau dans les secteurs d'Ornans et de Montrond-le-Château convergent vers un système à la dynamique complexe, drainé par trois émergences étagées : l'étonnant puits de la Brême, ainsi que les sources du Maine et de l'Écoutôt en fond de la vallée de la Loue.

La partie occidentale du plateau est drainée vers la source d'Arcier, en bord du Doubs (*figure 2*).

Le premier réseau à l'est draine les pertes du poljé de Passonfontaine, du val du Dahon (gouffre de Champ Montant), du gouffre du Leubot (Gonsans) ainsi que les gouffres de Poudrey, du Paradis, et de Lachenau (Trepot) Ce drain longe un faisceau structural jusqu'à la source du Maine (*fig. 5*), reconnue en plongée sur près de 1 km [1].

Le puits de la Brême, cheminée d'équilibre du système, fonctionne en inversac. Il déborde lors des crues et absorbe le reste du temps.

Le second réseau draine le plateau de Montrond, où s'ouvrent la grotte des Cavottes (3,3 km), les pertes de la Belle Louise et des Cloutiers, et plus à l'aval la grotte des Chaillets (9,5 km) récemment découverte. La source de l'Écoutot, plongée sur 1 km, en est l'exutoire. Ce second réseau suit un grand décrochement qui a guidé aussi bien les anciens drains fossiles perchés que l'écoulement actuel.

Le débit cumulé de ce système est de 29, 1 m³/seconde

Le débit minimal est de 0.4 m³/seconde

Le débit spécifique est de 30l/s /km² *

Le bassin versant est d'environ 60 km²

Les traçages réalisés sur ce système ont été validés par de nombreux essais réalisés par le Cabinet REILE. Les derniers en date intègrent le secteur des Cloutiers (Loi eau assainissement Tarcenay), Villers sous Montrond (Loi sur eau assainissement Villers) sur la surface de MONTROND. Dans le cadre de la réduction des décharges, un traçage réalisé au Gratteris prouve la correspondance de cette bordure du faisceau mamirollais avec le puits de la Brême. Le traçage réalisé à Fontain et associé au bassin versant est totalement faux.

2.2.2. Occupation des sols

Les informations sur les pratiques agricoles données ci-dessous sont issues de la chambre d'agriculture du Doubs (TOURENNE D., 2011)

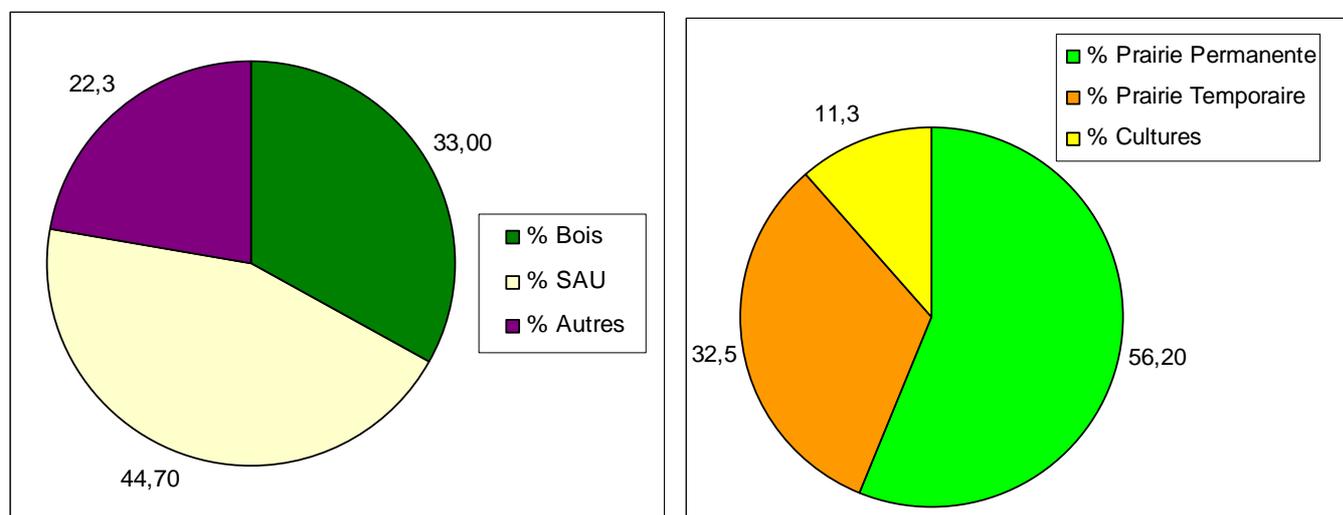


Figure 3 : Occupation du sol et répartition des surfaces agricoles sur le bassin Brème – Plateau de Valdahon

La forêt recouvre un tiers des surfaces du bassin. 44,7% des terres sont destinées à l'agriculture. La Surface Agricole Utile est partagée entre les prairies (temporaires et permanentes) qui représentent 88,7% et les cultures qui sont installées sur 11,3%. Les prairies sont destinées à la fauche et au pâturage du bétail. Le chargement est de 0,92 UGB/ha.

Remarque : La notion de prairie permanente et temporaire restera à préciser dans l'étude à venir des différents bassins versants car elle n'est pas sans conséquence sur les problématiques à la fois de lessivage et de ruissellement.

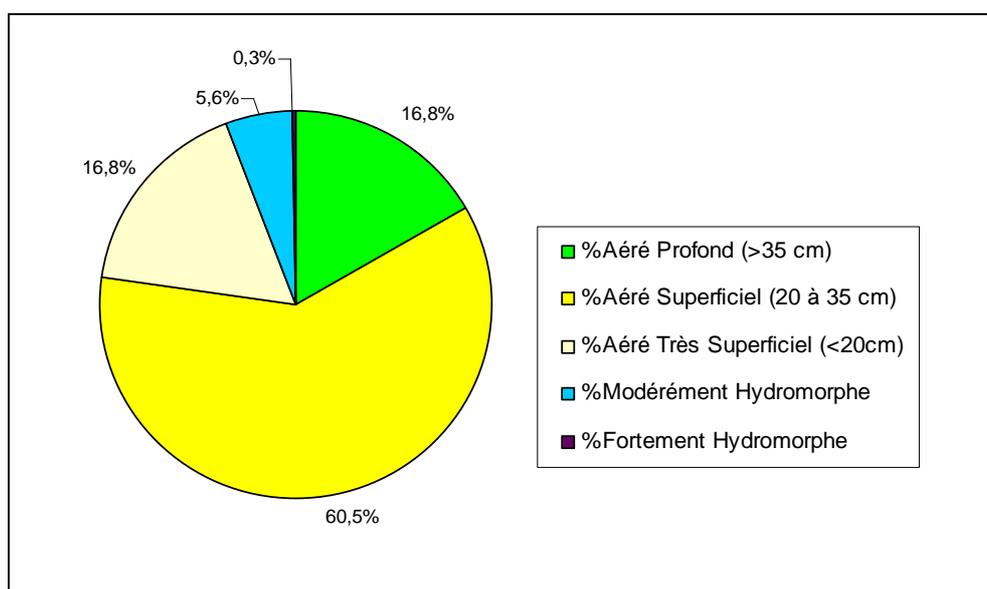


Figure 4 : Qualité des sols du bassin Brème – Plateau de Valdahon

Les sols de bonnes qualités (> à 35 cm de profondeur) sont peu représentés (16,8%). Le manque de profondeur de sol sur le bassin est une limite pour l'exploitation de cultures. Les parcelles les plus profondes sont également les plus aptes à conserver dans le sol, les engrais minéraux et les épandages de lisiers. 60,5 % des sols sont superficiels (20 à 35 cm) et sont essentiellement occupés par les prairies (Ca 25). Sur ces parcelles, les doses conseillées pour les épandages et les apports en éléments fertilisants sont plus faibles afin d'optimiser la rétention dans le sol et réduire les risques de lessivages. Les sols de faibles profondeurs (< à 20 cm) disposent du même pourcentage de représentation que les sols profonds (soit 16,8%). Ils présentent des situations peu favorables aux épandages.

2.3. Le Bassin versant du Ruisseau de Plaisirfontaine

2.3.1. Limite connues

Cette cavité et son ruisseau possèdent un système et un bassin quasiment inconnu. Son alimentation n'a été reconnue que par une expérience de traçage réalisée lors de la mise en place de la Zone d'Activité de L'Hôpital du Grosbois . (cabinet Reilé – Communauté de commune d'Ornans)

Contrairement à une idée admise empiriquement par les agriculteurs locaux, le Gouffre de Poudrey n'est pas en relation avec cette émergence de Plaisirfontaine mais avec le système Brema Maine Ecoutot (Capture de bassin)

Il n'existe pas d'infiltration d'eau en grand. Le système est donc unaire et draine le massif calcaire résiduel compris dans le triangle : Sud de Hôpital du Grosbois, Foucherans et Plaisirfontaine). Son bassin n'est connu qu'en superposant les limites du bassin du Système Brema Maine Ecoutot.

Les explorations montrent un système fonctionnel de grande dimension se développant dans des séries du Jurassique Supérieur. (Rauracien). Le développement des galeries est de 1100 m sur un axe de fracturation Nord Nord Est constant. Malgré la sur-dimension de son porche d'entrée, ce drain est résiduel à l'image de son bassin remanié et tronqué par une tectonique tardive.

Son bassin hydrogéologique tronqué comporte de nombreuses inconnues et possède une étendue d'environ 9 à 10 km²

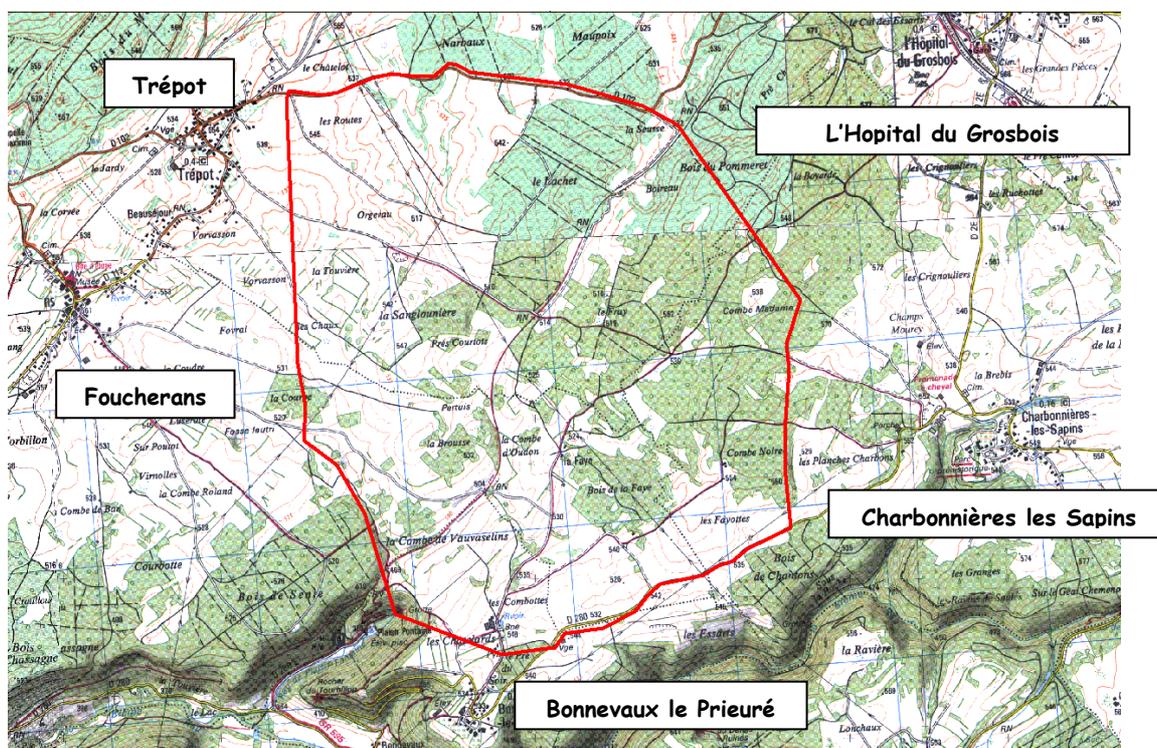


Figure 5 : Bassin versant topographique de la source de Plaisir Fontaine (TOURENNE D & COSTILHES F., Chambre d'agriculture, 2011).

2.3.2. Occupation des sols

Le bassin versant de Plaisir Fontaine représente une surface de 937,5 ha. La forêt occupe 38% et la Surface Agricole Utile, 62%. Les villages et les bâtiments d'exploitations agricoles sont situés à l'extérieur du périmètre du bassin. Aucune activité industrielle n'est représentée. (TOURENNE D & COSTILHES F., Chambre d'agriculture, 2011).

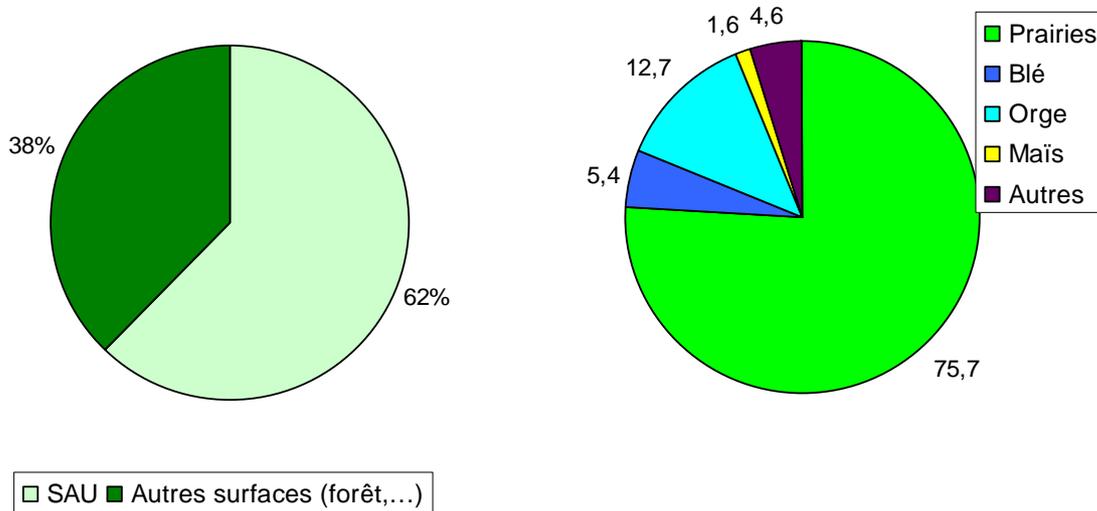


Figure 6 : Occupation du sol sur le Bassin de Plaisir Fontaine et répartition des surfaces agricoles

Les prairies permanentes et temporaires dominent et recouvrent 75 % des terres agricoles. Les cultures sont bien représentées avec près de 25 % de la surface agricole.

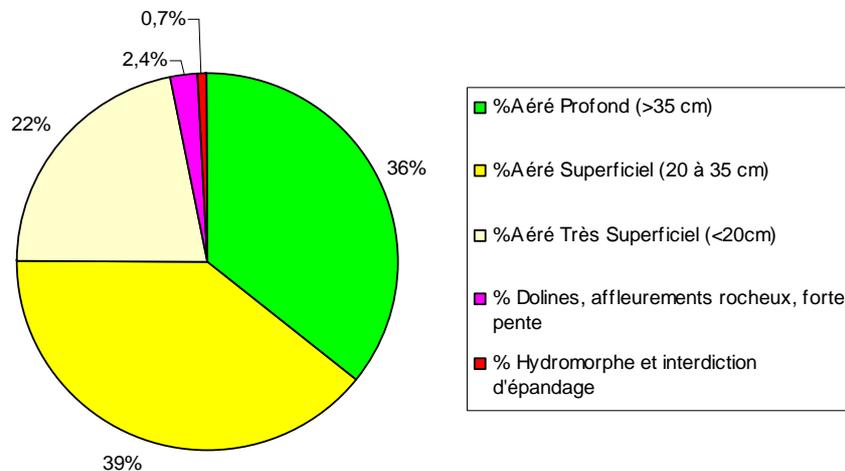


Figure 7 : Qualité des sols du bassin de Plaisir Fontaine

36% des sols sont aérés et profonds (> à 35 cm). Ces bonnes qualités permettent l'exploitation de cultures. Ces propriétés permettent au bassin de Plaisir Fontaine d'avoir un parcellaire en culture développé. L'occupation par les cultures (soit 25%) représente plus du double du pourcentage d'occupation observée sur le bassin Brème – Plateau de Valdahon (11,3%). Ces sols sont également plus propices à recevoir les épandages organiques et les engrais minéraux, par rapport aux sols moins profonds. 22% des parcelles ont des sols très superficiels. Les épandages préconisés sur ces sols se limitent aux fumiers.

3. Localisation des sources

3.1. Localisation

Pour plus de commodités les deux exurgences seront appelées sources dans l'ensemble du document.

3.1.1. La source de Plaisirfontaine

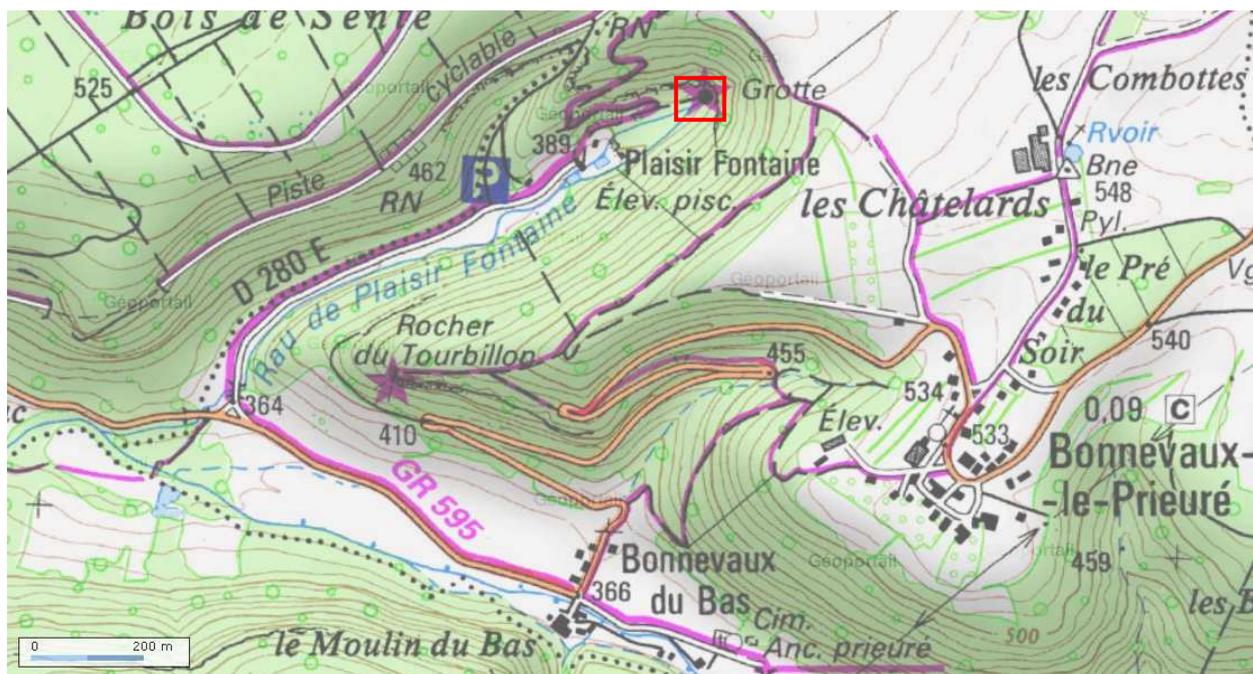


Figure 8 : Localisation de la source de Plaisir Fontaine

La source de Plaisir Fontaine se situe sur la commune de Bonnevaux-le-Prieuré. Elle apparaît au fond d'une grotte bien conformée à l'amont du site de la pisciculture Côte.

Le point de prélèvement se localise à la sortie de la grotte quelques dizaines de mètres à l'aval de l'exurgence. L'analyse intègre donc une certaine oxygénation liée à ce parcours aérien.

Après un parcours d'environ 1 kilomètre, le ruisseau de Plaisir Fontaine se jette dans la Brême en rive droite. La Brême est elle-même un affluent rive droite de la Loue qui conflue à l'aval proche de la Ville d'Ornans.

3.1.2. La source du Maine

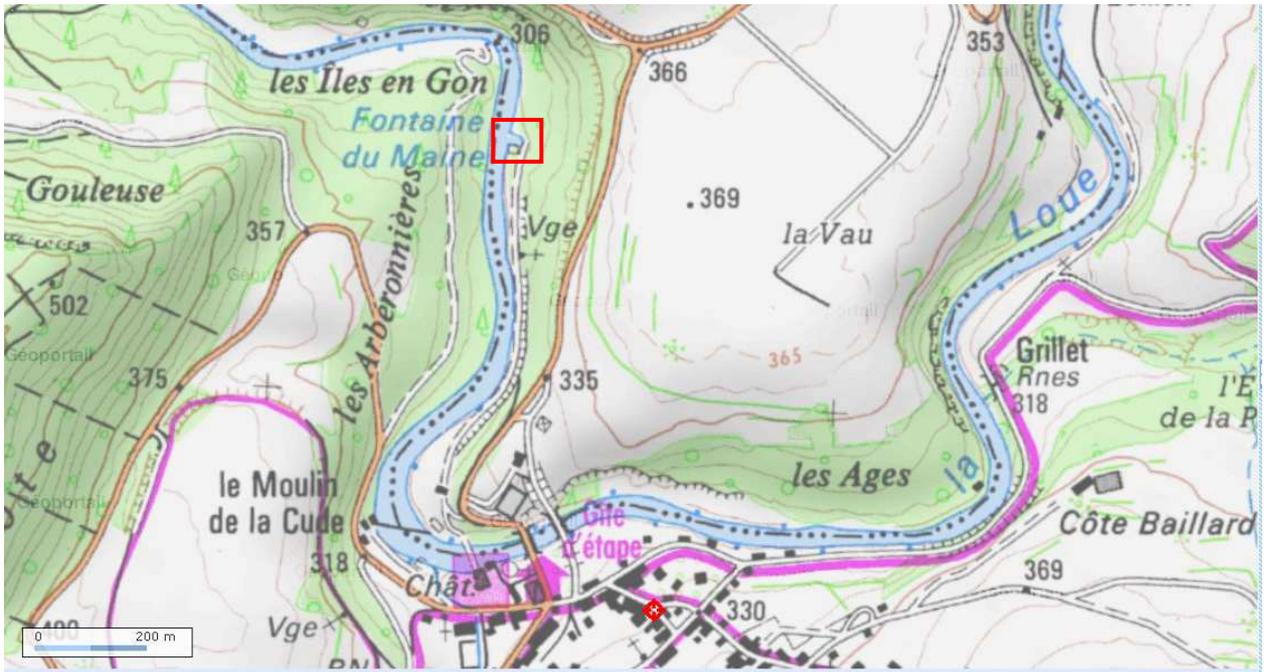


Figure 9 : Localisation de la source du Maine

La source du Maine émerge sur la commune de Scey-en-Varais dans le Parc du Château de Cléron. L'émergence s'effectue en plusieurs points en rive droite entre les bancs de roches avec un parcours aérien d'une quarantaine de mètres avant la confluence avec la Loue. Elle émerge également quelques dizaines de mètres à l'amont directement en rive droite dans le lit mineur de la Loue et en rive gauche. Les débits estimés et mesurés au point d'émergence sont donc des débits partiels qui semblent représenter cependant l'essentiel des apports.

4. Matériels et Méthodes

4.1. Echantillonnage

L'échantillonnage s'est poursuivi du 27 février au 3 août 2011. La fréquence des analyses a varié en fonction des conditions hydrologiques. Les périodes de lessivage des sols et de montées des eaux ont fait l'objet de prélèvements plus nombreux sur un pas de temps resserré. Les valeurs maximales mesurées sont conservées dans les graphiques.

Un prélèvement est constitué de deux flaconnages, un destiné aux analyses par photométrie réalisé dans notre laboratoire de Chay et l'autre destiné au laboratoire de chimie de Besançon. Le flaconnage est rempli dans la veine de courant principal et refermé sous la surface de l'eau pour éviter le contact à l'air.

4.2. Paramètres d'étude

Le suivi physico-chimique des eaux a été établi à partir de 12 composantes.

Tableau 1 : Composantes physico-chimiques analysées

Mesures « in situ »	La température (°C)
	L'oxygène dissous (O ₂)
	Le pourcentage de saturation en O ₂
	Le pH
	La conductivité (µSiemens)
Mesures « laboratoire »	Azote Kjeldahl (NK)
	Ammonium (NH ₄ ⁺)
	Nitrite (NO ₂ ⁻)
	Nitrates (NO ₃ ⁻)
Matières Azotées	
Matières Phosphorées	Phosphates (PO ₄ ³⁻)
	Phosphore Total (P tot)

Les paramètres « in situ » ont été mesurés à partir de sondes et d'un appareil de lecture portatif HACH, dûment étalonné.

L'analyse de l'ammonium, des nitrites, des nitrates, des phosphates et des matières en suspension est réalisée avec un photomètre Merck SQ118. Le principe consiste à comparer la pénétration de la lumière pour un échantillon témoin (eau distillée) avec celle de l'échantillon récolté. Des réactifs sont ajoutés en fonction du paramètre d'analyse pour permettre le test colorimétrique. Les cuves en verre de 50 mm ont été utilisées pour affiner la précision des résultats.

L'Azote Kjeldahl et le Phosphore total ont été fixés à l'acide sulfurique concentré dans un flaconnage séparé avant d'être portés à l'analyse au laboratoire SERAC LCE de Besançon. Ceci nous a permis de limiter les frais kilométriques inhérent au dépôt des échantillons.

Afin de caractériser les épisodes hydrologiques, en vue de les coupler avec les résultats physico-chimiques, des paramètres complémentaires ont été récoltés. Le débit de la Loue à Vuillafans a été enregistré à partir des sites internet d'Hydroréel et de la Banque Hydro.

(www.rdbmrc.com/hydroreel2 et www.hydro.eaufrance.fr). Les niveaux d'eau des sources ont été mesurés sur une mire placée sur un point repère fixe, pour la durée d'étude.

4.3. Seuils de qualité références

Des valeurs représentatives d'eaux de sources naturelles exemptes de pollution, en massif karstique, ont été recherchées afin d'avoir une aide à l'interprétation des résultats. Les classes de qualité proposées par Nisbet et Verneaux (1970) ont été établies sur une base de 1200 analyses récoltées sur le territoire national entre 1960 et 1970. **La classe de valeur rencontrée pour les zones de sources en milieu calcaire, est retenue comme une indication de qualité attendue et dépourvue d'altération.**

Les seuils références de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) fixent un cadre législatif. Dans l'objectif du Bon Etat Ecologique des masses d'eau d'ici 2015, les éléments chimiques et physicochimiques, doivent respecter le seuil de qualité défini dans la colonne du Bon Etat, selon l'Arrêté du 25 janvier 2010. (Notons que ces seuils n'intègrent pas de particularités pour les sources non plus que pour la typologie des cours d'eau).

L'ancienne classification SEQ Eau est également utilisée dans cette étude, à titre comparative et pour les seuils établis sur le paramètre d'Azote Kjeldahl (NK), **abandonné dans la grille DCE.**

Tableau 2 : Classes de qualité des paramètres physico-chimiques, selon les différents référentiels

Référence	Nisbet Verneaux	TB état DCE	Bon état DCE	Aptitude à la biologie		
				TB SEQ	B SEQ	M SEQ
PO4 3- [mg/l]	0,01	0,1	0,5	0,1	0,5	1
Ptot [mg/l]		0,05	0,2	0,05	0,2	0,5
NO3- [mg/l]	1	10	50	2		
NO2- [mg/l]	0,01	0,1	0,3	0,03	0,3	0,5
NH4+ [mg/l]	0,01	0,1	0,5	0,1	0,5	2
NK [mg/l]				1	2	6
COND [µSiemens]	200 à 300					
pH	7 à 7,5	6,5 à 8,2	6 à 9			
% Saturation O2		90	70	90	70	50

Ces références de seuils de qualité sont symbolisées sur les graphiques de résultats par des lignes horizontales de couleurs.

5. Données historiques

Les « recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs » VERNEAUX (1973) ont intégré certaines composantes de la qualité physico-chimiques des eaux. Les résultats sur les sources exurgences et résurgences des principaux cours d'eau du bassin du Doubs ont été rappelés dans le tableau suivant. Ils correspondent aux moyennes diurnes des analyses mensuelles réalisées entre juillet et octobre (étiage), des années 1967 à 1972.

Tableau 3 : Résultats physico-chimiques sur les sources de cours d'eau franc comtois (VERNEAUX 1973).

Paramètres	S1 Doubs	S36 Drugeon	S42 Dessoubre	S47 Allaine	S55 Audeux	S60 Cusancin	S64 Loue	S81 Lison	S86 Furieuse	S95 Cuisance	S103 Doulonnes	S106 Clauge
pH	7,4	7,1	7,8	8	7,7	7,7	7,2	8	7,6	7,7	6,6	6,1
Cond (µmhos/cm/cm 2)	310	254	500	446	410	460	310	342	340	380	121	11
Ca Mg (mg/l)	70	72	100	110	100	98	110	89	93	90	28	8
H CO 3- (mg/l)	224	174	293	325	305	275	275	276	261	268	72	12
Cl- (mg/l)	4,3	2	2	3,2	1	2,1	10,5	2,2	2	0,7	8,4	1,1
SO4 2- (mg/l)	4	4	9	1	3	1	3	9	6	4	3	3
PO4 3- (mg/l)	0,01	0,13	0,15	0,51	0,7	0,78	0,03	0,08	0,51	0,31	0,1	0,15
NO3- (mg/l)	0,3	0,6	0,29	4	0,28	1,75	2,7	1,4	1,2	0,14	0	0,02
NO2- (mg/l)	0	0,01	0,05	0,07	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0	0,03	0,02
NH4+ (mg/l)	0	0,25	0	0,02	0,1	0	0	0,26	0,4	0,38	0,03	0,02
O2 (mg/l)	11	7,8	9,5	9,7	9,1	8,5	9,5	10,4	8,2	9,3	6,4	6,2
% O2	100	78	95	88	85	76	87	96	82	74	57	66
Oxydabilité (mg/l)	0,8	6,4	0,3	0,4	2,5	0,2	0,5	1	0,3	0,3	0,6	2,5
DBO5 (mg/l)	1,6	1,3	2,7	1,2	2,8	1,2	2,3	2	1,9	2	3	2,1

En vert : les sources jugées contaminées en 1973. En bleu les valeurs de références.

« Au niveau des exurgences et résurgences, dont les bassins d'alimentation sont très étendus et contaminés par de nombreux exutoires (Dessoubre, Allaine, Audeux, Cusancin, Furieuse, Cuisance) les teneurs en nitrites, nitrates, phosphates sont souvent plus élevées que sur les autres sources. (VERNEAUX, 1973).

Le Doubs affichait une source exempte de pollution avec des concentrations en azote et en phosphore faibles. Les autres stations montraient des signes de contamination par les activités anthropiques. **Les phosphates constituaient le paramètre le plus dégradant pour la qualité de l'eau.** Le rejet des eaux usées, l'usage abusif d'engrais et de détergents contribuaient à une teneur élevée de ces concentrations. L'ammonium constituait également un facteur d'enrichissement du milieu. Des teneurs excessives s'observaient aux sources du Drugeon, du Lison, de la Furieuse et de la Cuisance. Cette forme réduite de l'azote résulte de la dégradation de matières issues de pollutions organiques. Les Nitrates étaient retrouvés seulement sous forme de traces aux sources. **La moyenne maximum observée était de 4 mg/L de NO3- à la source de l'Allaine.** Les intrants agricoles sous forme de nitrates ne se faisaient pas ressentir sur la qualité des eaux, à cette période.

6. Résultats

6.1. Hydrologie

Le suivi des paramètres physico-chimiques sur les sources a été complété par des données sur les débits et des niveaux d'eau. Les mesures hydrométriques de la station de Vuillafans sur la Loue servent de repère général sur les variations d'eau durant la campagne. Elles donnent la tendance des fluctuations rencontrées aux périodes d'analyses.

Il apparaît que les réactions de débits sur les sources du Maine et de Plaisir Fontaine peuvent être d'intensités variables l'une par rapport à l'autre mais aussi par rapport à la Loue.

La période estivale est en particulier propice aux orages locaux dont les précipitations ne se répartissent pas de façon homogène sur les bassins versants.

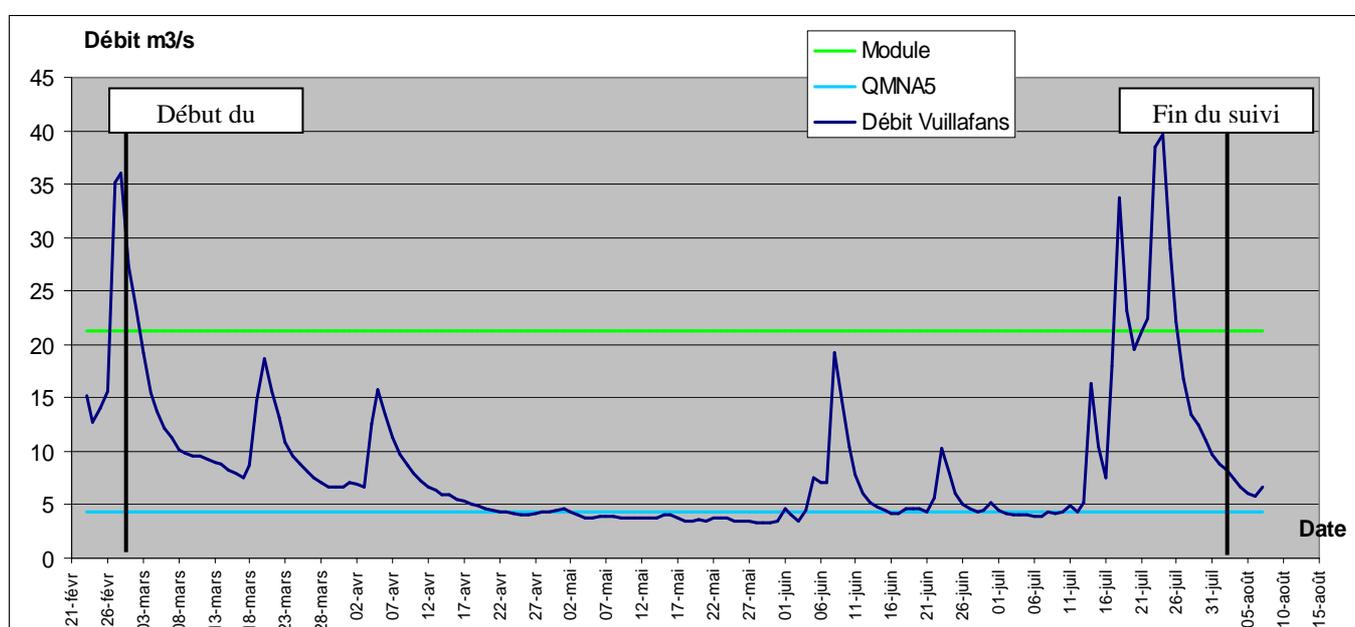


Figure 10 : Evolution du débit de la Loue à la station hydrologique de Vuillafans entre le 23/02/2011 et le 7/08/2011

Les analyses sur la source du Maine ont débuté le 27 février. Elles surviennent en début de phase de décrue suite à un épisode hydrologique assez intense et culminant à 35 m³/s à Vuillafans. La fin de l'hiver et le début du printemps montrent deux autres montées des eaux significatives mais moins importantes (inférieures au module : niveau moyen interannuel) sur la Loue. Le printemps est ensuite marqué par une sécheresse longue, entraînant des débits d'étiage marqués durant un mois et demi (proche du QMNA5). La pluviométrie du mois de juin permet une recharge temporaire en eau avec deux épisodes de montées des cours d'eau qui laissent la Loue à un niveau inférieur au Module. Un nouvel étiage de 2 semaines est ensuite observé avant l'installation d'une période pluvieuse et des débits élevés durant les deux dernières décades de juillet.

Les phénomènes de crue sont assez brutaux avec des phases de montées sur 1 ou 2 jours, suivies de décrues à peine moins rapides.

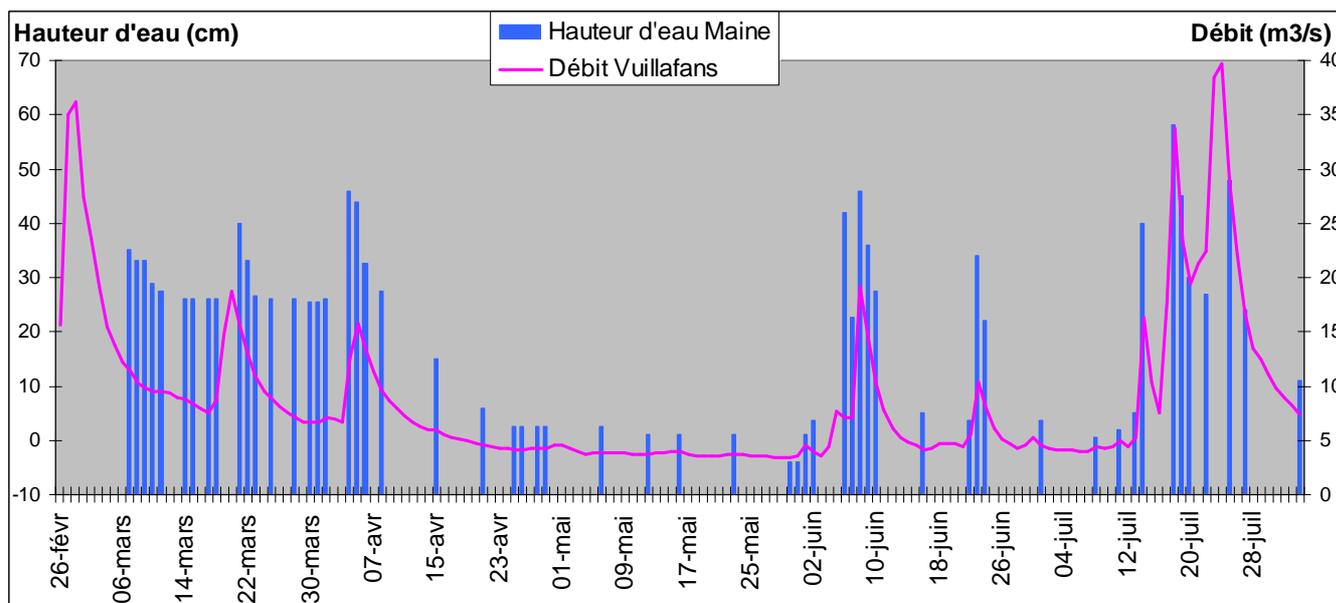


Figure 11 : Evolution des hauteurs d'eau de la source du Maine, aux dates d'analyses.

Les échelles de mesures placées aux sources permettent d'évaluer le niveau d'eau aux dates de prélèvements. Les mesures ne respectent pas un pas de temps assez proche et continu pour établir une courbe. Elles sont donc représentées sous forme d'histogramme. Le régime de la source fournit une chronique et une réponse aux épisodes de pluviométrie comparable à ceux observés sur la Loue. La fin de l'hiver est marquée par des hauteurs d'eau moyennes. Le printemps et le début de l'été sont caractérisés par un long étiage, entrecoupé de deux pics de crue au mois de juin. Les deux dernières décades de juillet ont comporté des points d'échantillonnage sur les hauteurs d'eau les plus hautes rencontrées durant la campagne.

L'échantillonnage à la source du Maine a permis d'encadrer correctement les fluctuations de débits. Les pics apparaissent évidemment plus tamponnés sur la source du Maine que sur la Loue. L'échantillonnage régulier en période d'étiage correspond à des périodes de débits stabilisés.

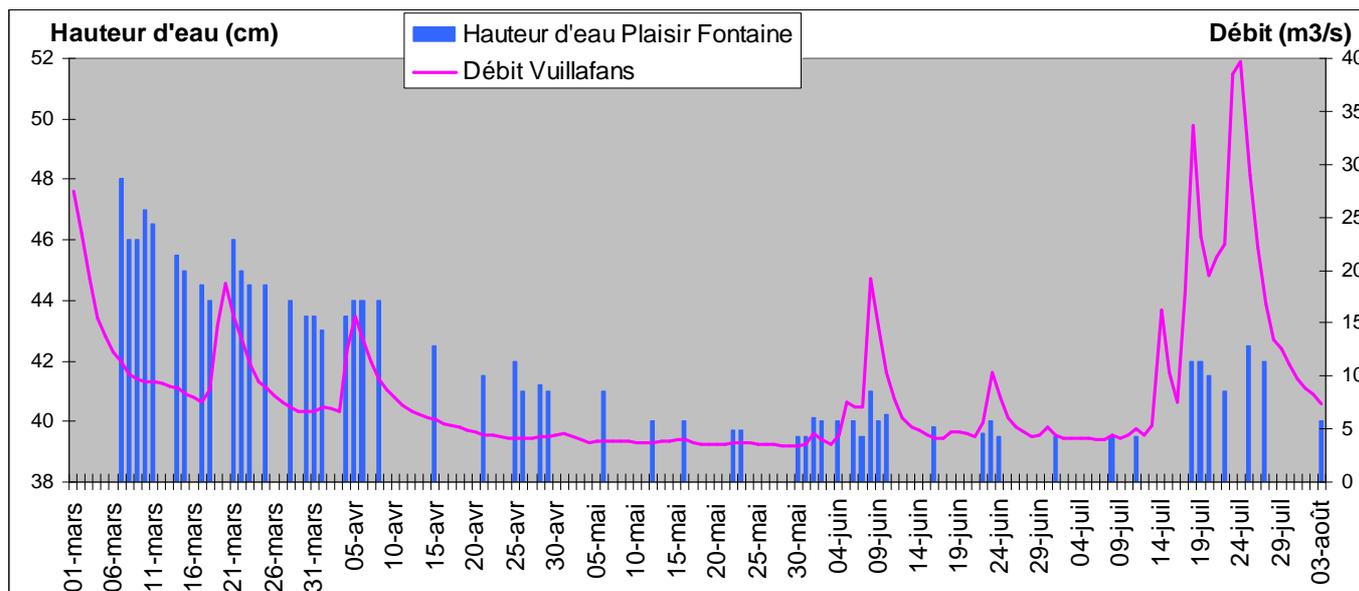


Figure 12 : Evolution des hauteurs d'eau de la source de Plaisir Fontaine, aux dates d'analyses

L'évolution des hauteurs d'eau de la source de Plaisir Fontaine (dont on le rappelle le bassin versant est beaucoup moins étendu) présente moins d'amplitude que celle du Maine et s'observe sur une dizaine de centimètres.

Les phénomènes hydrologiques de crues sont cependant concordants, avec peut-être un tarissement plus lent observé en particulier sur la période d'étiage de mi-avril à fin-mai.

Les réactions brutales du cours d'eau sont rares (faible superficie du bassin-versant, épaisseur des sols....). Il faut des apports pluvieux conséquents avant de voir la source réagir par une montée significative du niveau (Com. Pers. Mr. Cote)

Hydrologiquement parlant et pour considérer les résultats d'analyse sous un angle fonctionnel nous isolerons 5 périodes distinctes dans notre suivi.

Du début de l'analyse au 12 avril. Période de pluviométrie et de débit décroissant mais encore soutenu par des crues moyennes.

Du 12 avril au 29 mai. Période de fin de tarissement et d'étiage.

Du 30 mai au 1^{er} juillet. Petites crues estivales

Du 1^{er} juillet au 12 juillet. Etiage estival

Du 13 juillet au 5 août. Crue marquée.

6.2. Paramètres de mesures « in situ »

L'hydrologie a conditionné la fréquence de l'échantillonnage. Chaque point observé sur les graphiques ci après correspond à une analyse. L'écart maximum entre deux interventions est d'une semaine. Les mouvements hydrologiques ont été caractérisés par des prélèvements effectués sur un pas de temps resserré. Certains jours ont fait l'objet de 3, voir 5 prélèvements (1^{er} juin), dans l'objectif de détecter les pics de pollution et les concentrations maximales véhiculées par les sources.

Les paramètres mesurés avec les sondes portatives, directement aux sources, sont la Température, l'Oxygène, le Pourcentage d'Oxygène, le pH et la Conductivité.

Tableau 4 : Valeurs extrêmes des paramètres de terrain à la source du Maine

	Température °C	Oxygène (mg/L)	% Saturation	p H	Conductivité (µSiemens)
Minimum	8,6	8,21	76,4	7,22	466
Maximum	11,5	10,8	91,4	7,65	525

Tableau 5 : Valeurs extrêmes des paramètres de terrain à la source de Plaisir Fontaine

	Température °C	Oxygène (mg/L)	% Saturation	p H	Conductivité (µSiemens)
Minimum	9	10,44	98,3	7,6	433
Maximum	10,7	11,38	103,9	8,05	485

Température

Les températures mesurées à la sortie du karst, sont nécessairement tempérées par leur parcours souterrain. Conformément aux attentes, elles ne présentent pas de grandes variations dans le temps et sont restées fraîches durant toute la période de suivi. Elles oscillent entre 9 et 10,7°C à Plaisir Fontaine et entre 8,6 et 11,5°C au Maine. Elles apparaissent donc comme plus tamponnées sur Plaisir Fontaine.

On note par ailleurs que eu égard à son débit, l'apport du Maine est certainement significatif et contribue à définir à l'aval de Cléron une température et une typologie caractéristique de la zone à Ombre.



Mélange des eaux Loue Maine en eau moyenne.
Importance relative du débit du Maine estimée à l'œil à plus du ¼ du débit de la Loue.

Oxygène et % de saturation

La gamme de valeurs observée sur le Maine est légèrement inférieure à celle de Plaisir Fontaine.

Pour cette dernière, les prélèvements sont effectués une cinquantaine de mètres après la résurgence même qui s'observe au fond de la grotte. Cette période de contact eau-air associée à une pente naturelle favorable assure une oxygénation rapide du ruisseau à sa sortie du karst.

La source du Maine quand à elle apparaît comme sous-saturée en O₂ en permanence. En dehors d'une possible différence de circulations souterraines (pente, nature des cavités, siphons etc..), le prélèvement est effectué au point même de la résurgence et cette différence suffit à expliquer les observations.

Quoiqu'il en soit et sur les deux sources, les températures constamment fraîches permettent de fixer des concentrations d'O₂ correctes et immédiatement compatibles avec les exigences salmonicoles.

pH

Le substratum calcaire définit la présence d'une eau dure, avec des pH supérieurs à 7. Les sources affichent des teneurs relativement constantes au fil de l'étude. La source du Maine enregistre des pH variant le plus souvent entre 7,35 et 7,45. Celle de Plaisir Fontaine entre 7,7 et 7,8.

Conductivité

La conductivité est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous ; elle constitue une bonne indication du degré de minéralisation des eaux.

La conductivité fluctue peu sur nos deux cours d'eau. Elles se situent entre 433 à 485 µS à Plaisir Fontaine et entre 466 et 525 µS au Maine.

NISBET & VERNEAUX donnaient 200 et 300 µS comme référence pour les zones supérieures et moyennes des cours d'eau en région calcaire.

Par ce simple paramètre, nos deux sources paraissent comme en permanence excessivement chargées en sels dissous dont une part peut être liée aux transferts de nutriments azotés et phosphorés.

6.3.Eléments azotés

L'azote organique

C'est celui qui est intégré à des macromolécules organiques plus ou moins complexes résultant de la décomposition des matières végétales, animales ou microbiennes (protéines, acides nucléiques, amino-sucres, formes complexées avec la lignine...). Ces formes ne sont généralement pas assimilables par les végétaux sauf les très petites molécules comme l'urée.

Azote minéral (ammonium, nitrites, nitrates)

La transformation des substances organiques se traduit par l'apparition des formes azotées minérales; la présence d'ammonium (NH_4^+), de nitrites (NO_2^-) et d'azote organique en quantité importante a souvent pour origine des rejets domestiques, agricoles ou industriels.

A la faveur de l'auto épuration, dans les milieux convenablement oxygénés, les formes réduites évoluent rapidement en nitrates (NO_3^-), stade ultime d'oxydation. Des apports directs, notamment sous forme de nitrates, peuvent également provenir du lessivage des sols et de l'entraînement des engrais. Les valeurs normales dans l'eau, hors pollution, se situent respectivement à (NISBET & VERNEAUX, 1970) :

- NH_4^+ : de quelques 1/100e à 0,1 mg/l ;
- NO_2^- : quelques 1/100e de mg/l ;
- NO_3^- : moins de 3 mg/l.

6.3.1. Azote Kjeldahl

L'azote Kjeldahl (NK) intègre la forme organique de l'azote et l'élément Ammonium (NH₄⁺).

L'azote Kjeldahl et en particulier l'azote organique n'a pas fait l'objet d'études et commentaires par Nisbet-Verneaux en 1970.

Régulièrement suivi dans les anciens réseaux de qualité ce paramètre a été abandonné au moment de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau.

Nos commentaires se rapporteront donc aux anciennes références SEQ-Eau complétées des appréciations des anciennes grilles de qualité.

Le Très bon état SEQ Eau (<ou = 1 mg/L) correspond à la Situation normale des anciennes grilles (RNB).

Le Bon état SEQ Eau (compris entre 1 et 2 mg/l) correspond à une pollution modérée des anciennes grilles (RNB).

L'état moyen du SEQ Eau (compris entre 2 et 4 mg/l) correspond à une pollution nette (<3 mg/l) à importante (>3 mg/l) des anciennes grilles RNB.

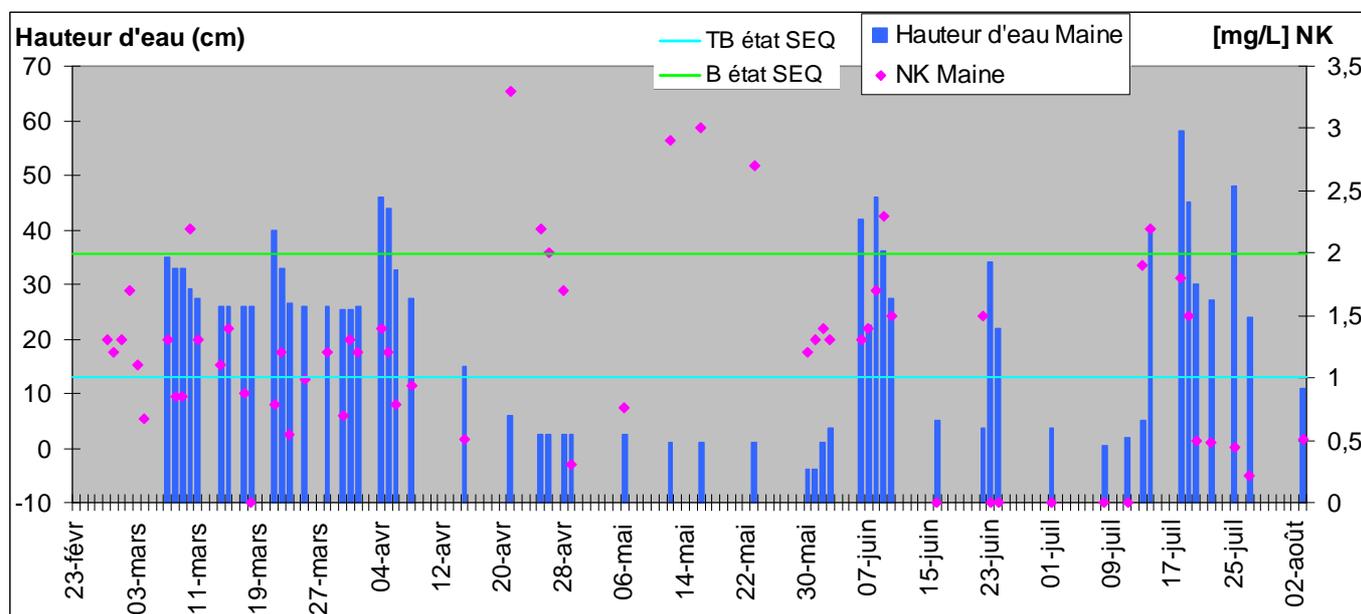


Figure 13 : Concentrations en Azote Kjeldahl et hauteurs d'eau à la source du Maine

Le début de la campagne d'analyse, sur le Maine, a révélé des teneurs s'échelonnant essentiellement entre 0,5 et 1,5 mg/L, jusque dans la première décade d'avril (Très bon état à Bon état. Situation normale à Pollution modérée).

L'été printanier de fin avril et du mois de mai met en évidence de fortes concentrations avec un pic maximum à 3,3 mg/l, le 21 avril. Les dates du 12, 16 et 23 mai représentatives d'un été stable d'au moins 15 jours affichent respectivement 2,9, 3 et 2,7 mg/l de NK. La qualité de l'eau est moyenne pour le SEQ ; la pollution est nette à importante (RNB).

Début Juin, en périodes de petits mouvements d'eau, les concentrations diminuent mais les valeurs se maintiennent entre 1 et 2 mg/L ((Bon état. Pollution modérée).

A partir du 15 juin, les concentrations élevées s'estompent avec une série de valeur inférieure à 1 mg/L. Quelques données font exception et peuvent être corrélées à des périodes de montées des eaux et de lessivage.

Les dates du 13 et 14 juillet montrent à nouveau des concentrations élevées à 1,9 et 2,3 mg/L.

Maine	Très Bon Etat		Bon Etat		Etat moyen	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
27/02 au 12/04	11	41 %	15	55 %	1	4 %
13/04 au 29/05	3	30 %	2	20 %	5	50 %
30/05 au 29/06	3	23 %	9	69 %	1	8 %
01/07 au 12/07	3	100 %	0	0 %	0	0 %
13/07 au 05/08	5	56 %	3	33 %	1	11 %

En somme la fin de la période de tarissement et l'été printanier (12/04 au 29/05) correspond aux plus fortes altérations observées pour ce paramètre sur le Maine en termes de concentration.

Ces apports n'apparaissent pas ici en période de lessivage intense mais plutôt en fin de période de ressuyage des sols comme un lessivage lent. Ils sont potentiellement liés aux épandages printaniers avec une période de fumure de printemps située entre la fin février et la mi-mai. (la réalisation d'une recherche bibliographique sur la vitesse de lessivage de l'azote organique dans le sol serait ici profitable).

Les valeurs pics sont à nos yeux **significatives d'une période d'été stabilisée de 15 jours au moins.**

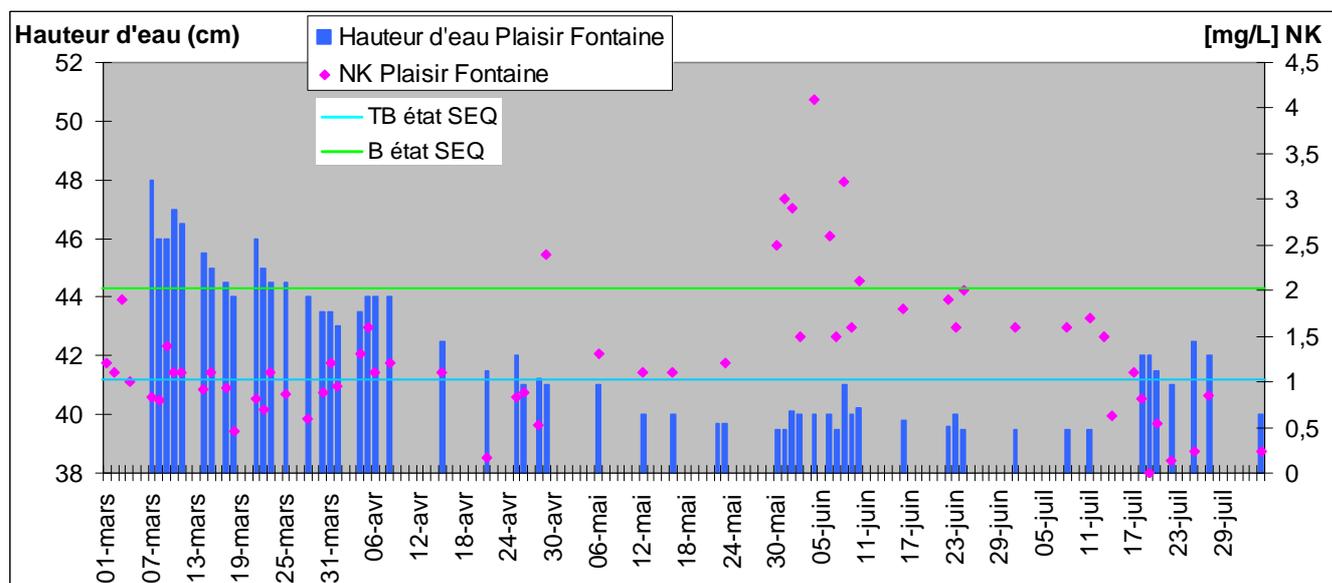


Figure 14 : Concentrations en azote Kjeldahl et hauteur d'eau à la source de Plaisir Fontaine

A la source de Plaisir fontaine, des concentrations comprises entre 0,5 à 1,5 mg/l de NK sont observées de fin février à mi avril (Très bon état à Bon état. Situation normale à Pollution modérée). Aucune pollution nette n'est mise en évidence en période d'eaux fortes à moyennes.

De mi-avril à fin mai, période de ressuyage progressif puis d'étiage, les valeurs d'abord très bonne (<1 mg/L) augmentent suite à un petit pic de pollution le 6 mai (2.3 mg/L).

Le pic de pollution associé à la plus longue période de perturbation est observé sur la période du 1^{er} au 9 juin (mouvement d'eau sur Plaisirfontaine associé à une crue sur la Loue). Des valeurs de 2.5 à 4,1 mg/L sont observées. La valeur maximale mesurée (4,1 mg/l) correspond à une pollution « importante » de la source.

Pendant toute la période d'étiage suivante (01/07 au 12/07) les valeurs restent comprises entre 1 et 2 mg/l (Bon état. Pollution modérée).

Seules les crues du 14 Juillet permettent de retrouver le Très Bon état écologique.

Plaisir-Fontaine	Très Bon Etat		Bon Etat		Etat moyen	
27/12 au 12/04	12	48 %	13	52 %	0	0%
13/04 au 29/05	4	44 %	4	44 %	1	2 %
30/05 au 29/06	0	0%	7	50 %	7	50 %
01/07 au 12/07	0	0 %	4	100 %	0	0 %
13/07 au 05/08	8	89 %	1	11 %	0	

Sur la source de Plaisir Fontaine les petits mouvements d'eau estivaux de juin mettent en évidence une nette pollution d'une dizaine de jours par l'azote Kjeldahl.

Comparaison Maine-Plaisir-Fontaine

Si l'on compare les phénomènes sur les 2 bassins versants :

Maine	Très Bon Etat		Bon Etat		Etat moyen	
27/02 au 12/04	11	41 %	15	55 %	1	4 %
13/04 au 29/05	3	30 %	2	20 %	5	50 %
30/05 au 29/06	3	23 %	9	69 %	1	8 %
01/07 au 12/07	3	100 %	0	0 %	0	0 %
13/07 au 05/08	5	56 %	3	33 %	1	11 %

Plaisir-Fontaine	Très Bon Etat		Bon Etat		Etat moyen	
27/12 au 12/04	12	48 %	13	52 %	0	0%
13/04 au 29/05	4	44 %	4	44 %	1	2 %
30/05 au 29/06	0	0%	7	50 %	7	50 %
01/07 au 12/07	0	0 %	4	100 %	0	0 %
13/07 au 05/08	8	89 %	1	11 %	0	

Une période d'eau moyenne jusqu'au 12/04 qui ne montre pas d'altération majeure de la qualité de l'eau pour ce paramètre mais cependant une pollution modérée (Bon Etat) sur la moitié des analyses.

Une pollution nette qui arrive décalée sur les 2 bassins versants ; à l'étiage sur le Maine et de façon plus tardive sur Plaisir-Fontaine à l'occasion d'un épisode de montée des eaux. Ce flux s'observe sur les deux bassins versants pendant et suite à la période d'amendements de printemps. Le décalage observé peut trouver son origine dans la différence de la taille des bassins versants, dans des vitesses de circulations variables dans le karst, ou dans la différence de profondeur moyenne des sols.

En étiage estival, début juillet, 100% des mesures font état d'une situation normale sur le Maine et d'une pollution modérée sur le ruisseau de Plaisir-Fontaine (poursuite du décalage du phénomène).

Quant aux crues de fin juillet, elles altèrent la qualité du Maine pour ce paramètre azote Kjeldahl et l'améliorent sur Plaisir-Fontaine. La suite de la chronique si nous l'avions analysée aurait peut-être permis de voir à nouveau un décalage des phénomènes associé à une nouvelle altération sur Plaisir-Fontaine....

	période	durée	Condition hydrologique	concentrations
Maine	10-26 mai	15 jours	Etiage stable	2.7 à 3 mg/l
Plaisir-Fontaine	1-9 juin	10 jours	Montée des eaux	2.5 à 4.1 mg/L

Les conséquences possibles de cette observation sont que les flux et les pics d'azote organique arrivent de façon décalée au cours d'eau principal. A l'échelle du bassin versant l'impact de ces flux pourrait se prolonger dans le temps.

La mise en place d'un suivi « continu » simultané de l'azote Kjeldahl au prélèvement AEP de Chenecey paraît pertinent.

Rappel (données Chambre d'Agriculture 25) : comparaison des caractéristiques agricoles et pédologiques du bassin versant de Plaisir-Fontaine et du Bassin versant Brème-Valdahon

BASSIN VERSANT	Plaisir Fontaine	Breme Valdahon	Loue
Sol aéré profond	37,1%	16,8%	24,5%
Sol aéré superficiel	40,3%	60,5%	52,7%
Sol aéré très superficiel	22,5%	16,8%	8,8%
Sol mod. hydromorphe	0,1%	5,6%	11,1%
Sol très hydromorphe	0,0%	0,3%	3,0%

Le bassin versant de Plaisir Fontaine se situe sur le premier plateau dans le sous bassin de la Brème au plateau de Valdahon. L'altitude moyenne est d'environ 540 m. Les sols hydromorphes n'y sont pratiquement pas représentés (absence de fond de vallées ou de zones humides de type tourbières). La proportion de sols profonds est plus importante que dans le sous bassin de la Brème au plateau de Valdahon ou que dans l'ensemble du bassin versant de la Loue.

Cette meilleure représentation des sols profonds pourrait être explicative au moins pour partie du décalage observé des phénomènes de lessivage.

Ammonium

On rappelle ici que l'azote Kjeldahl est la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal.

Une concordance des apports entre azote Kjeldahl et azote ammoniacal laissera supposer une pollution du bassin versant par NH_4 . L'absence de concordance définira une contamination par l'azote organique.

Les références sont ici Nisbet-Verneaux 1970 et la DCE. Des rappels sont faits aux anciennes grilles RNB.

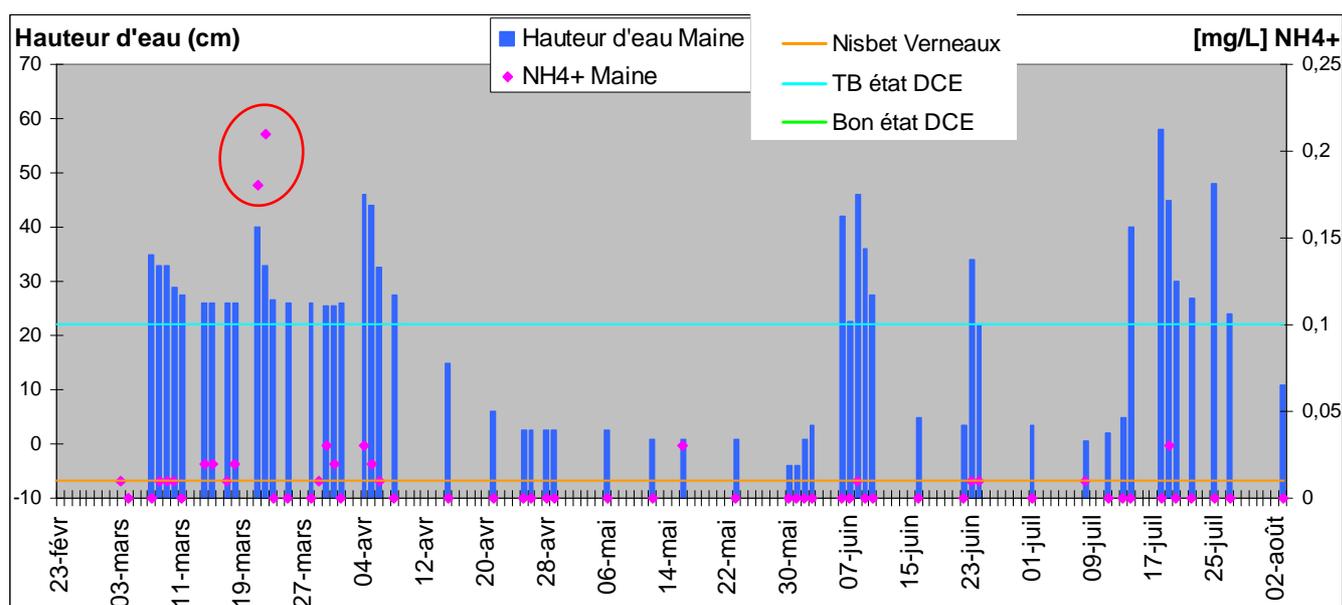


Figure 15 : Concentrations en Ammonium à la source du Maine

Les concentrations en Ammonium, sur l'ensemble de la campagne, ont avoisiné le seuil de bonne qualité défini par NISBET & VERNEAUX (soit 0,01 mg/L).

Les dates du 21 et 22 mars (épisode de crue sur la Loue et de montée des eaux à la source) font exception. Les concentrations mesurées (0,18 et 0,21 mg/L) sont significatives d'un pic de pollution qui fait passer ce paramètre en Bon état DCE, fixé au seuil de 0,1 mg/L (pollution modérée selon RNB).

Les teneurs globalement satisfaisantes en NH_4 permettent sur le Maine d'interpréter la contamination par l'azote Kjeldahl comme liée à une problématique d'azote organique.

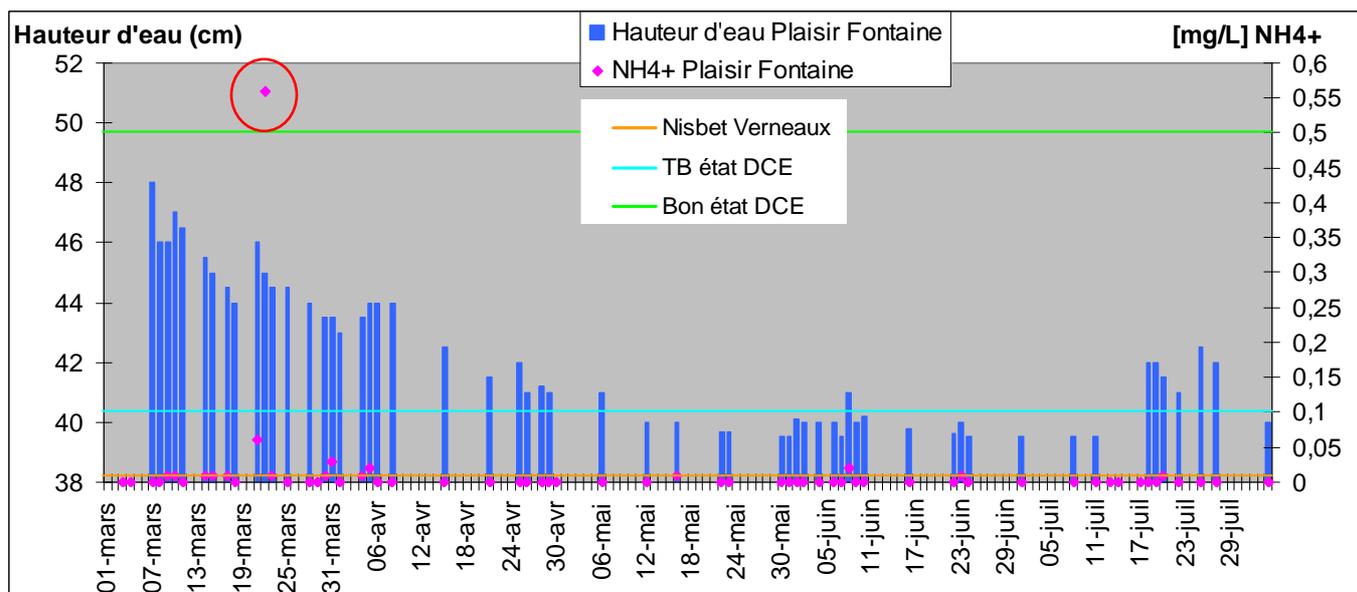


Figure 16 : Concentrations en Ammonium à la source de Plaisir Fontaine

La source de Plaisir Fontaine enregistre de faibles concentrations en ammonium durant l'ensemble de la campagne. Ces dernières coïncident avec l'exigence de qualité donnée pour ce paramètre par NISBET & VERNEAUX.

Cependant les eaux de Plaisir Fontaine montrent un pic de pollution nette à 0,56 mg/L, le 22 mars correspondant au même épisode pluvieux que sur le Maine. Ce pic caractérise une pollution ponctuelle.

Les teneurs globalement satisfaisantes en NH₄ sur le ruisseau de Plaisir-Fontaine confirment l'interprétation de la contamination par l'azote Kjeldahl de nos deux sources comme liée à une problématique d'azote organique.

Comparaison Maine – Plaisir-Fontaine

Sur les autres épisodes de crue, 19-20 mars ; 31 mars 5 avril ; 9 juin ; 23 juin ; 18-19 juillet des micro-pics de NH₄ sont observés (dépassement des seuils Nisbet-Verneaux) ; Ils semblent correspondre à des phases de lessivage du karst.

6.3.2. Nitrites

Les Nitrites (NO_2^-) sont des formes minérales oxydées de l'Azote qui apparaissent en milieu oxygéné, après la dégradation de l'ammonium par des bactéries. Les Nitrites sont généralement transitoires et se transforment rapidement en Nitrates.

Les références sont ici Nisbet-Verneaux 1970 et la DCE. Des rappels sont faits aux anciennes grilles RNB.

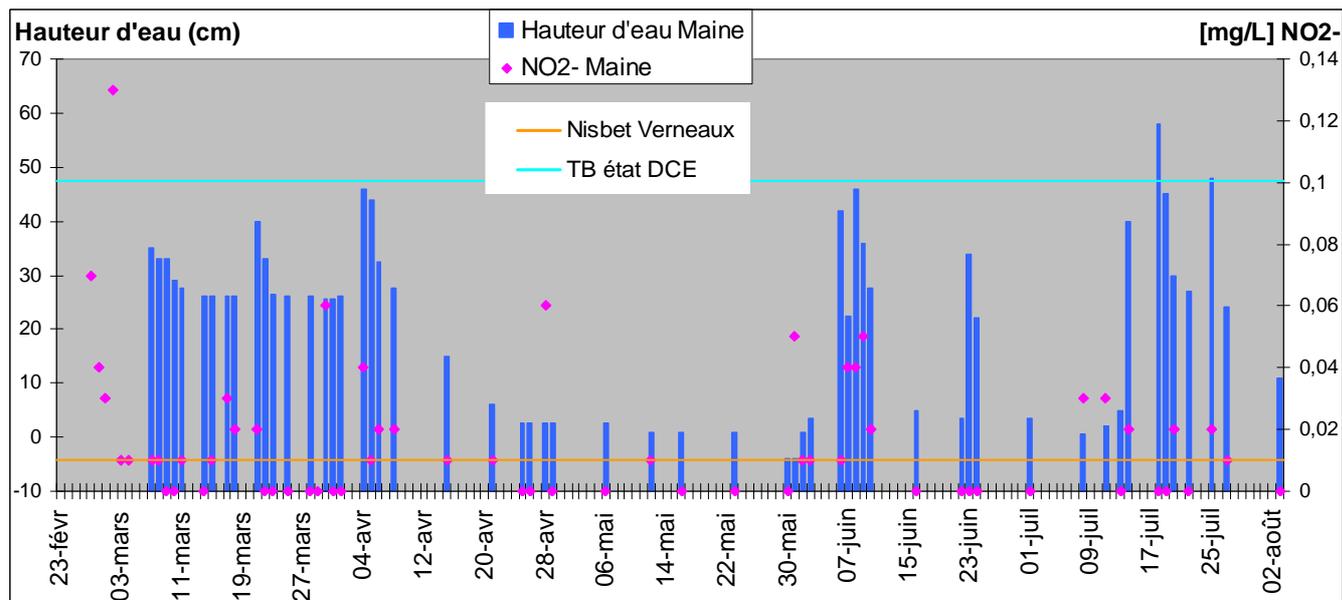


Figure 17 : Concentrations de nitrites à la source du Maine.

Les nitrites sont présents à de faibles concentrations sur le Maine, variant de 0 à 0,04 mg/l. Les valeurs mesurées sont souvent conformes au référentiel Nisbet-Verneaux.

Quelques valeurs se détachent de cette tranche dominante mais restent conformes au très bon état DCE (situation normale des grilles RNB). Le maximum est atteint au début du suivi avec 0,13 mg/L.

La contamination par les nitrites à la source du Maine pendant notre suivi ne prend pas de caractère préoccupant malgré les altérations perceptibles au référentiel Nisbet-Verneaux.

Maine	Valeurs conformes Nisbet Verneaux		Valeurs non-conformes Nisbet-Verneaux	
	nb	%	nb	%
	40	64	22	36

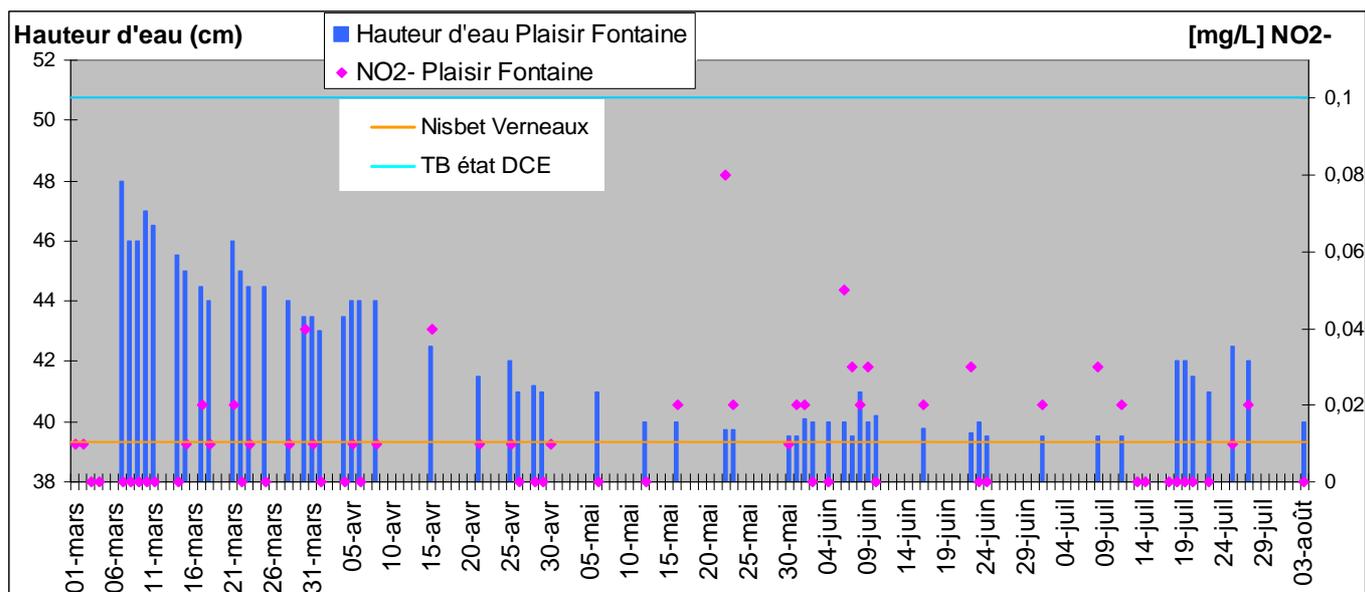


Figure 18 : Concentrations des nitrites à la source de Plaisir Fontaine

L'ensemble des analyses n'excède pas 0,03mg/L avec des valeurs marginales observées à 0,04 et 0,05 mg/L. Une valeur maximale est mesurée à 0,08 mg/L.

Comme pour le Maine, la contamination par les nitrites à la source de Plaisir-Fontaine ne prend pas de caractère préoccupant.

Maine	Valeurs conformes Nisbet Verneaux		Valeurs non-conformes Nisbet-Verneaux	
	nb	%	nb	%
	43	69	19	31

Comparaison Maine – PF

Le constat observé pour les deux sources est identique. Les valeurs observées sont globalement normales à faible.

Les nitrites ne constituent pas le paramètre de qualité le plus préoccupant pour nos deux sources.

6.3.3. Nitrates

Les Nitrates (NO_3^-) sont la forme oxydée et dissoute de l'azote la plus rencontrée dans les eaux, dans lesquelles ils tendent à s'accumuler.

Les nitrates sont la forme préférentielle d'assimilation par les plantes. (Le NH_4 semble pouvoir être également facilement assimilé).

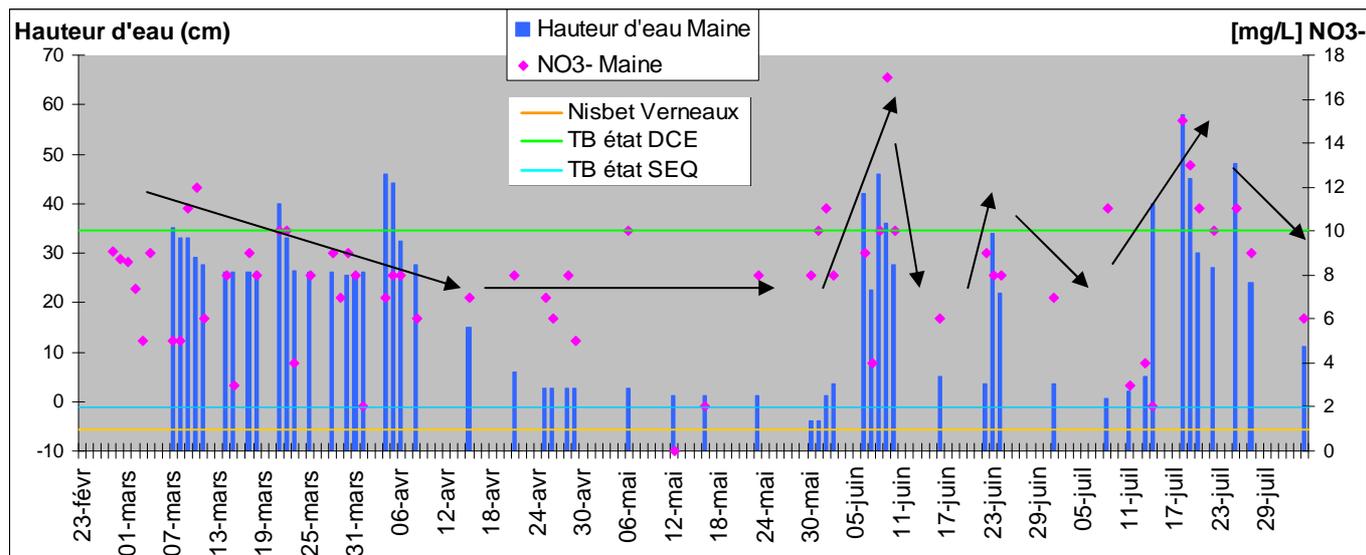


Figure 19 : Concentrations des nitrates à la source du Maine.

Rares sont les analyses qui respectent les seuils de qualité NISBET & VERNEAUX (1 mg/L) : 1.5 %

Rares sont les analyses qui respectent le Très Bon Etat du SEQ Eau (2 mg/l) : 4.5 %

L'essentiel des valeurs (70 %) oscille entre 5 et 10 mg/l : soit 5 à 10 fois une concentration naturelle.

14 % des mesures dépassent 10 mg/l (Bon état DCE. Situation normale) mais 10 à 17 fois le référentiel

D'un point de vue fonctionnel, les concentrations les plus basses (0 et 2 mg/l) sont mesurées les 12 et 16 mai en pleine période d'étiage.

Les valeurs les plus fortes sont enregistrées à 17 mg/L le 8 juin et 15 mg/L le 17 juillet sur deux épisodes de crues marqués (pics). Les valeurs du 17 mars, 26 mars, 1 juin, 9 juin, 18-19 et 26 juillet correspondent toutes à des périodes de fort débit et de lessivage.

Il y a donc bien une forte corrélation entre période de lessivage des sols et pointe de pollution par les nitrates à la source du Maine.

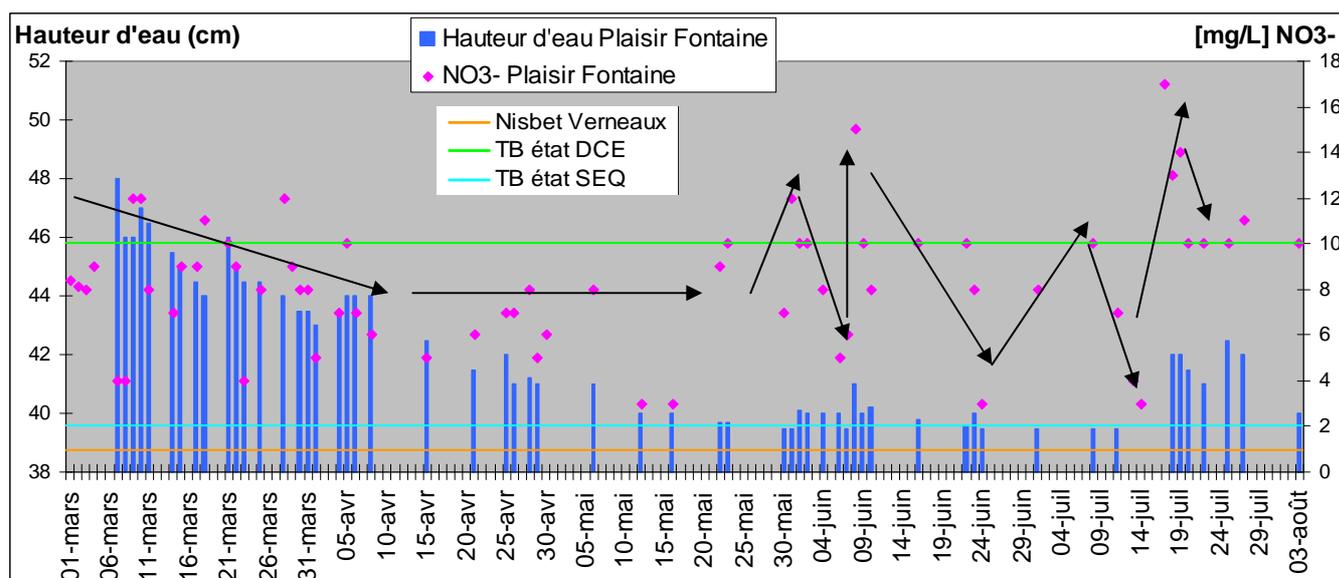


Figure 20 : Concentrations des nitrates à la source de Plaisir Fontaine

A Plaisir Fontaine :

Aucune analyse ne respecte les seuils de qualité NISBET & VERNEAUX (1 mg/L)

Aucune analyse ne respecte le Très Bon Etat du SEQ Eau (2 mg/l)

L'essentiel des mesures (84 %) oscille entre 5 et 10 mg/l : soit 5 à 10 fois une concentration naturelle.

16 % des mesures dépassent 10 mg/l (Bon état DCE. Situation normale) mais 10 à 17 fois le référentiel

D'un point de vue fonctionnel, les valeurs les plus basses (3 mg/l) sont trouvées, les 12 et 16 mai, durant l'étiage printanier, le 24 juin à une côte minimale et le 14 juillet (pas de référence de côte prélèvement pisciculteur)

Les valeurs maximales sont mises en évidence suite à des évènements pluvieux et des montées des eaux. (15 mg/L le 9 juin et 17 mg/L le 18 juillet). Les valeurs fortes du 1^{er} juin 19 et 20 juillet correspondent également à des évènements pluvieux.

Comparaison Maine – Plaisir Fontaine

Les phénomènes et tendances observés sur les teneurs en nitrates sont valables pour les deux sources.

Les pics de concentrations dépendent des conditions hydrologiques générales à savoir périodicité et durée des périodes sèches et pluvieuses. Les apports de nitrates sont inféodés aux phénomènes de lessivage. Les maximums de concentrations font suite à des épisodes pluvieux intenses. Le maximum atteint est de 17 mg/l pour chacune des deux sources. Sur deux séquences polluantes (8-9 juin et 17-18 juillet), le pic de pollution intervient avec 1 jour

de décalage à la source de Plaisir Fontaine par rapport au Maine (le phénomène pourrait à nouveau être rapproché de l'épaisseur des sols)

En dehors de ces extrêmes et sur nos 2 sources une charge de 5 à 10 mg/L de nitrates s'observe en permanence. Ces concentrations sont 5 à 10 fois supérieures à celles attendues sur des sources exemptes de pollution. Nous sommes ici en présence d'une pollution diffuse chronique certainement représentative de l'ensemble des sous-bassins de la Haute Loue et explicative des charges constatées sur le cours d'eau principal.

6.3.4. Azote total

Les concentrations en Azote total résultent de l'addition des teneurs en Azote Kjeldahl, de l'Azote dans les Nitrites et de l'Azote dans les Nitrates.

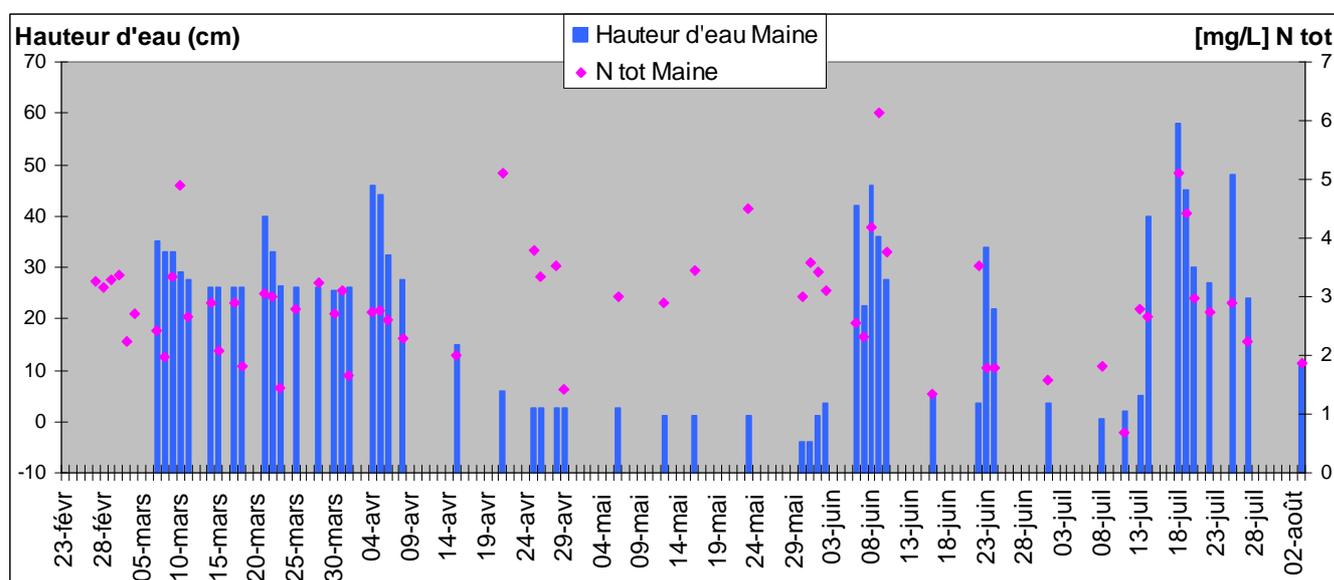


Figure 21 : Concentrations en Azote totale et hauteurs d'eau à la source du Maine

La date du 11 juillet présente la concentration d'Azote Total la plus basse avec 0,68 mg/L. Celle-ci provient d'une teneur en Azote Kjeldahl nulle et de teneurs en nitrates faibles (3 mg/l).

La concentration maximale en Azote total rencontrée est de 6,13 mg/l, le 9 juin. Cette date correspond au pic de pollution en nitrates de 17 mg/l (3.83 mg/l NNO₃).

Le jeu de données récolté, montre que l'azote dans les nitrites et l'ammonium est négligeable.

A la source du Maine, la contribution à l'azote total (mesuré sur la moyenne du jeu de données) est réalisée par l'azote organique à 35.6 % et par l'azote nitrique (NNO₃) à 64%.

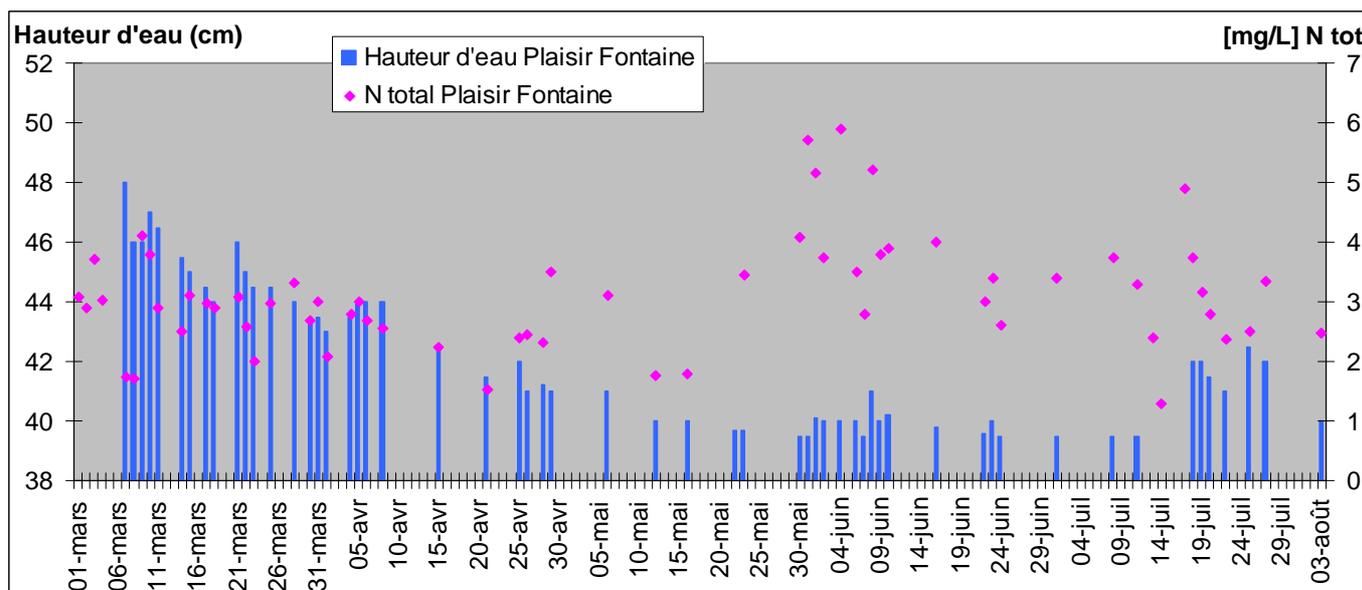


Figure 22 : Concentrations en Azote total et hauteurs d'eau à la source de Plaisir Fontaine

Nous pouvons observer que le nuage de points, entre le 1^{er} et le 9 juin, illustre des valeurs élevées comprises entre 2,8 et 5,9 mg/L N. Ces concentrations élevées sont à rapporter aux fortes concentrations en azote Kjeldahl mesurées à ces mêmes dates.

A la source de Plaisir Fontaine, la contribution à l'azote total (mesuré sur la moyenne du jeu de données) est apportée à 59 % par l'azote nitrique (NNO3) dans les Nitrates et à 41% par l'Azote organique.

Comparaison Maine – PF

Les concentrations en Azote total mesurées sur nos 2 sources montrent une gamme de valeurs comparables, globalement comprise entre 1.5 et 6 mg/l.

En %	NNO3	NNO2	NNH4	NKJ	Norg
Maine	64.02	0.146	0.25	35.83	35.60
Plaisir-Fontaine	58.71	0.09	0.31	41.20	40.09

Représentation relative des différentes formes azotées calculée sur la moyenne des concentrations mesurées sur l'ensemble du jeu de données.

Il en découle que la charge azotée véhiculée par la source du Maine s'exprime en moyenne pour 64 % par la charge en azote nitrique (NNO3) (directement consommables par les végétaux) et pour 35.6 % par la charge en azote organique

Pour la source de Plaisir-Fontaine, les proportions sont comparables avec une part encore plus affirmée pour l'azote organique qui représente ici 40 % de l'azote total mesuré.

Cet azote organique, véhiculé par les sources va devoir être minéralisé dans l'écosystème aquatique. (voir chap 6.3.5)

En milieu lotique, cette minéralisation s'exerce essentiellement dans les sédiments où les résidus végétaux et animaux accumulés sont dégradés sous l'action bactérienne et d'où diffusent une partie des nutriments ainsi formés.

On peut schématiser la circulation de l'azote dans les sédiments de la façon suivante :

- sédimentation de matériel organique azoté
- dégradation de l'azote organique avec libération d'ammonium dans l'eau intersticielle (ammonification)
- Diffusion de l'ammonium intersticiel vers l'eau libre ; immobilisation ou pertes d'ammonium en profondeur.

La contamination azotée de la Loue s'exerce donc en plusieurs phases :

- **Une pollution directe par les nitrates** lessivés du bassin versant qui représentent un nutriment immédiatement accessible aux végétaux aquatiques.
- **Une pollution indirecte par l'azote organique** lessivé des bassins versants et qui représente une part très importante de l'apport azoté total au cours d'eau (35 à 40 % pour nos 2 sources).
- **Une pollution indirecte (différée)**, liée au cycle de vie des algues benthiques et au relargage de leur azote organique constitutif lors des phases de sénescence.

6.3.5. Devenir de l'azote dans les cours d'eau. Rôle auto-épurateur du milieu interstitiel (sédiment).

A. principe fonctionnel :

Selon la nature du substratum, l'eau de l'écoulement superficiel va pouvoir, en particulier sur des zones de contraction de la lame d'eau, pénétrer les bancs de « graviers » déposés en lit mineur.

Les phénomènes sont confirmés par des suivis piézométriques qui définissent des zones d'infiltration ou de restitution et donc d'échange entre eaux superficielles et eaux interstitielles.

Ces échanges participent au phénomène global d'autoépuration.

Pour l'azote, nos précurseurs bretons (Marmonnier (ensemble des travaux) Lefebvre (2003),...) ont fait progresser la connaissance et 2 phénomènes majeurs s'observent dans le sédiment.

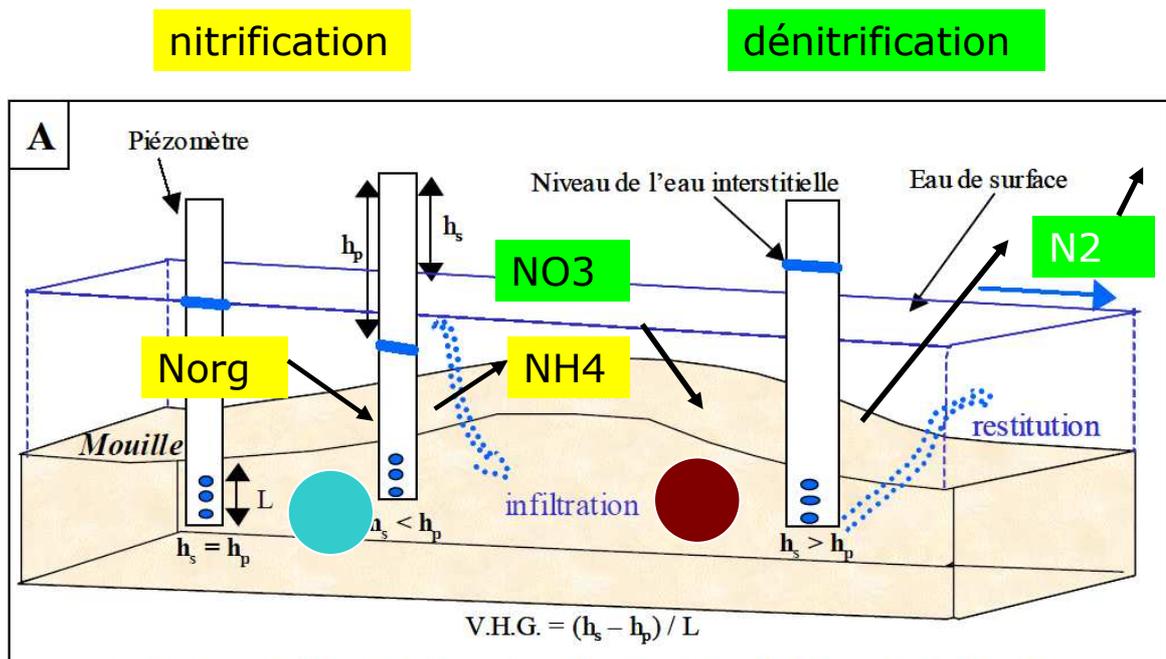


Figure 23 : Schéma synthétique du cycle de l'azote dans le sédiment des cours d'eau

Le phénomène de nitrification où l'azote organique est oxydé et relargué dans l'eau superficielle sous forme de NH4.

Le phénomène de dénitrification qui s'exprime par la transformation des nitrates en azote gazeux atmosphérique. Ainsi : « Bien que les eaux de surface soient riches en nitrates (généralement supérieures à 5 mg/l), ce nutriment est rapidement éliminé lorsque l'eau

s'infiltrer dans les sédiments. Il est quasiment absent de l'eau interstitielle qui est restituée vers la surface du cours d'eau ». Localement le milieu interstitiel fonctionne donc comme un puits pour le nitrate....

On note que (hors zones d'infiltration) l'oxygène est rapidement consommé par les activités microbiennes dans les premiers centimètres de sédiments, ce qui favorise la formation de microzones anoxiques. Cette anoxie est favorable à la dénitrification microbienne

Contrairement au nitrate, le milieu interstitiel est toujours globalement riche en ammonium et en phosphate, en particulier dans les zones de restitution. Le milieu interstitiel se comporte donc comme une source d'ammonium et de phosphate vers la surface. L'intensité des processus est variable selon les apports et la qualité du sédiment.

Ce phénomène se reproduit au long du cours d'eau à mesure que l'écoulement rencontre de nouveaux bancs sédimentaires. Il est connu sous le nom de **spiralling**. (on note ici, l'importance d'une morphodynamique et d'un transport solide conservé puisque outre leur importance pour la qualité de l'habitat, ils participent directement à l'amélioration de la qualité de l'eau)

Ce terme imagé de spiralling exprime la spirale de l'eau qui au cours de son transit pénètre les bancs de graviers (downwelling) et en ressort (upwelling).

On note que des phénomènes physico-chimiques comparables s'effectuent dans les nappes d'accompagnement qui participent également aux phénomènes d'auto-épuration.

Par ailleurs (selon Marmonnier) et toujours en lien avec nos problématiques générales de déclin des peuplements (piscicoles en particulier).

« L'intensification de l'agriculture (dans l'ouest de la France) a induit une augmentation drastique des flux de sédiments fins (limoneux et argileux) vers les rivières induisant un colmatage des interstices.

- A l'échelle locale, le colmatage induit une moindre circulation de l'eau interstitielle, une moindre oxygénation associées à une diminution forte des peuplements invertébrés interstitiels avec la disparition de la grande majorité des larves d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères au profit d'un ensemble d'organismes vermiformes (oligochètes et larves de diptères) souvent résistants au manque d'oxygène.
- Il impacte également la réussite du développement des œufs, des embryons et des jeunes larves de poissons qui se développent sous la surface des sédiments (salmonidae, thymallidae).

A cette échelle la connectivité entre eau interstitielle et eau superficielle est donc essentielle.

B. Observations sur la loue à Chenecey

Le phénomène de nitrification.

Alors que notre suivi des sources du Maine et de Plaisirfontaine (entre le 20/04/11 et le 15/07/11) ne met pas en évidence d'apports notoires de NH_4 à l'étiage (valeurs conformes à Nisbet Verneaux ($<0.01 \text{ mg/l}$)), les concentrations printanières et estivales de cet élément augmentent dans l'eau superficielle au captage AEP de Chenecey.

L'hypothèse d'une observation directe du relargage sédimentaire de NH_4 consécutif à la nitrification d'azote organique semble pertinente. L'azote organique se fixe dans le sédiment puis est relâché dans l'eau interstitielle puis dans l'eau libre sous forme de NH_4 .

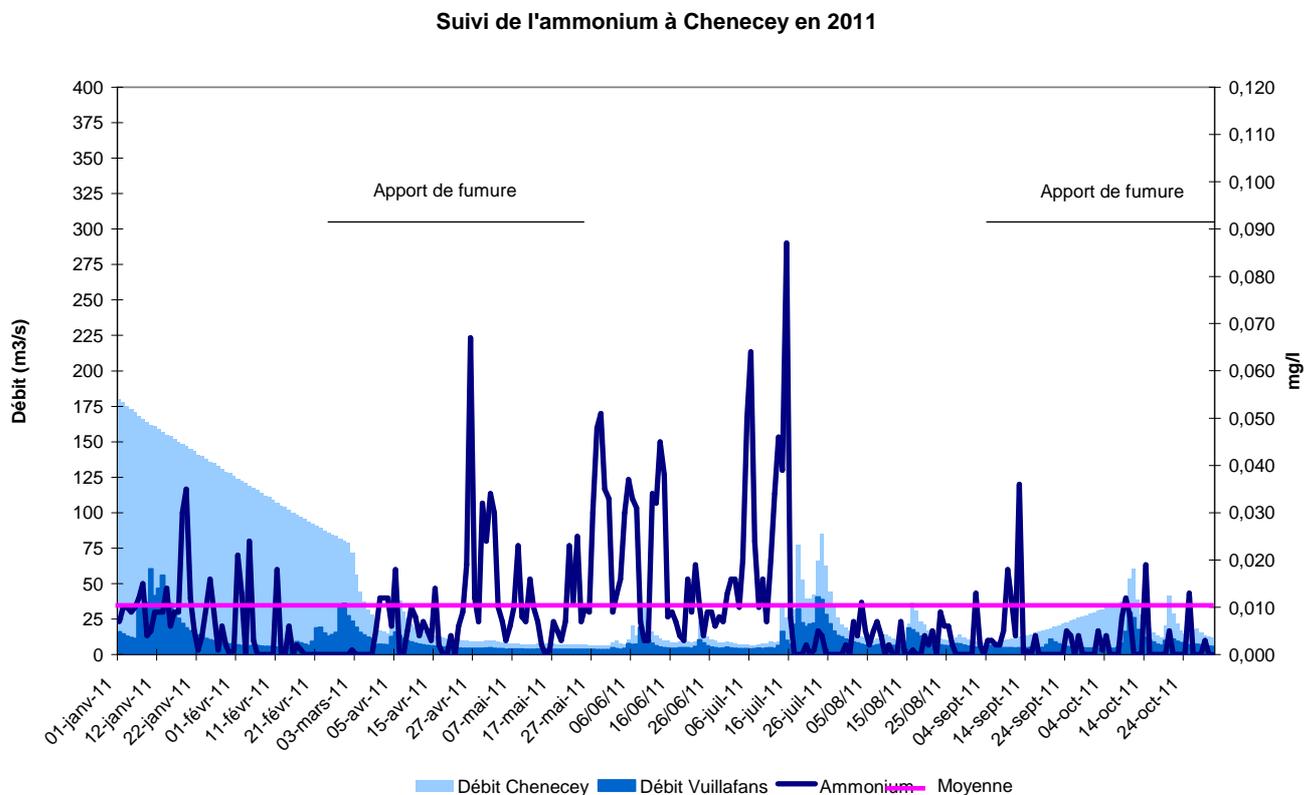


Figure 24 : suivi de l'ammonium à Chenecey en 2011.

Si les concentrations de NH_4 mesurées dans le volume d'eau au captage de Chenecey lors des périodes d'étiage ne sont pas alarmantes au regard des normes (0.02 à 0.09 mg/l avec 0.1 mg/l comme limite du très bon état DCE et limite inférieure d'une pollution modérée RNB), la présence d'azote ammoniacal est cependant tout à fait anormale dans les cours d'eau (Nisbet-Verneaux 1970).

On ajoutera d'une part que cette présence est quasi-permanente dans la Loue à Chenecey (figure 23).

On ajoutera également que les concentrations au fond en particulier sous les couches d'algues filamenteuses pourraient localement atteindre des valeurs plus importantes, quelques dixièmes

de mg/l étant appréciés comme une pollution insidieuse sensible Nisbet-Verneaux 1970, une concentration égale ou supérieure à 1 mg/l étant une pollution critique.

Ces phénomènes sont mal connus, de sorte que des connaissances complémentaires mériteraient d'être acquises d'une part :

- **sur la qualité des eaux interstitielles des sédiments de la Loue** en plusieurs stations judicieusement choisies. Ainsi selon Frossard 2006 : NT jusqu'à 3 fois plus élevé dans l'eau interstitielle / eau superficielle Loue (*PT jusqu'à 20 fois supérieur dans l'eau interstitielle / eau superficielle Loue*)
- **sur la qualité de l'eau de fond** en particulier sous et à proximité des couches d'algues.

La mise en place d'un protocole de suivi de la qualité de l'eau dans et à proximité immédiate du sédiment pourrait ainsi mettre en évidence des phénomènes explicatifs du déclin de la macrofaune benthique (au moins en termes d'abondance) et de la réussite du frai des espèces lithophiles.

L'impact potentiel de ces altérations sur la faune de fond (invertébrée et piscicole) pourrait être à l'heure actuelle largement sous-estimée.

On ajoutera enfin que le NH₄ forme transitoire de l'azote relargué par le sédiment va ensuite être oxydé en NO₂ puis NO₃ au détriment de la concentration en oxygène dissous de l'eau. Cette consommation d'oxygène s'ajoute à celle exercée par les algues en période de respiration de sorte que certaines amplitudes journalières en oxygène mesurées sur la Loue sont impressionnantes.

Les mesures réalisées par Eaux Continentales sur le Suivi de la passe à Apron de Quingey en 2010 mettent en avant les éléments suivants :

En période d'étiage et lors des journées les plus ensoleillées (photosynthèse algale), la concentration en oxygène a atteint 16,86 mg/L avec une sursaturation de 193,5% le 30 juin 2010 (fin d'après midi).

De faibles teneurs sont mesurées lors du lever de piège matinal (respiration algale) : 6,05 mg/L et 70,3% de saturation le 12 Juillet 2011, 5,13mg/L et 51,7% le 28 Avril 2011.

On rappelle à titre d'exemple que la truite a besoin d'une oxygénation en permanence supérieure à 5,5 mg/L (Bruslé et Quignard 2001), indiquant que les valeurs mesurées sont susceptibles d'être très préjudiciables pour la faune sensible.

Ces valeurs sont inférieures au seuil de « Bon Etat Ecologique » fixé par la Directive Cadre Européenne sur l'EAU (limite à 6 mg/L et 70% de saturation).

6.4.Éléments phosphorés

Ils peuvent se trouver dans l'eau sous des formes diverses dont les principales sont le phosphore organique et le phosphore minéral, représenté essentiellement par les orthophosphates.

A l'analyse, la fraction organique est obtenue conventionnellement par la différence entre le phosphore total et les orthophosphates.

Dans les eaux de surface, la teneur naturelle en phosphates est de l'ordre de 0,1 à 0,3 mg/l de PO₄³⁻ (NISBET & VERNEAUX, 1970) pour moins de 0,1 mg/l de phosphore total ; au-delà de ces concentrations, leur présence est plutôt d'origine exogène (lessivage des sols et engrais, mais *à l'époque* essentiellement détergents des eaux usées domestiques et industrielles).

Ces valeurs de référence, au regard des mesures réalisées sur le prélèvement AEP de Chenecey apparaissent comme discutables. Elles semblent plutôt le reflet des meilleures concentrations mesurées dans l'eau à une époque où le phosphore était apporté en excès à titre d'amendement et où les apports anthropiques étaient particulièrement importants.

Remarque : la mesure au laboratoire est réalisée sur eau non filtrée. Il est donc probable qu'en période de crue, une partie du phosphore dosé ne soit pas dissous et donc non directement disponible pour les végétaux. A terme, au sein des eaux de rivière ou de lac, le phosphore redevient soluble et assimilable par effet de dilution (Duchauffour 2001).

6.4.1. Phosphates

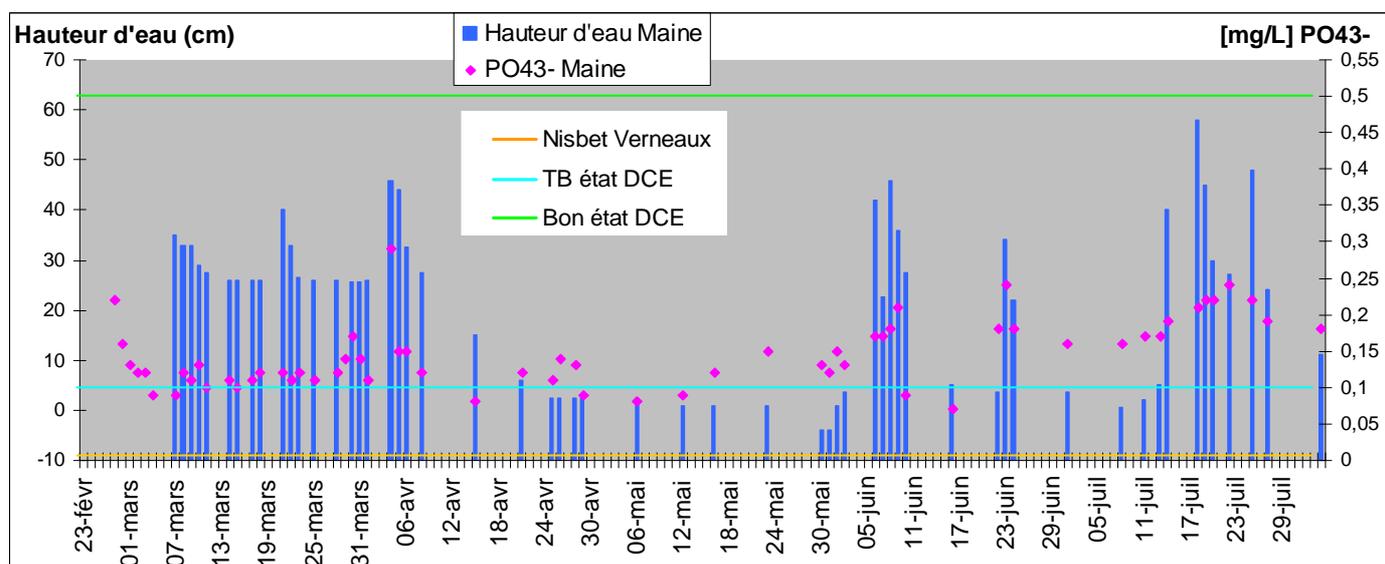


Figure 24 : Concentrations en phosphates et hauteurs d'eau à la source du Maine

Les analyses sur la source du Maine révèlent une contamination permanente de l'eau par les phosphates.

Le très bon état DCE : 0,1 mg/l est atteint pour 13 % des mesures

La quasi-totalité des valeurs exprime une pollution modérée (Bon état DCE)

La référence Nisbet Verneaux 1970 : 0,01 mg/l n'est jamais atteinte.

Ici, les résultats sont supérieurs à cette référence d'un facteur 10 à 20. Le pic maximum de pollution rencontré atteint 0,29 mg/L le 4 avril. Une série de teneur dépassant 0,15 mg/L est observée à partir de début juin.

Les plus fortes valeurs en phosphates tendent à s'associer avec des niveaux d'eau élevés. Les pics supérieurs à 0,2 mg/L se placent avec les événements hydrologiques des 4 avril, 9 juin, 23 juin, 14 juillet, 19 juillet, 25 juillet. Ces phases de montées des eaux sont propices aux lessivages des phosphates agricoles sur le bassin versant, au ruissellement des surfaces imperméabilisées, voire au bi-pass des déversoirs d'orage ou de certaines stations d'épuration.

Sur le Maine, dont on rappelle l'importance du bassin versant (60 km²) l'origine des phosphates peut être mixte agricole et domestique et industrielle (fromageries par exemple).

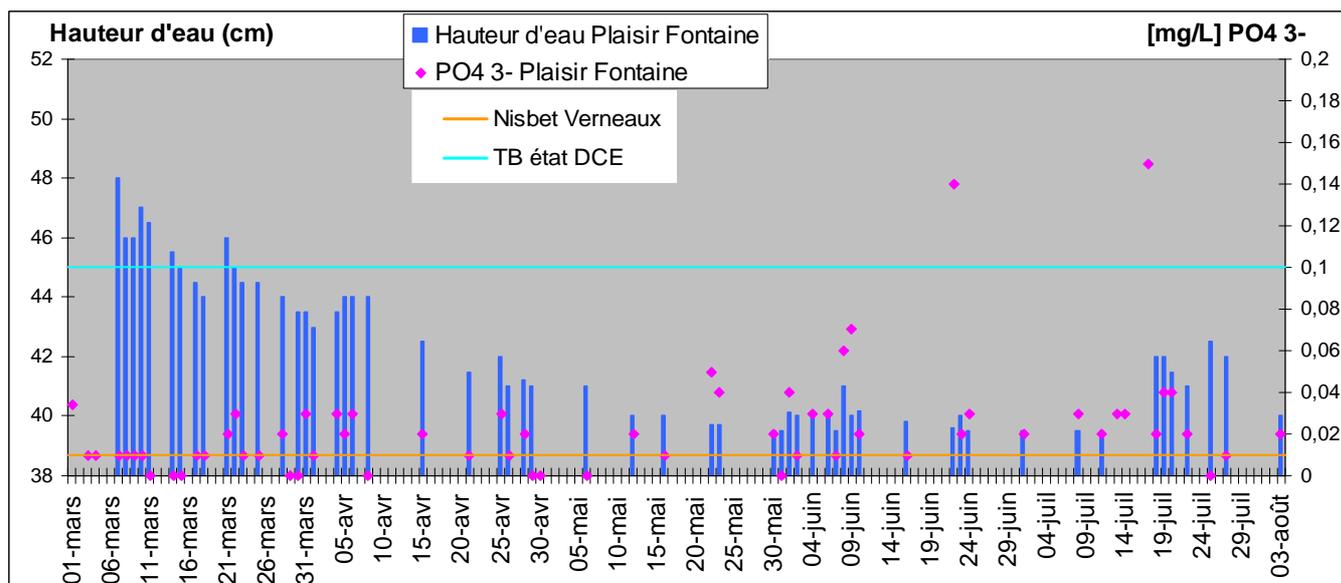


Figure 25 : Concentrations en phosphates à la source de Plaisir Fontaine

Les eaux de sources de Plaisir Fontaine ne subissent pas, dans la majorité du temps de perturbations majeures par les matières phosphatés.

La quasi totalité des mesures est conforme à la norme DCE (<0.1 mg/l)

Une bonne partie est même conforme au référentiel Nisbet-Verneaux : 49 % de mesures inférieures ou égales à 0.01 mg/L

Les apports de phosphates (pollution modérée du RNB) sont observés en période de crues. En effet, les dates de montées des eaux du 8 et 22 juin et du 17 juillet enregistrent des teneurs respectives de 0,07 de 0,14 et de 0,15 mg/L.

Deux valeurs maximales déclassent le très bon état de la Directive Cadre sur l'Eau.

Ces apports correspondent à des lessivages de terre agricole (occupation unique du bassin versant)

Comparaison Maine – Plaisir-Fontaine

PO4 en mg/l	Moyenne	Minimum	Maximum
PlaisirFontaine	0.029	0	0.05
Maine	0.14	0.09	0.29

Les concentrations en phosphates montrent une nette différence entre les deux sources.

A Plaisir-Fontaine, les concentrations en phosphates sont en moyenne cinq fois inférieures à celles de la source du Maine.

Il faut y voir l'expression de la différence d'occupation du bassin versant, avec une occupation « exclusivement agricole » sur Plaisirfontaine (le phosphore mesuré provient exclusivement des ruissellements agricoles sur prairies et champs cultivés) et une occupation diversifiée du bassin versant du Maine ajoutant à l'occupation agricole, l'assainissement des bourgs et des villages, les rejets domestiques au sens large, les rejets industriels etc..

Sur les deux sources, l'apport de phosphore est lié aux phases de crue. L'élément est en partie lié aux particules argileuses.

6.4.2. Phosphore total

Le phosphore total (Ptot) est constitué par la somme des phosphates et du phosphore organique.

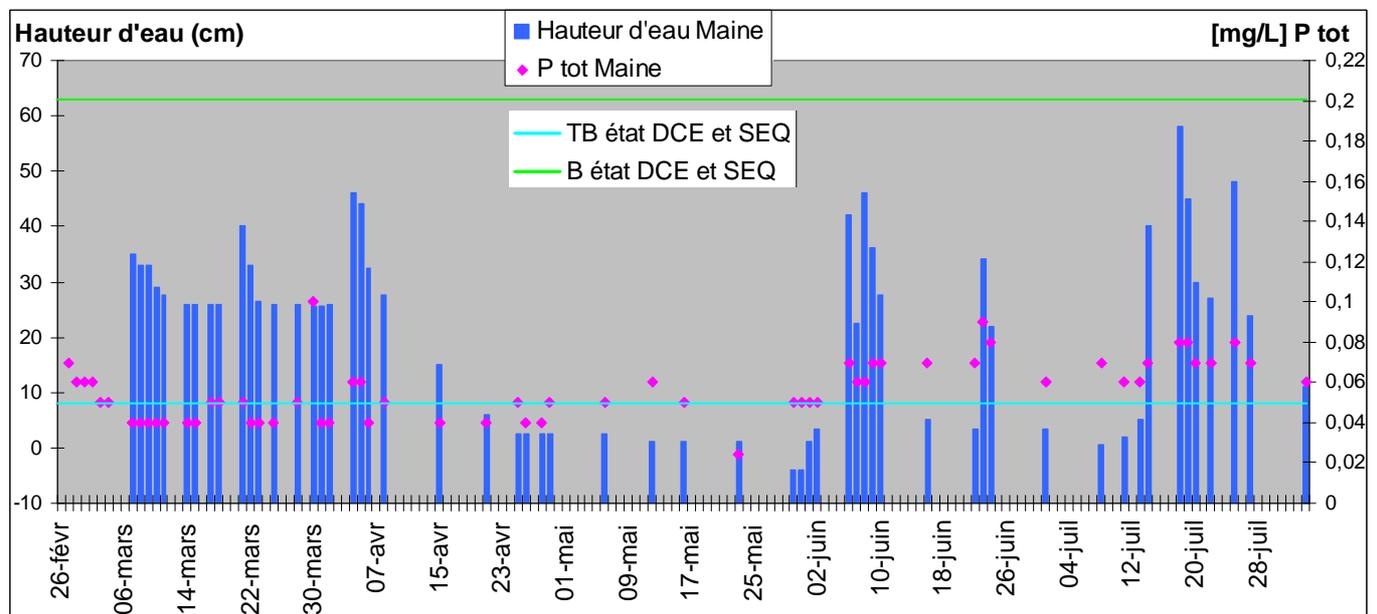


Figure 26 : Concentrations en Phosphore total à la source du Maine

Le phosphore total est mesuré en permanence dans les eaux du Maine. Les concentrations avoisinent le plus souvent la limite du Très Bon état DCE, établie à 0,05 mg/L. La situation, inférieure à 0.1 mg/l est définie comme normale par les grilles RNB. Les valeurs maximales

restent liées aux phases de crue. A partir du mois de Juin, fin de la période de sécheresse printanière, la limite du Très Bon état est dépassée par toutes les analyses, avec des concentrations variant entre 0,06 et 0,09 mg/L.

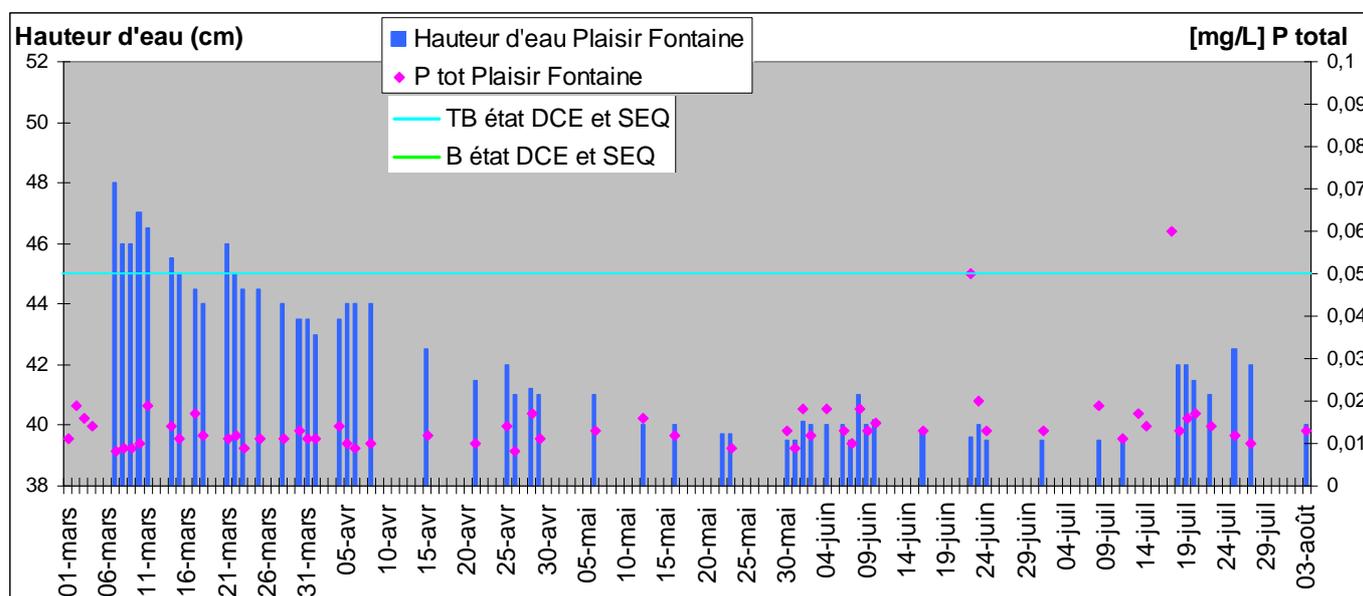


Figure 27 : Concentrations en Phosphore total à la source de Plaisir Fontaine

Sur Plaisir Fontaine, les concentrations mesurées en Phosphore total restent basses et globalement conformes aux exigences du très bon état DCE. 2 mesures (à 0.05 et 0.06 mg/l) sortent du lot et correspondent aux crues du 22 juin et du 17 juillet 2011. Le pic de phosphore total est ici lié au pic de phosphates.

Le seuil de validité par la méthode d'analyse du laboratoire est donné à 0,03 mg/L. La mesure de concentrations inférieures à ce seuil inclut une marge d'incertitude supplémentaire.

Comparaison Maine – Plaisir-Fontaine

PT en mg/l	Moyenne	Minimum	Maximum
PlaisirFontaine	0.016	0.008	0.027
Maine	0.056	0.024	0.1

La tendance constatée pour le Phosphore total suit celle décrite pour les Phosphates. Les teneurs en Phosphore total retrouvées à la source du Maine sont globalement 3 fois supérieures à celles de la source de Plaisir Fontaine

5.4.3. Le Phosphore organique.

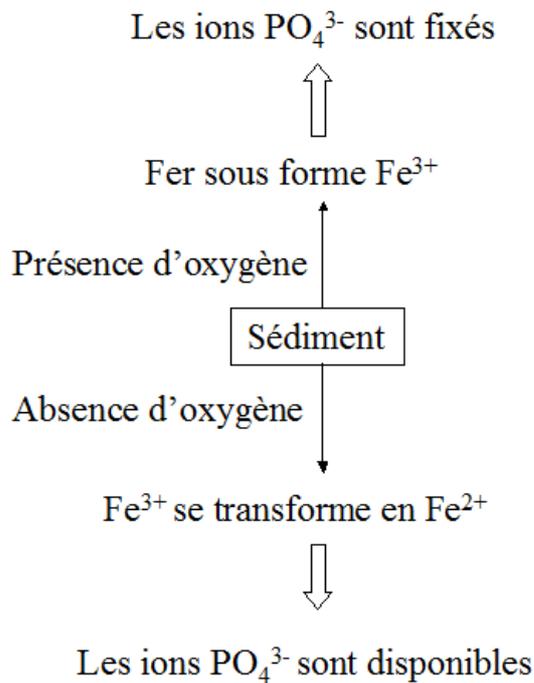
Il est obtenu par différence entre Phosphore Total (PT) et Phosphore des phosphates (PPO₄). Eu égard aux faibles et parfois très faibles valeurs mesurées on prendra l'information avec grande précaution. Sur le Maine on déterminerait environ 90% de phosphore minéral pour 10 % de Phosphore organique. Sur Plaisir Fontaine on déterminerait environ 50% de phosphore minéral et 50% de phosphore organique.

6.4.3. Devenir du Phosphore dans le milieu.

Elément majeur de la physiologie végétale le phosphore est consommé par les plantes aquatiques (algues et plantes vasculaires).

Il est également fixé dans le sédiment. Cette « fixation » répond à des critères de physico-chimie de l'eau interstitielle, de sorte que des périodes de relargage peuvent être observées dans certaines conditions anoxiques.

Processus de libération du phosphore dans les sédiments



Les processus décrits dans le schéma ci-dessus peuvent s'établir dans les mêmes conditions avec l'aluminium et les carbonates.

6.5. Lien entre Formes azotées et phosphorées mesurées aux sources et dans la Loue.

Azote organique

Pour nos sources les caractéristiques de plus fortes altérations sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

	période	durée	Condition hydrologique	concentrations
Maine	10-26 mai	15 jours	Etiage stable	2.7 à 3 mg/l
Plaisir-Fontaine	1-9 juin	10 jours	Montée des eaux	2.5 à 4.1 mg/L

En rivière, les flux d'azote organique sont assez mal connus et en tous cas peu suivis puisque l'azote Kjeldahl ne fait plus partie du référentiel DCE.

Le suivi des développements d'algues sur 8 cours d'eau franc-comtois (Eaux Continentales 2011) montre cependant une présence récurrente d'azote organique dans l'eau de nos rivières dans des concentrations modérées à fortes

Concentration en azote Kjeldahl

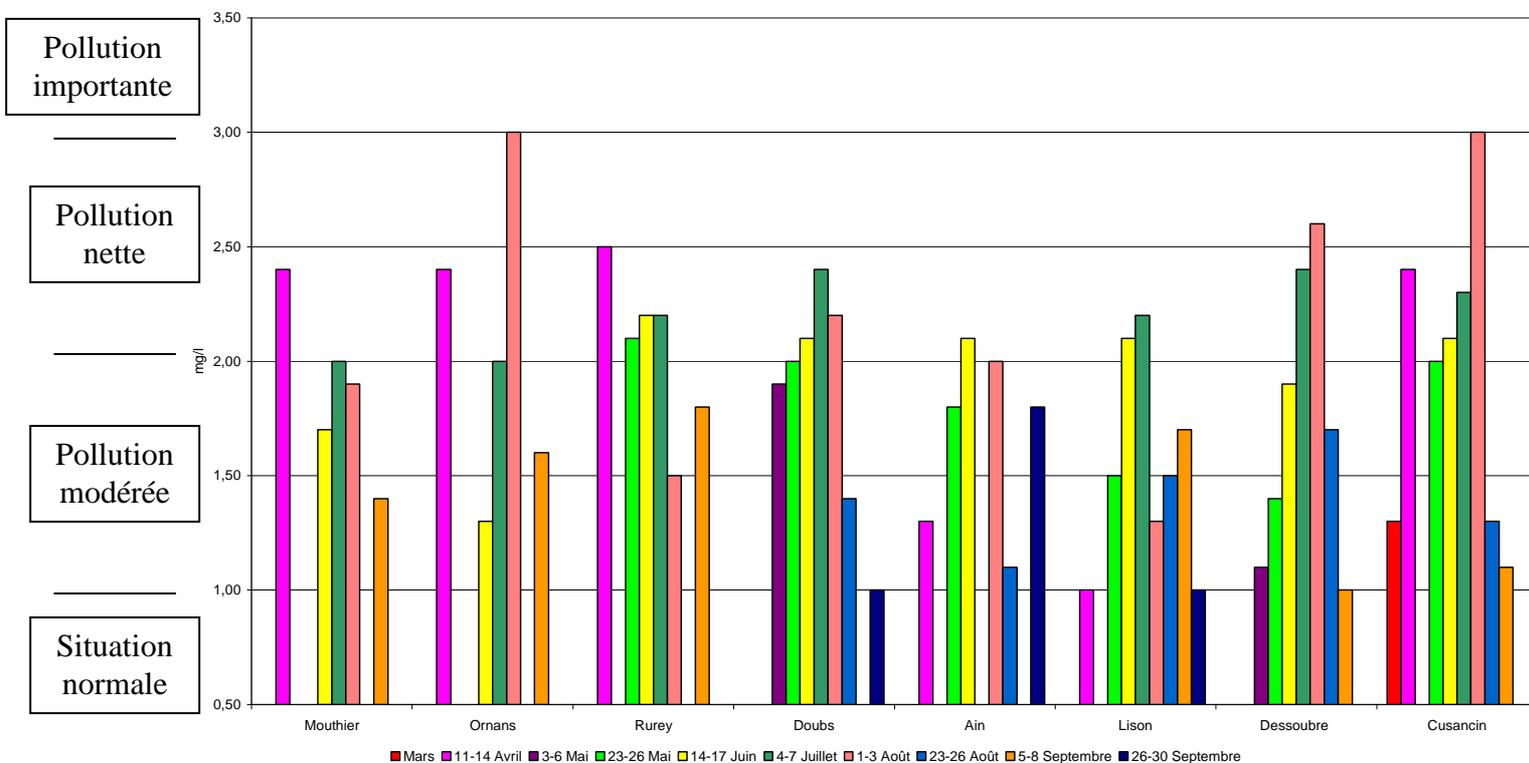


Figure 28 : mesures de l'azote Kjeldahl sur 6 cours d'eau franc-comtois. .2011. Eaux Continentales

Les stations de suivi sur la Loue, Mouthier, Ornans, Rurey confirment cette présence rémanente d'azote organique dès la source :

La campagne d'avril montre une forte concentration d'azote organique sur les 3 stations de suivi (>2 mg/l. Etat moyen. Pollution nette) ;

Début août, on observe également un pic particulièrement fort à Ornans (3 mg/l. Etat moyen. Pollution importante)

Sur l'ensemble du suivi, la station de Rurey présente 4 campagnes sur 9 avec plus de 2mg/l (Etat moyen. Pollution nette)

La présence d'azote organique dès la source à Ouhans et son maintien tout au long du linéaire suivi confirme un lessivage de l'ensemble des bassins versants et des apports continus tout au long de la vallée.

Les éléments descriptifs de la situation des autres cours d'eau sont portés en annexe.

Azote minéral

Ammonium :

A l'étiage printanier du 15 avril au 30 mai 2011 sur nos deux sources les concentrations mesurées sont de l'ordre de 0.01 mg/l. Elles sont conformes aux exigences de Nisbet-Verneaux 1970.

L'étiage du 20 avril au 15 juillet 2011, montre dans la Loue au droit de l'AEP de Chenecey des concentrations plus élevées d'ammonium, généralement supérieures à 0.02 mg/l , pouvant atteindre régulièrement 0.05 mg/l avec des pics à 0.09 mg/l.

Au regard du suivi réalisé, cet ammonium ne semble pas provenir de lessivages du bassin versant. Il pourrait être en partie rapporté aux processus d'ammonification de l'azote organique au sein même du cours d'eau et donc associé à des relargages sédimentaire, sédiment compris au sens large et intégrant les dépôt de galets-graviers dominants.

Suivi de l'ammonium à Chenecey en 2011

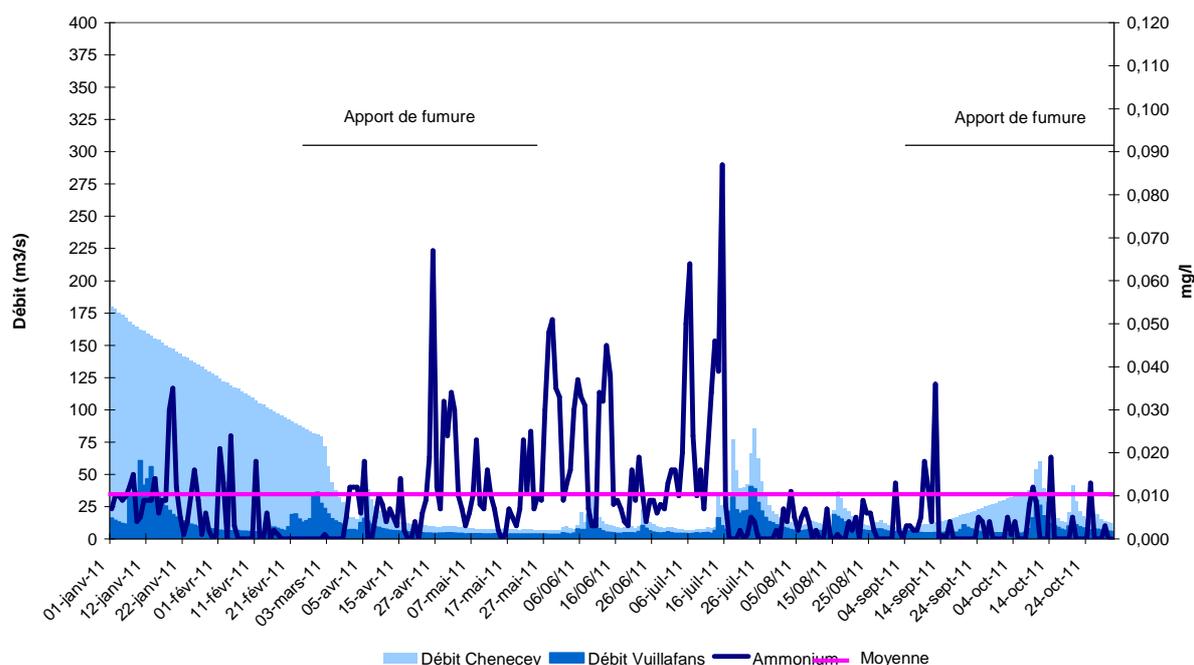


Figure 29 : suivi de l'ammonium. Captage AEP Chenecey 2011

Nitrates

Rappel : sur les sources :

Les pics de concentrations dépendent des conditions hydrologiques générales à savoir périodicité et durée des périodes sèches et pluvieuses. Les apports de nitrates sont inféodés aux phénomènes de lessivage (et d'amendements). Les maximums de concentrations font suite à des épisodes pluvieux intenses. Le maximum atteint est de 17 mg/l pour chacune des deux sources. Sur deux séquences polluantes (8-9juin et 17-18 juillet 2011)

En dehors de ces extrêmes et sur nos 2 sources une charge de 5 à 10 mg/L de nitrates s'observe en permanence. Ces concentrations sont 5 à 10 fois supérieures à celles attendues sur des sources exemptes de pollution. Nous sommes ici en présence d'une pollution diffuse chronique certainement représentative de l'ensemble des sous-bassins de la Haute Loue et explicative des charges constatées sur le cours d'eau principal.

Suivi des nitrates à Chenecey en 2009

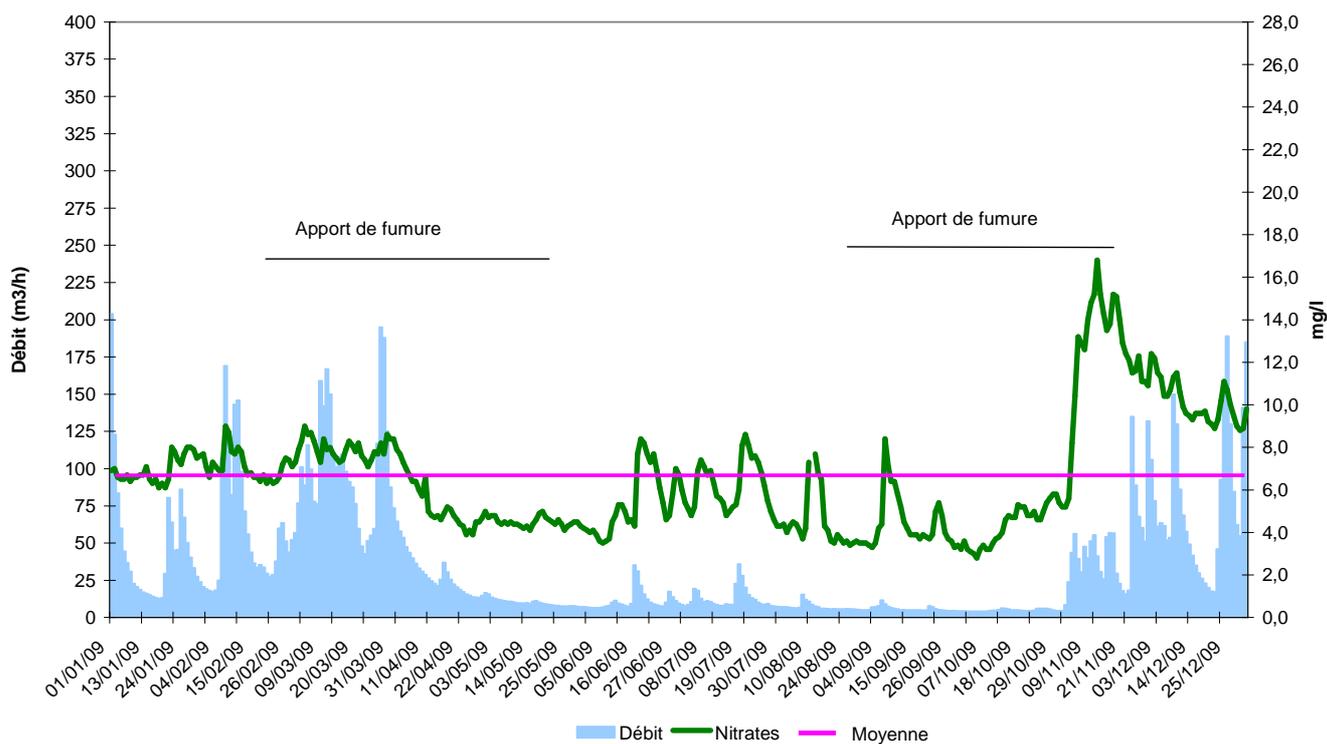


Figure 31 : suivi des nitrates. Captage AEP Chenecey 2009

Evolution des nitrates en 2011 à Chenecey

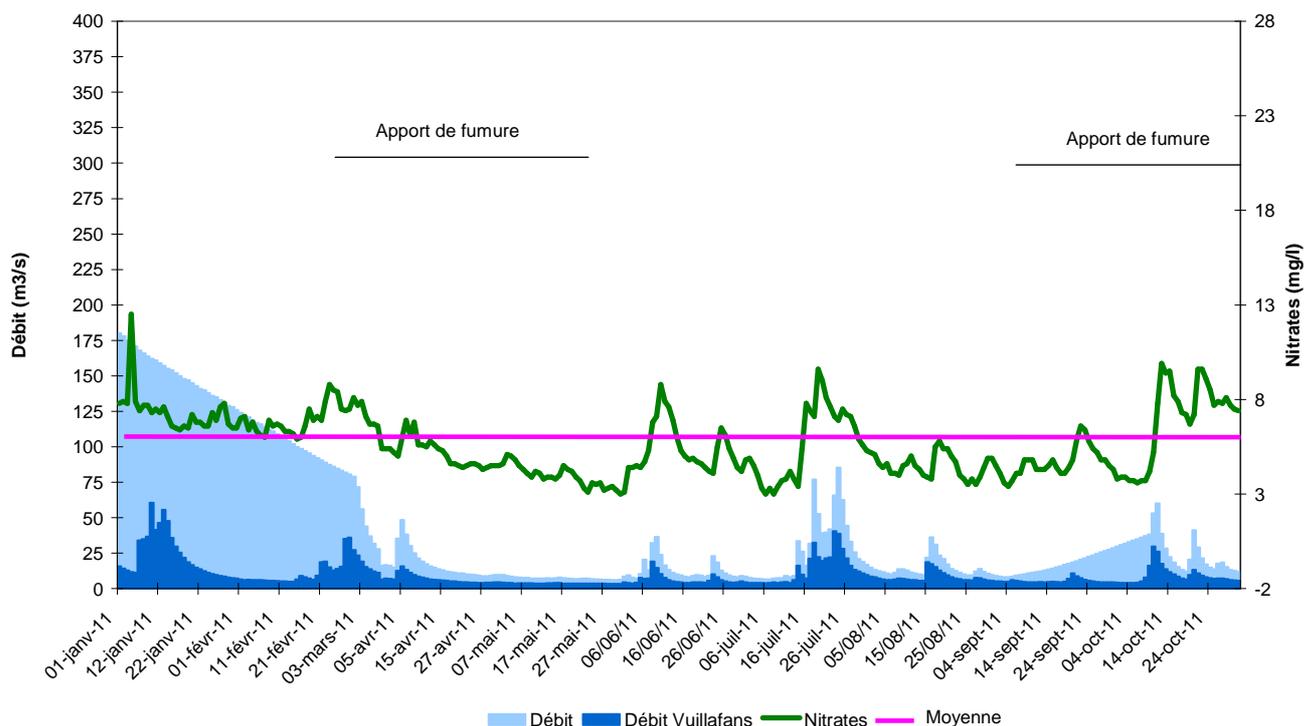


Figure 31 : suivi des nitrates. Captage AEP Chenecey 2011

Cette contamination des sources est parfaitement confirmée par les observations de la Loue à Chenecey. (suivi AEP 2009-2011).

Concentration moyenne annuelle établie entre 6 et 7 mg/l.

Evolution des concentrations en fonction des phénomènes de lessivage.

Fumure printanière bien consommée par les végétaux terrestres et aquatiques.

Fumure automnale se traduisant par une augmentation des concentrations dès les premières périodes pluvieuses, associées à des pics de pollution pouvant atteindre une vingtaine de mg/l (25 mg/l en 2003). Remarque : l'été automnal prolongé de 2011 ne montre pas ce premier pic de lessivage arrivé début décembre.

Phosphates

Rappel : Comparaison Maine – Plaisir-Fontaine

PO4 en mg/l	Moyenne	Minimum	Maximum
PlaisirFontaine	0.029	0	0.05
Maine	0.14	0.09	0.29

Les concentrations en phosphates montrent une nette différence entre les deux sources.

A Plaisir-Fontaine, les concentrations en phosphates sont en moyenne cinq fois inférieures à celles de la source du Maine.

Il faut y voir l'expression de la différence d'occupation du bassin versant, avec une occupation « exclusivement agricole » sur Plaisirfontaine (le phosphore mesuré provient exclusivement des ruissellements agricoles sur prairies et champs cultivés) et une occupation diversifiée du bassin versant du Maine ajoutant à l'occupation agricole, l'assainissement des bourgs et des villages, les rejets domestiques au sens large, les rejets industriels etc..

Sur les deux sources, l'apport de phosphore est lié aux phases de crue. L'élément est en partie lié aux particules argileuses.

Suivi des phosphates à Chenecey en 2009

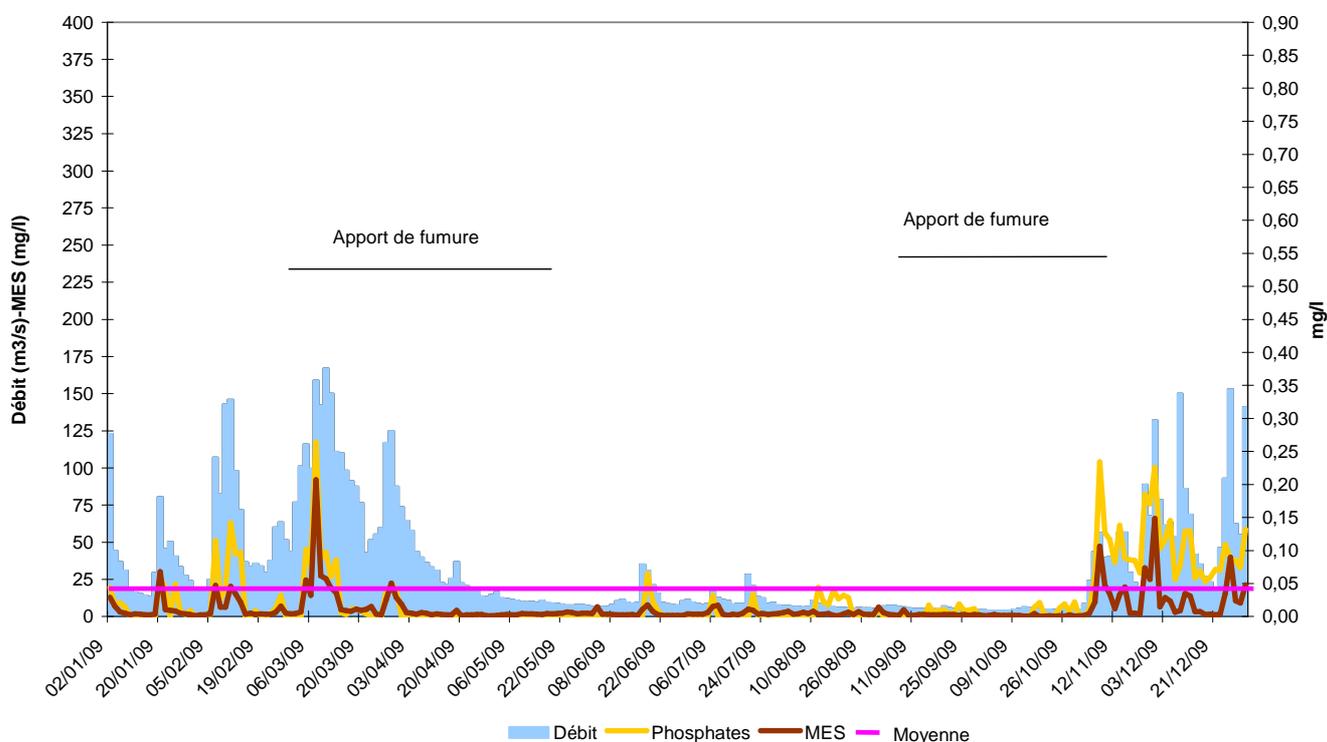


Figure 32 : suivi des phosphates. Captage AEP Chenecey 2009

Suivi des phosphates à Chenecey en 2011

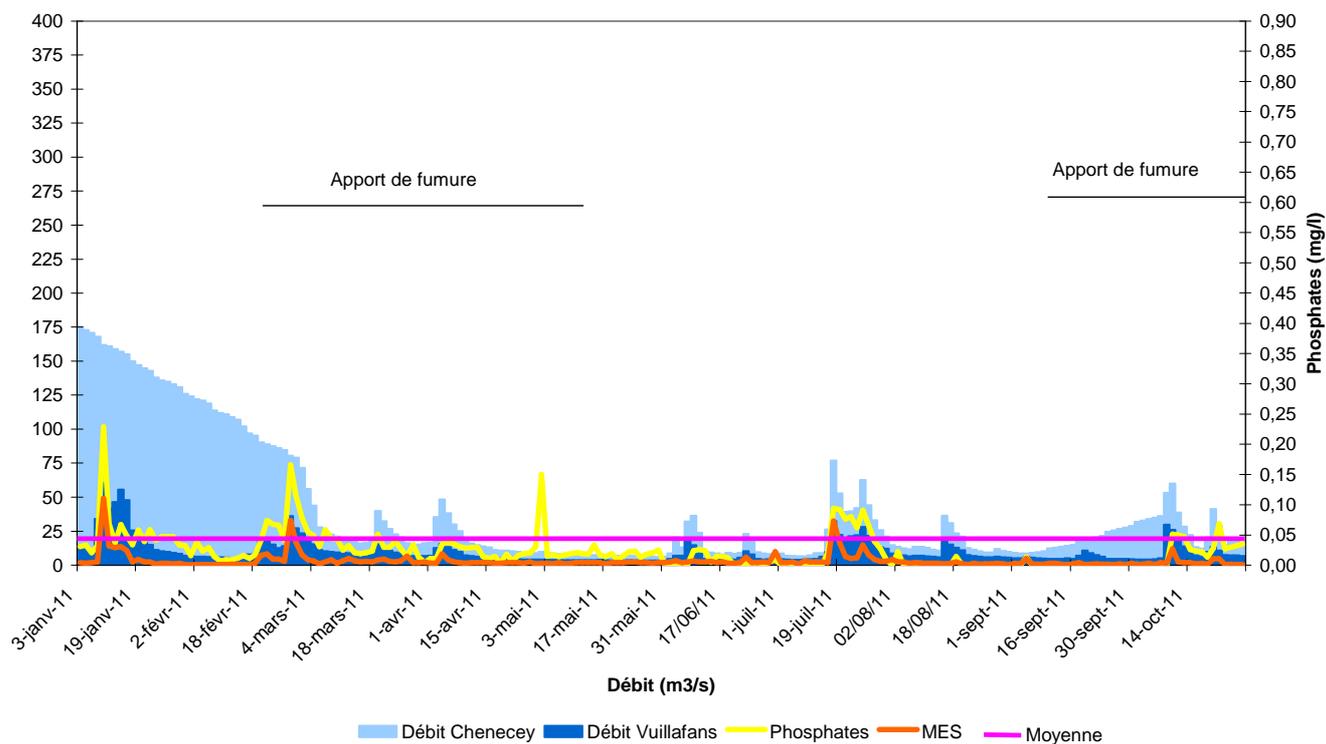
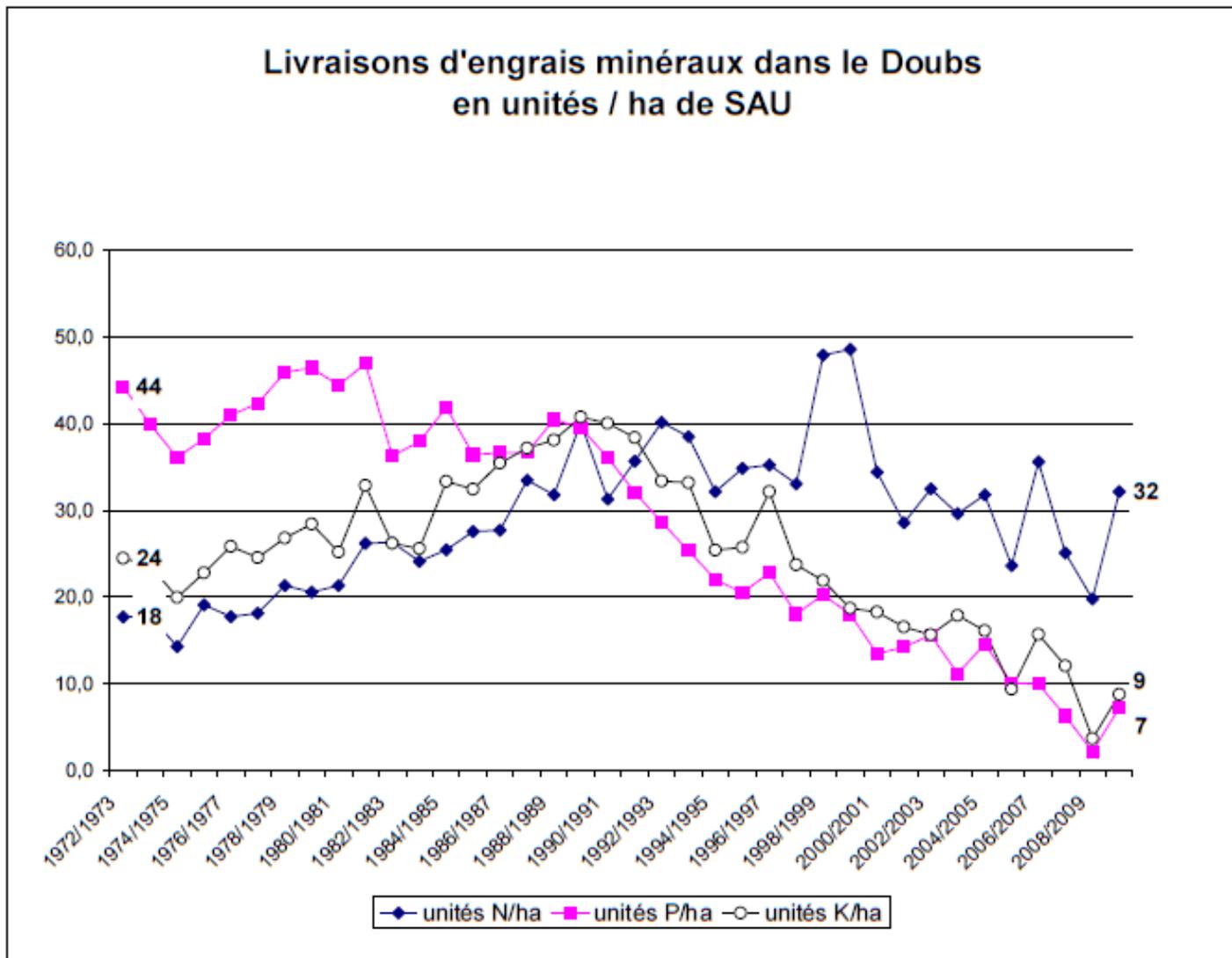


Figure 33 : suivi des phosphates. Captage AEP Chenecey 2011

Dans la Loue, l'apport de phosphate est le plus souvent lié aux phénomènes de crues. Les pics plus modestes observés à l'étiage peuvent être liés à des apports domestiques ou industriels. La valeur moyenne mesurée à Chenecey en 2009 s'établit à 0,025 mg/l avec un maximum à 0,25 mg/l.

La valeur moyenne mesurée à Chenecey en 2011 s'établit à 0,05 mg/l avec un maximum à 0,20 mg/l.

6.6. Lien entre l'évolution des fertilisations minérales et l'évolution des concentrations mesurées à Chenecey.



NB : calculs à SAU départementale constante (base 240000 ha en 2010)

Figure 30 : Evolution des livraisons d'engrais minéraux dans le Doubs. 1973-2010

Le rapport N/P des amendements minéraux est passé de 0.41 à 4.57 (de 1 à 11). On apportait 2.5 fois moins d'azote que de phosphore à la parcelle en 1973. On en apporte désormais 4.5 fois plus en 2010.

Tendances générales

Les livraisons d'engrais minéraux dans le Département du Doubs entre 1973 et 2010 montrent que les apports de phosphore minéral ont été divisés par 6 alors que les apports d'azote minéral ont été multipliés par 2.

Rappelons également que les concentrations en phosphore ont baissé dans les produits lessiviels et que les systèmes de déphosphatation se sont mis en place sur les équipements d'assainissement collectifs les plus importants.

Sur cette même échelle de 40 ans, on ignore comment ont évolué les apports issus des effluents d'élevage en qualité et en volume

En conséquence : l'évolution temporelle du rapport N/P observée pour les apports d'engrais minéraux à l'échelle du département se retrouve-t-elle pour partie dans l'eau de nos rivières et en particulier dans l'eau de la Loue ?

Dans un premier temps, nous avons donc comparé les moyennes estivales de N, de P et du rapport N/P mesurées par Verneaux entre juillet et octobre 1967 et 1972 sur la station de Chenecey à ces mêmes valeurs mesurées à l'entrée de l'usine AEP de Chenecey entre 2005 et 2010.

	1967-1972	2005-2010
NO3 (mg/l)	0.9	6
NNO3 (mg/l)	0.20	1.34
PO4 (mg/l)	0.28	0.04
PPO4 (mg/l)	0.09	0.01
NNO3/PPO4	2.22	134

Verneaux1973 : moyenne des valeurs diurne entre juillet et octobre 1967-1972 NNO3/PPO4

Eaux Continentales 2011 : moyenne des valeurs diurnes juillet-octobre 2005-2010 rapport NNO3/PP04

Dans l'eau à Chenecey :

La concentration moyenne en nitrate **à l'étiage** est passée de 0.9 à 6 mg/l; elle a donc été multipliée par 6.

La concentration moyenne en phosphate **à l'étiage** est passée de 0.28 à 0.04 et a donc été divisée par 7. (action combinée à minima par la réduction des apports minéraux agricoles et du phosphore issu des rejets domestiques).

Le rapport N/P est passé de 2 à 130 et à donc été multiplié par 65.

Les tendances observées entre 1972 et 1990 sur l'emploi des engrais minéraux à l'échelle du département du Doubs semblent confirmées dans l'eau de la Loue à Chenecey avec augmentation nette de la concentration en nitrate et diminution nette de la concentration en phosphate en période d'étiage.

Cette évolution de la concentration des différents nutriments est à priori susceptible de modifier la représentation globale et relative des différentes espèces d'algues (en fonction de leurs spectres écologiques respectifs).

L'azote dont les concentrations moyennes ont été multipliées par 6 dans la Loue à Chenecey ne semble pas pouvoir être limitant (les taxons nitrophiles semblent cependant pouvoir être favorisés : bibliographie à approfondir)

Dans un second temps, si l'on regarde l'évolution du rapport N/P mesuré dans la Loue à Chenecey sur 2009-2010, il apparaît que les variations de ce rapport sont importantes.

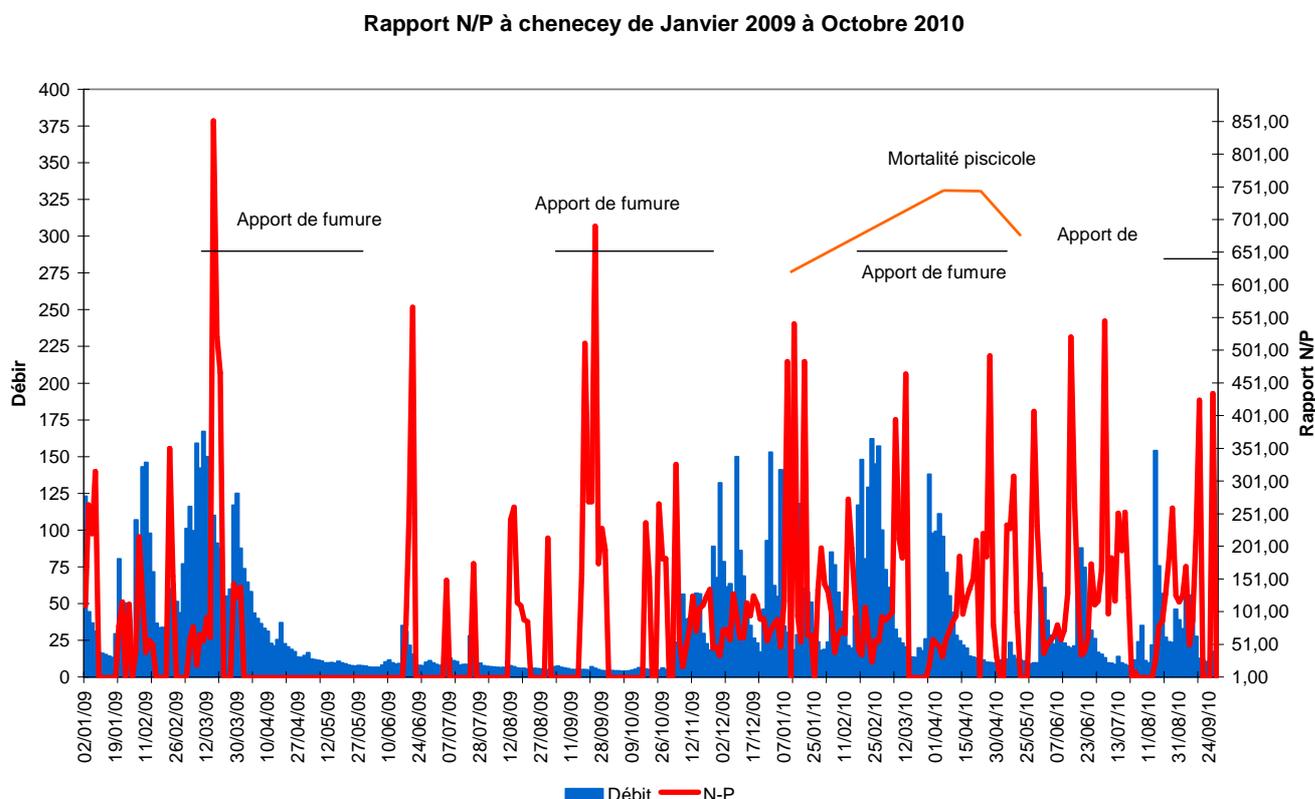


Figure 31: Evolution du rapport N/P à Chenecey de janvier 2009 à Octobre 2010.

Des pics de phosphore pourraient favoriser le développement particulier de certains taxons tels que les cyanobactéries (Combrouze dans étude des développements d'algues des rivières franc-comtoises. En cours); l'évolution du rapport N/P au dessus d'une valeur seuil pourrait également déclencher les proliférations de cyanobactéries (Anne Roland 2003 dans étude des développements d'algues des rivières franc-comtoises. En cours). Ces phénomènes devront donc être mis en lien avec les phases de proliférations (ou de mortalité) de cyanobactéries.

6.7. Concentrations d'azote et de phosphore mesurées dans la Loue.

On souhaite simplement rappeler ici que les concentrations de nutriments dans l'eau sont résiduelles. Une partie des apports du bassin versant et des rejets est en effet fixé plus ou moins temporairement dans l'écosystème.

Les sédiments de cours d'eau jouent un rôle complexe de puits de nitrates et de source de NH₄ et de PO₄ (Marmonier et al)

Les algues fixent également des nutriments en phase de croissance qu'elles libèrent en phase de sénescence (on donne Capelan 2002, des ordres de grandeurs de 7g d'N et 1g de P pour produire 500 g de poids frais d'algues mais une bibliographie exhaustive mérite d'être réalisée)

6.8.Appréciation des flux d'azote et de phosphore mesurés aux sources.

L'absence de suivi limnimétrique, et de jaugeages à des périodes hydrologiquement différentes ne nous permettent pas d'estimer finement les flux polluants véhiculés par les deux sources.

On rappelle ici la complexité du système Brème Maine Ecoutot, le puits de la Brème étant émissif en eaux fortes. On rappelle aussi que la Résurgence du Maine se disperse entre l'écoulement superficiel que nous avons suivi, et plusieurs résurgences complémentaires en rive droite et gauche de la Loue ainsi que dans son lit mineur.

Pour Plaisirfontaine, les débits mesurés par Epteau le 12 septembre sont extrêmement faibles.

Après expertise avec Mr Pascal Reilé, hydrogéologue, il apparaît que :

Le karst de Plaisirfontaine peut être considéré comme un karst fossile à 60 %.

Il est capturé au Nord par le Maine et à l'Ouest dans l'Argovien par les Ravières qui semble constituer un exutoire récent susceptible de capter une part notable des écoulements du secteur de Foucherans.

En conséquence Plaisirfontaine pourrait exprimer à l'étiage les débits d'une partie seulement du bassin versant supposé, tandis que l'ensemble du système fossile pourrait se mettre en charge en période de hautes eaux (à définir).

A titre provisoire et sous toutes réserves on calera simplement un flux moyen sur le Maine et la source de Plaisirfontaine défini par le produit du débit spécifique par la surface du bassin par les concentrations moyennes mesurées en nutriments.

PO4	Moyenne mg/l	Flux en Kg/j
PlaisirFontaine	0.029	0.69
Maine	0.147	22.38

NO3	Moyenne mg/l	Flux en Kg/j
PlaisirFontaine	8.14	194
Maine	7.62	1160

L'estimation de flux moyen de PO4 à Chenecey du 01/01/09 au 30/09/10 = 214 Kg/j.
L'estimation de flux moyen de NO3 à Chenecey du 01/01/09 au 30/09/10 = 25 300 Kg/j.

Nos valeurs, mesurées sur une période de temps différente et n'intégrant pas de période durable de forte hydrologie ne permettent pas une comparaison directe avec les flux mesurés à Chenecey. Elles semblent cependant globalement cohérentes.

7. Synthèse

Cette étude confirme ou met en évidence les points suivants :

Point 1. Le phosphore est globalement peu apporté par les bassins versants agricoles stricts sauf par lessivage des terres à nu et probablement sur des secteurs à risques favorisant le ruissellement tels que proximité de cours d'eau permanents ou temporaires de tête de bassin. (On voit ici tout l'intérêt d'une définition précise de la notion de fossé ou de ruisseau en termes de gestion de ces secteurs à risque).

Point 2. Le Phosphore est apporté essentiellement en phase de crue (lessivages des terres agricoles cf point 1 mais aussi déversoirs d'orage, bi-pass STEP domestiques ou industrielles (fromageries)). Les courbes du suivi AEP Chenecey montrent pour la Loue des apports par à coups qui pourraient répondre à une particularité des demandes physiologiques des cyanobactéries.

Point 3. L'azote est lessivé sous forme de nitrates en excès voire en grand excès dans nos deux cours d'eau et dans la Loue. L'apport sous forme NH_4 et NO_2 semble mineur. L'étude montre un élément nouveau et peu mis en évidence jusqu'à présent : un fort lessivage d'azote organique globalement lié aux activités agricoles. Cet azote organique représente 35 % de l'azote charrié par la source du Maine et 41 % de l'azote charrié par la source de Plaisir-Fontaine. On note que cet excès d'azote organique dans les cours d'eau du bassin versant de la Loue est observé à valeur comparable dans d'autres cours d'eau franc-comtois (Doubs, Cusancin, Dessoubre...)

Point 4. La minéralisation de l'azote organique s'effectue dans le milieu interstitiel des cours d'eau (sédiment au sens large). Elle est associée à des phénomènes de relargage pouvant expliquer la présence permanente et en excès de NH_4 dans l'eau de la Loue à l'étiage. Une définition de l'état d'altération du compartiment sédimentaire de la Loue paraît donc indispensable à la compréhension des phénomènes et à la précision de leur impact sur les peuplements biologiques.

Point 5. Les phénomènes associés à la minéralisation de l'azote organique et au relargage de NH_4 jouent sur la qualité de l'oxygénation de l'eau. Ces phénomènes sont synergiques de l'impact d'une présence algale excessive (photosynthèse et respiration).

8. Suite à donner

Connaissance du fonctionnement des cours d'eau et du bassin versant.

Proposition 1. Flux azotés et phosphorés des affluents de la Loue.

Réaliser un bilan instantané en plusieurs campagnes (au moins 2) des flux d'azote et de phosphore véhiculés par les affluents de la Loue. Identifier les bassins versants les plus impactés et les plus impactants pour la qualité de la Loue.

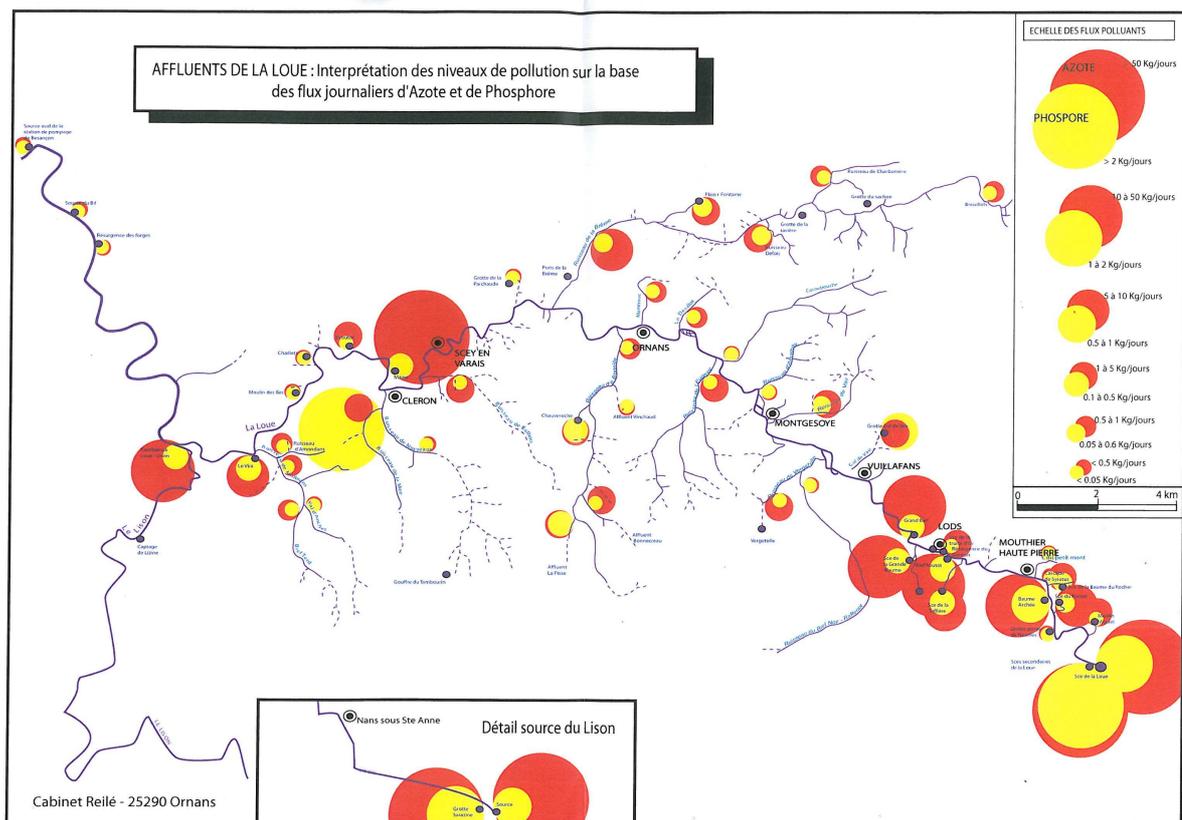


Figure 32 : Flux journaliers d'azote et de phosphore sur les affluents de la Loue à l'étiage

On reprendra pour ce faire les éléments mis en évidence par l'étude Syndicat Mixte de la Loue (Etude des affluents de la Loue 1999. Cabinet Reilé-Cabinet Cuinet) que l'on complétera par 2 ou 3 campagnes (étiage-eau moyenne-crue. Formes azotées et phosphorées. Jaugeages. Flux polluants. Hiérarchie des impacts). On proposera également dans ce cadre la mise en place de pièges à sédiments qui permettront d'apprécier (à minima) les teneurs en particulier phosphorées sur les MES.

Proposition 2. Suivi des 2 sources principales.

Le suivi 2011 de la source du Maine et de Plaisirfontaine a permis d'affiner les problématiques d'apports azotés au cours d'eau.

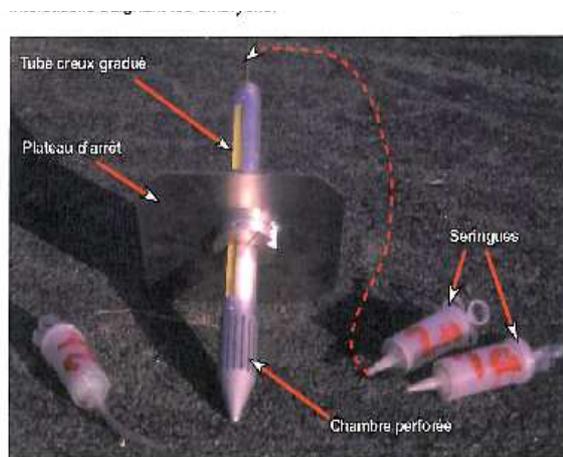
Le suivi des deux sources principales de la Loue à Ouhans permettrait de comprendre les problématiques d'apports phosphorés (figure 36) sachant qu'elles constituent deux des apports principaux de phosphore au cours d'eau. Leur localisation les place en outre directement en rapport avec les problématiques de mortalités piscicoles observées dès Mouthier. Ce suivi permettrait également de définir les variations de flux et les variations du rapport N/P sur la Haute Vallée.

Proposition 3. Suivi de la qualité des bancs sédimentaires

Les bancs sédimentaires où se déroulent les phénomènes de downwelling et d'upwelling sont des zones fonctionnelles et stratégiques des capacités auto-épuratoires des cours d'eau. Ils sont accessoirement le site privilégié du frai des espèces lithophiles comme l'ombre et de la truite fario. L'appréciation **de la fonctionnalité** actuelle de ces sites est primordiale.

Il s'agira donc :

- de proposer des descripteurs pertinents de la fonctionnalité de ces sites et de préciser la qualité de leur eau interstitielle **en plusieurs points d'infiltration et de restitution**. Les bancs sédimentaires étudiés seront judicieusement répartis sur le linéaire de la Loue ; l'étude pourrait s'étendre à différents cours d'eau franc-comtois.



Proposition 4. Suivi de la qualité des nappes d'accompagnement (éléments partiellement existants dans les suivis AEP)

Des pompages en nappe d'accompagnement existent à Lods, Montgesoye Ornans, Quingey, Chay, Chamblay (liste non exhaustive). Les teneurs en nappe de NTK, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, PT et les comparaisons amont-aval ne manqueraient pas d'apporter des éléments pertinents sur les charges en nutriments et leur évolution le long du cours d'eau. Ces éléments pourraient être comparés à termes avec les phénomènes sédimentaires à mettre en évidence dans le cours d'eau même.

On rappelle que les nappes d'accompagnement participent également à l'activité auto-épuratrice des cours d'eau par des phénomènes de captage-restitution.

Proposition 5. Synthèse bibliographique

Le gros manque actuel de nos données est une synthèse globale des apports de phosphore au bassin versant Loue. Il faut financer une compilation de données sur le fonctionnement et les apports de Phosphore issus de STEP domestiques, de STEP industrielles (fromageries), de STEP mixtes. Il semble intéressant de s'intéresser aux à coups d'apports de phosphore en précisant la récurrence des phénomènes de crues d'une part, la périodicité voire la concomitance des déphosphatations en stations d'épuration.

Proposition 6. Utilisation des données suivis AEP sur captages eau brute.

Cette étude à été l'occasion d'utiliser des données sous-exploitées jusqu'à présent : le suivi de la qualité des eaux à la station d'AEP de Chenecey. L'utilisation de ces données est extrêmement pertinente (en particulier quand on peut la coupler à une chronique d débit) de sorte qu'il faudrait envisager de la généraliser.

Dans le cadre de nos problématiques de mortalités piscicoles sur les cours d'eau franc-comtois l'utilisation des données AEP Mathay, AEP Champagnole (sources de l'Ain), autres...doit être envisagée.

Proposition 7. Suivi de l'azote organique.

L'azote organique se présente désormais comme un paramètre déclassant de nos cours d'eau. Il semble pertinent de l'intégrer à des campagnes de suivi. Dans un premier temps on pourrait envisager de financer le suivi de ce paramètre sur les stations AEP eaux brutes de la région. A termes on envisagera de le réintégrer aux suivis départementaux ou nationaux...

En corollaire du travail effectué en synergie avec la Chambre d'Agriculture du Doubs (Complément au Suivi de la qualité des eaux des sources du Maine et de Plaisir Fontaine), les pistes évoquées pour réduire les impacts des activités agricoles sont les suivantes :

- Travailler sur le ruissellement et la protection des ruisseaux temporaires ou permanents de tête de bassin
- Mettre en place une réglementation des fertilisations **sur cultures** en AOC Comté.
- Mettre en place une politique de protection des terres à nu hivernales (CIPAN Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates. Engrais vert)
- Limiter les exploitations en tout lisier à des territoires suffisamment pourvus en sols profonds
- Mettre en place des pratiques d'analyses des sols et des effluents d'élevage avant fertilisation.
- Travailler sur le stockage des fumières en bout de champ. (Couverture. Epaisseur des sols. Étanchéité.)
- Travailler sur les amendements d'automne, les problématiques de prairies permanentes ou temporaires . Travailler sur les pratiques de retournement (y inclure l'effet des problématiques campagnol). Comprendre les pratiques nouvelles de traitement round up et préciser leurs impacts. Préciser l'adéquation entre nature des amendements, sols et risques pour le milieu aquatique.

Les tableaux ci-dessous précisent les premières réponses apportées par la chambre d'agriculture.



Propositions Eaux Continentales	Commentaire Chambre d'Agriculture
Travail sur le ruissellement et la protection des ruisseaux temporaires ou permanents de tête de bassin	Maintien en herbe obligatoire de tous les bords de cours d'eau (5 à 10 m) 0 engrais - 0 phytos, limitation des accès des animaux au lit des cours d'eau à promouvoir. APB : maintien des 20 m en bordure du cours d'eau, pas de produits phytosanitaires
Mettre en place une réglementation des fertilisations sur cultures en AOC Comté...?	Difficile à mettre en œuvre, le CIGC préconise des pratiques liées la gestion des prairies, pas des cultures
Mettre en place une politique de protection des terres à nu hivernales (CIPAN Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates. Engrais vert)	A mettre en œuvre mais peu de cultures de printemps. Quelles conséquences économiques liées à la mise en place de ces mesures ? Réflexions et essais à mettre en place au cours de l'été 2012 sur le retournement des prairies temporaires (date, mode de destruction, culture suivante implantée, travail du sol,...)

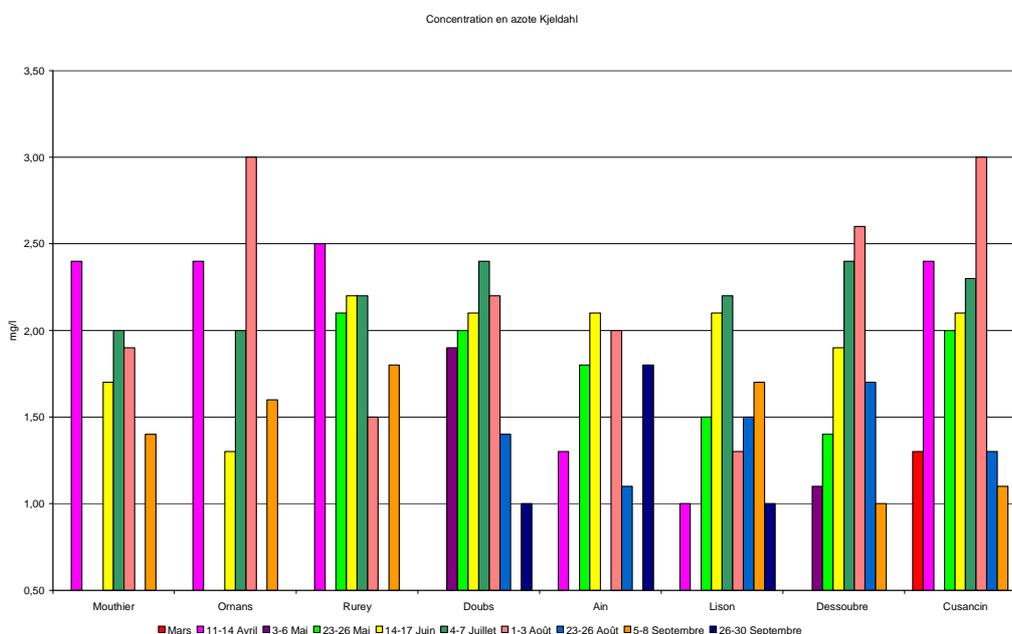


Propositions Eaux Continentales	Commentaire Chambre d'Agriculture
Limiter les exploitations en tout lisier à des territoires suffisamment pourvus en sols profonds	Acté dans le cadre du PMBE. Tout projet lisier doit être précédé d'un plan d'épandage garantissant la disponibilité suffisante de sols à haut pouvoir épurateur. Rien de réglementaire en dehors du PMBE (voir SAGE ou RSD) et compatibilité avec les règles d'urbanisme.
Mettre en place des pratiques d'analyses des sols et des effluents d'élevage avant fertilisation.	Analyses d'effluents à développer (les rendre obligatoires dans les plans d'épandage ?), analyses de reliquats azotés en fin d'hiver sur cultures à développer.
Travailler sur le stockage des tas de fumier en bout de champ. (Couverture. épaisseur des sols. Étanchéification?)	Interdire les dépôts de fumier sur sols superficiels et à proximité des dolines (figure déjà dans les préconisations dans les plans d'épandage). Possibilité de préciser le RSD dans ce sens.

9. Annexes

Annexe 1 : Azote organique dans les cours d'eau franc-comtois.

Le suivi des développements d'algues sur 6 cours d'eau franc-comtois montre une présence récurrente d'azote organique dans l'eau dans des concentrations modérées à fortes.



Si l'on se réfère aux différentes grilles d'appréciation : RNB puis SEQ Eau:

Appréciation selon anciennes grilles RNB		Appréciation selon SEQ Eau II	
< ou = 1mg/l	situation normale	< ou = 1mg/l	Très bon état
1 à 2 mg/l	pollution modérée	1 à 2 mg/l	Bon état
2 à 3 mg/l	pollution nette	2 à 4 mg/l	Etat moyen
3 à 10 mg/l	pollution importante	4 à 10 mg/l	

Il apparaît que les 6 cours d'eau suivis montrent de façon plus ou moins régulière une pollution nette par l'azote organique (en l'absence globale d'ammonium mesuré).

Les cours d'eau les plus touchés sont le Cusancin et la Loue à Rurey avec 40 % des campagnes en pollution nette ou importante (selon anciennes grilles de qualité).

Les pics les plus forts sont observés dans la campagne d'août 2011 sur la Loue à Ornans, le Dessoubre à Saint-Hippolyte, et le Cusancin à l'aval de Pont-les-Moulins.

Les phénomènes de présences récurrentes d'azote organique excessif dans l'eau touchent l'ensemble des cours d'eau franc-comtois suivis et traduisent une charge excessive provenant des bassins versants.

Annexe 2. La Loue à Chenecey (résultats suivi AEP Ville de Besançon)

L'ammonium

Nous étudierons 3 courbes caractéristiques de conditions hydrologiques variées. 2003. 2007. 2009

Notons avant tout que les teneurs en NH_4 restent conformes aux limites de qualité de Nisbet-Verneaux 1973, entre quelques centièmes et 0.1 mg/l.

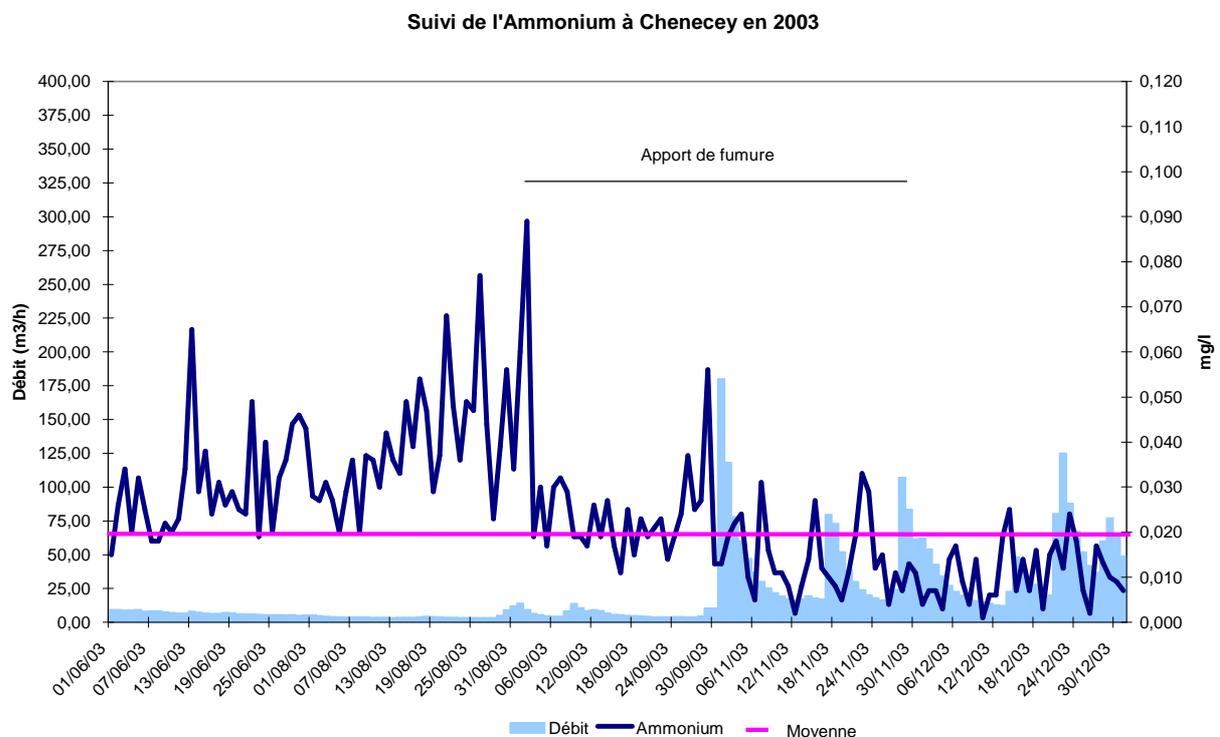
Malgré tout sa présence habituellement transitoire dans l'eau se révèle permanente à l'étiage et semble traduire une perturbation nette de l'oxygénation du cours d'eau.

Notons en effet que ces concentrations sont des concentrations moyennes mesurées dans la masse d'eau. Elles ne présagent pas de concentrations particulières mesurées à ras du fond, au droit des développements d'algues voire sous la couche d'algues en période de prolifération.

Ainsi la présence de NH_4 à l'étiage pourrait être interprétée comme :

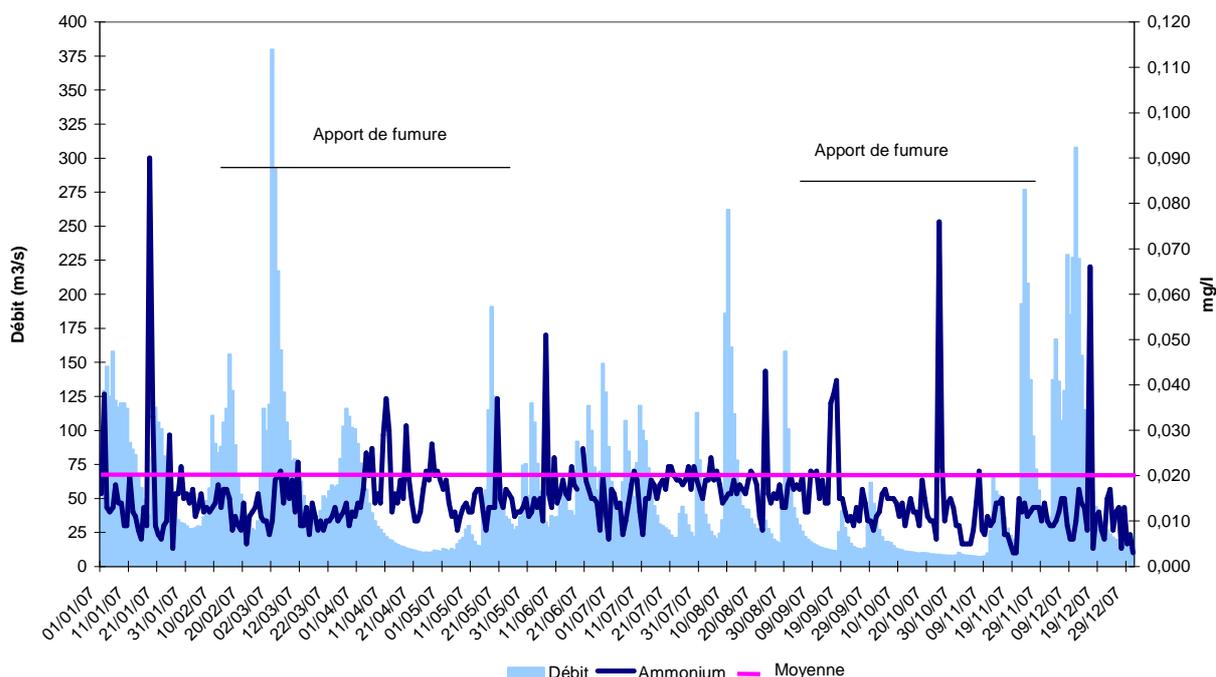
- la conséquence des transferts eau sédiments (ammonification dans le sédiment et relargage).

Sa concentration dans l'eau semble en tous cas liée aux débits et conséquemment au potentiel d'oxygénation de l'eau de la Loue (que nous qualifierons de saisonnièrement insuffisant).



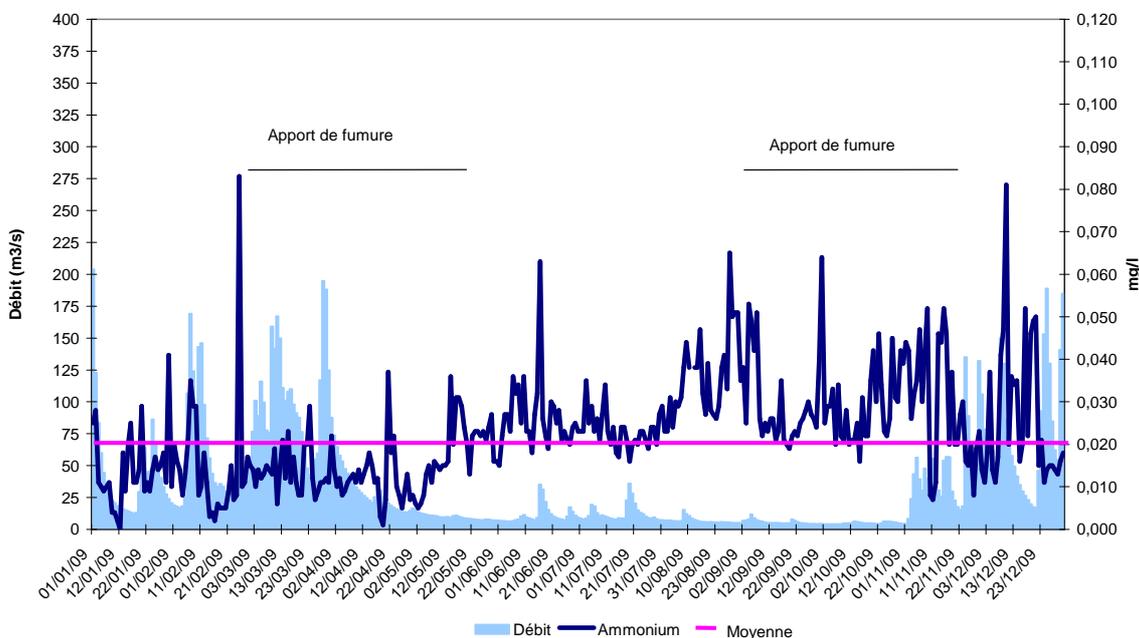
2003 ne montre pas de lien direct entre concentration dans l'eau et apports de fumures. Les concentrations maximales sont observées lors de l'étiage marqué (juillet à fin août). Les premiers mouvements d'eau de fin août-début septembre divisent les concentrations par 3. Le retour à des débits soutenus ramène les concentrations largement sous la valeur moyenne de 0.020 mg/l

Suivi de l'ammonium à Chenecey en 2007



2007 montre un apport plus régulier de NH_4 à des concentrations généralement comprises entre 0,010 et 0,020 mg/l. 3 pics automnaux suspects pourraient être potentiellement liés aux fumures le 15 septembre entre le 20 et le 30 octobre puis à la mi-décembre.

Suivi de l'Ammonium à Chenecey en 2009



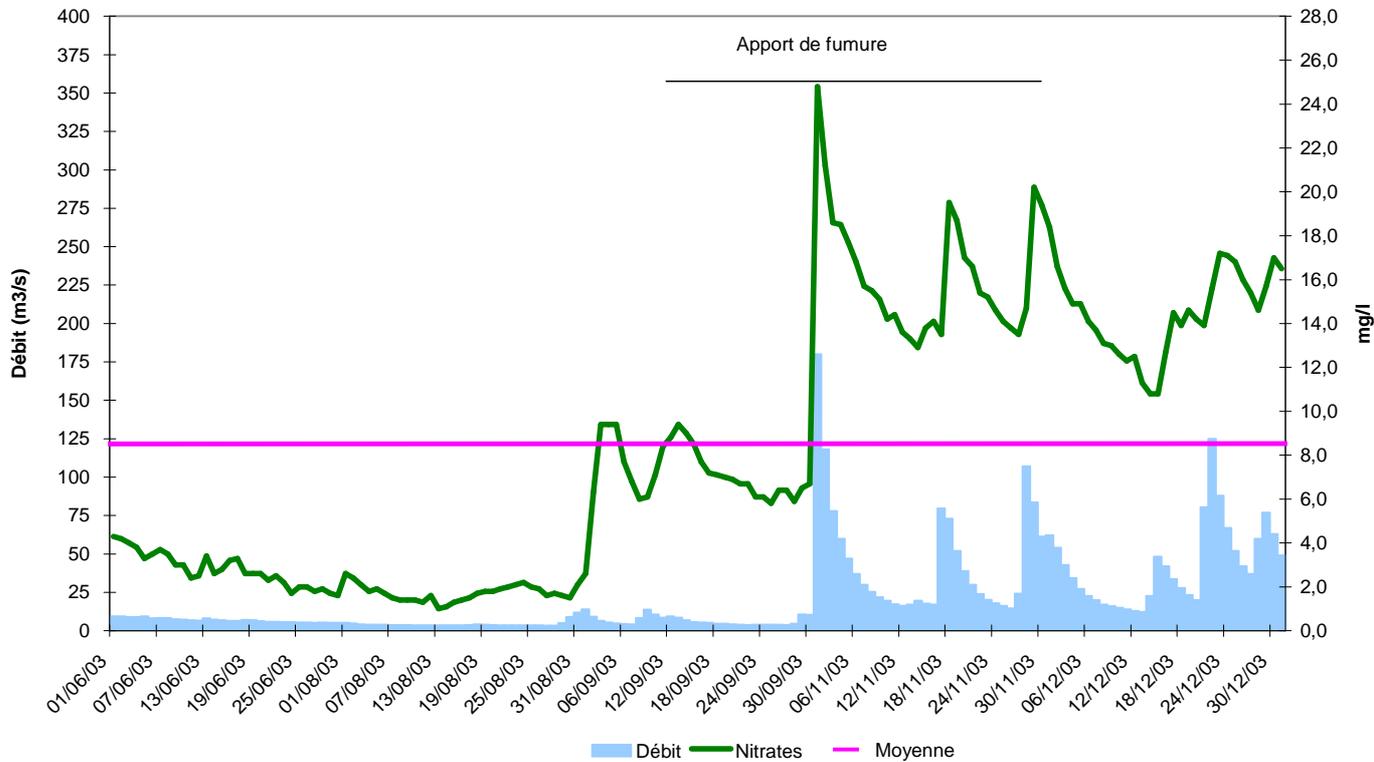
2009 montre une répartition des apports comparable à 2003 avec des concentrations qui restent supérieures à la moyenne durant toute la période d'été.

Pour le NH_4 , les pics de pollution sont sporadiques et ne montrent pas une diffusion massive de ce polluant par le bassin versant. (ce que confirme le suivi des sources du Maine et de plaisirfontaine).

Les nitrates.

Nous étudierons à nouveau 3 courbes caractéristiques de conditions hydrologiques variées. 2003. 2007. 2009

Evolution des nitrates à Chenecey en 2003



2003 est caractérisé par un étiage extrêmement marqué et durable. Les éléments dont nous disposons sur l'AEP Chenecey montre une absence de précipitation du 1er juin au 28 août.

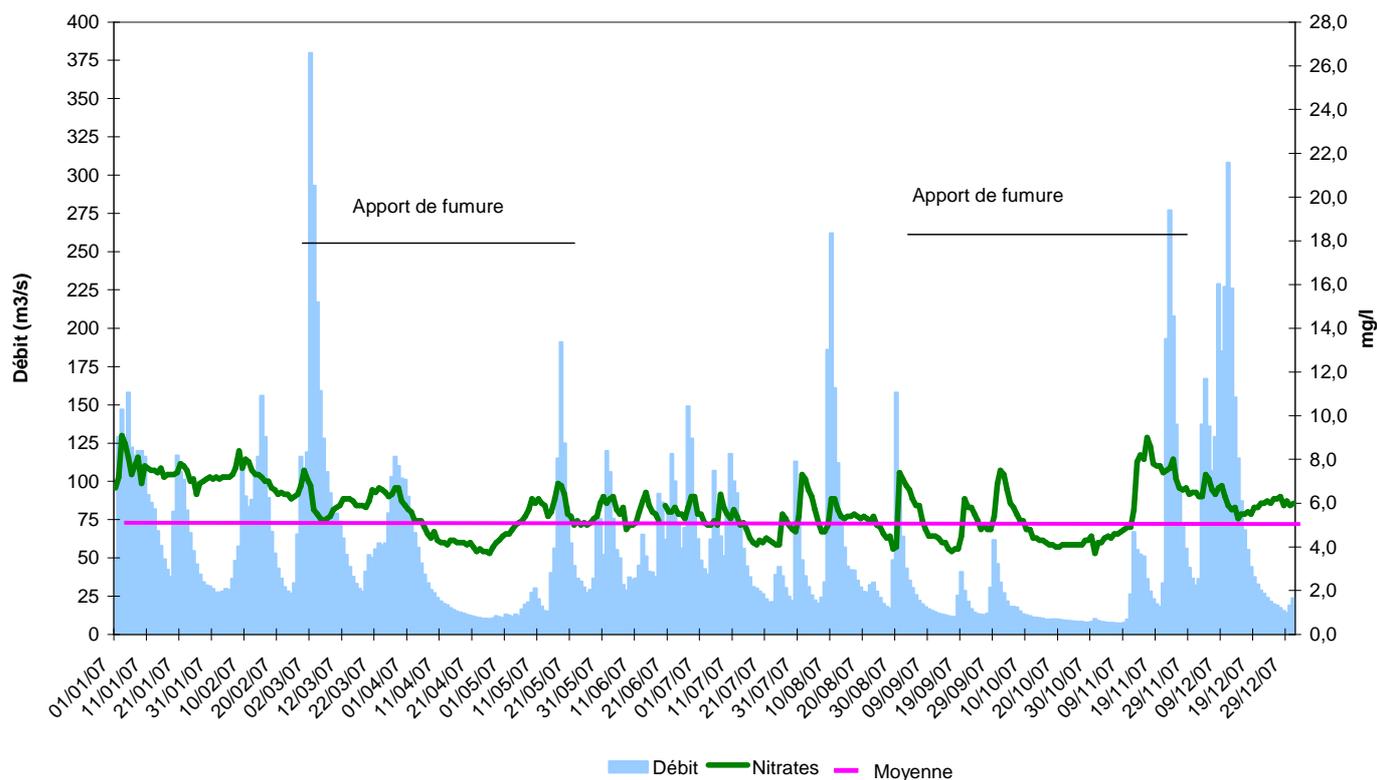
L'absence de lessivage (percolation) se traduit par des concentrations en NO₃ particulièrement faibles (conformes aux références Verneaux d'absence de pollution) entre 2 et 4 mg/l.

Les premières pluies faibles mais significatives (fin août 2003), triplent les concentrations qui atteignent des valeurs proches de la moyenne à 7 mg/l mesurée entre début juin et fin décembre.

La première crue déclenche un apport en masse de nitrates au cours d'eau. Elle intervient en outre dans la période de fumure et le pic atteint est très important à 25 mg/l (maximum de la chronique 2003-2010).

La suite de la courbe montre des pics de pollution très liés aux épisodes de crue qui confirment le caractère extrêmement lessivable de ce nutriment.

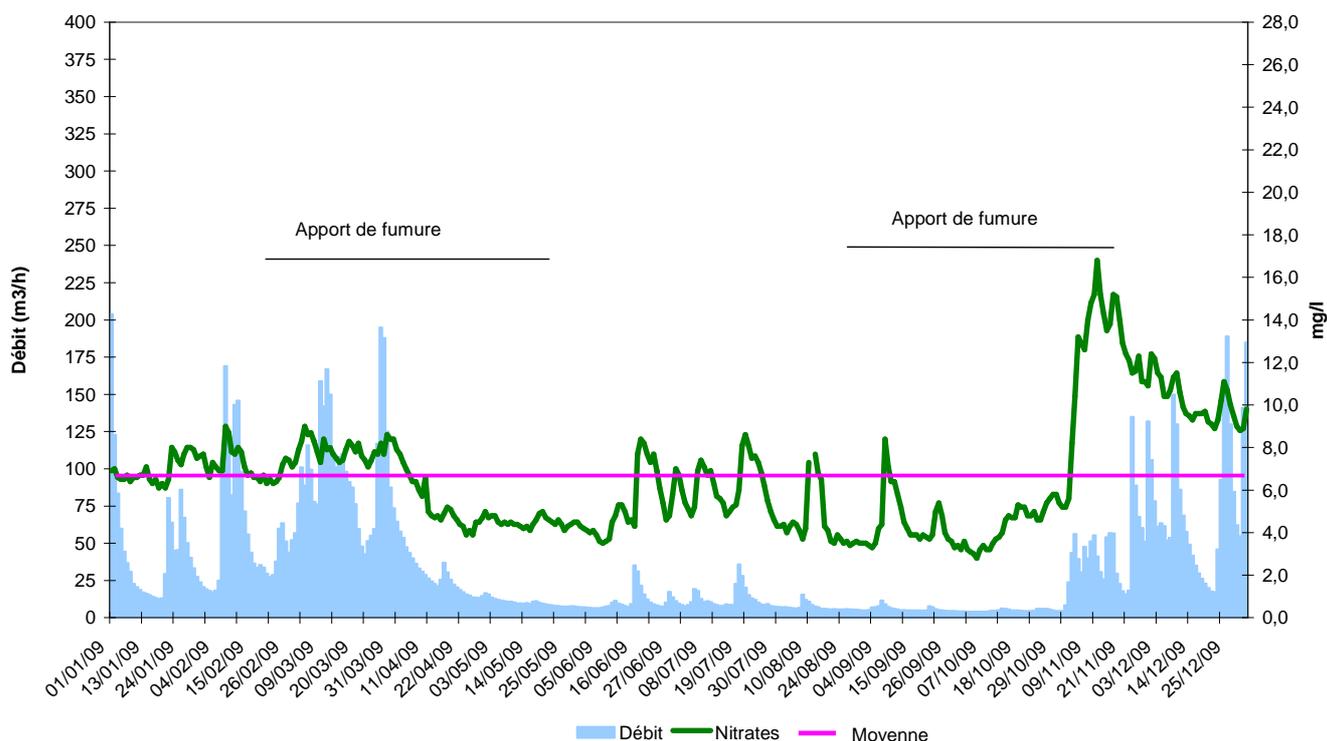
Suivi des nitrates à Chenecey en 2007



2007 est caractérisé par une pluviométrie régulière ou hormis deux courts étiage le cours d'eau atteint ou dépasse régulièrement des débits de 70 m³/s .

Dans ces conditions d'année pluvieuse, les apports de nitrates sont assez homogènes, et la contamination des eaux oscille entre 4 et 9 mg/l avec une moyenne à 5 mg/l. Les 2 périodes d'étiage montrent les concentrations les plus basses. L'apport automnal de fumure se traduit par un pic modeste à 9 mg/l.

Suivi des nitrates à Chenecey en 2009



2009 montre une courbe nitrate qui reprend les caractéristiques de celles de 2003 en moins accentuée. Des valeurs faibles sont atteintes lors du long étiage printanier. Les moindres pluies significatives doublent les concentrations dans le cours d'eau.

Les premières crues automnales (après fumure) déclenchent comme en 2003 l'arrivée massive de nitrates au cours d'eau

Sur l'ensemble des courbes analysées, les fumures printanières ne se traduisent pas par une augmentation des teneurs en nitrates dans la Loue à Chenecey (consommation par les prairies et les cultures en phase de pousse).

Une pluviométrie idéalement répartie lisse les concentrations journalières autour de 7 mg/l (années 2007-2008).

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	moyenne
NO3 mg/l	8.5	8.6	7.3	7	5.7	6	6.6	6.9	7

Les fumures automnales sont moins bien tamponnées par les milieux ; lorsqu'elles sont associées à des périodes de précipitations suivant les étiages estivaux, les teneurs sont rapidement doublées pour atteindre des pics de 14 mg/l en 2005, 16 mg/l en 2009 et 25 mg/l en 2003.

Ces observations confirment les prescriptions de la chambre d'agriculture de Lorraine : « Les épandages de fin d'été ou début d'automne doivent être limités (tonnage à l'hectare réduit) afin de réduire au maximum les risques de transferts d'azote dans le milieu ».

Notons enfin que les valeurs références d'eau non altérées par les nitrates sont atteintes sur la Loue à Chenecey lors des étiages marqués (+ ou - 3 mg/l mesurés).

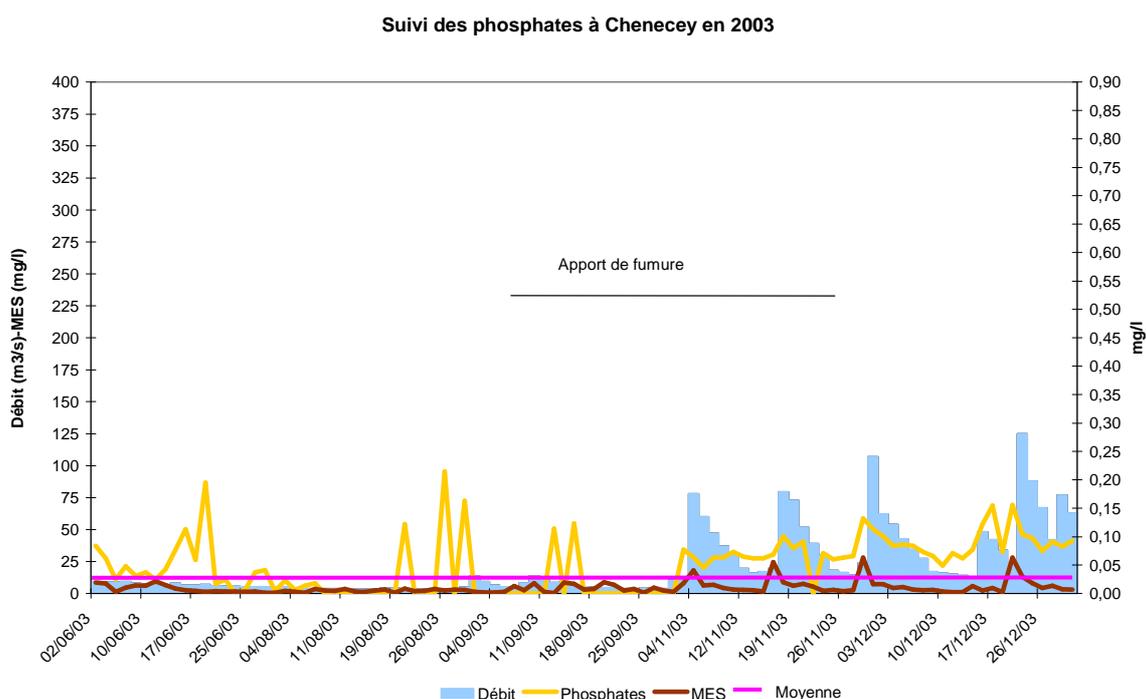
Ces valeurs sont à comparer aux 7 mg/l de NO₃ mesurés en moyenne soit une teneur moyenne plus que 2 fois supérieures à la normale.

Le calcul des flux journaliers (débit x concentration) entre le 1^{er} janvier 2009 et le 30 Septembre 2010 définit un flux moyen de 5.7 tonnes/j de NNO₃ (variant 0.23 t/j à 39.8 t/j) soit 25 tonnes/j de NO₃

On peut considérer que les 4/7^{ème} de ces nitrates sont en excès soit 3.25 tonnes/j de NNO₃ ou 14.4 tonnes/j de NO₃ dont l'origine est à rechercher dans les lessivages de terres agricoles et les rejets de STEP.

Les phosphates

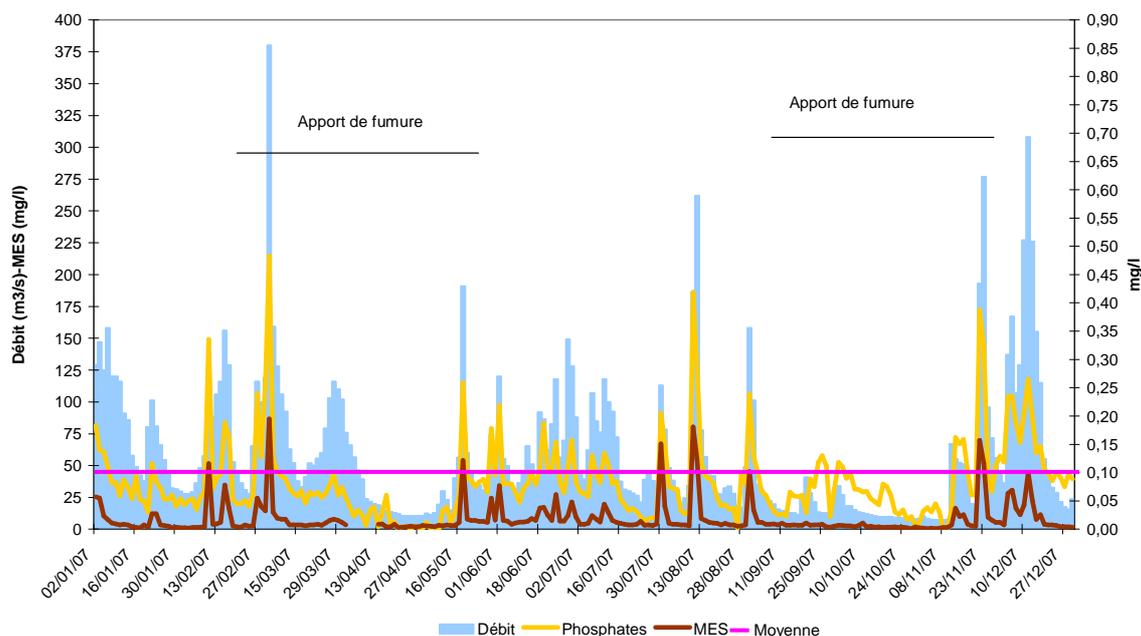
Nous étudierons à nouveau 3 courbes caractéristiques de conditions hydrologiques variées. 2003. 2007. 2009



Des pics de phosphates apparaissent à Chenecey en période d'étiage. Ils ne peuvent être attribué à des ruissellements (absence de précipitation, pas de pics de MES) et doivent donc être considérés comme des apports d'origine essentiellement anthropiques (STEP).

Les apports liés aux phénomènes de ruissellements (accroissement des débits et de la MES) apparaissent à partir du début novembre 2003.

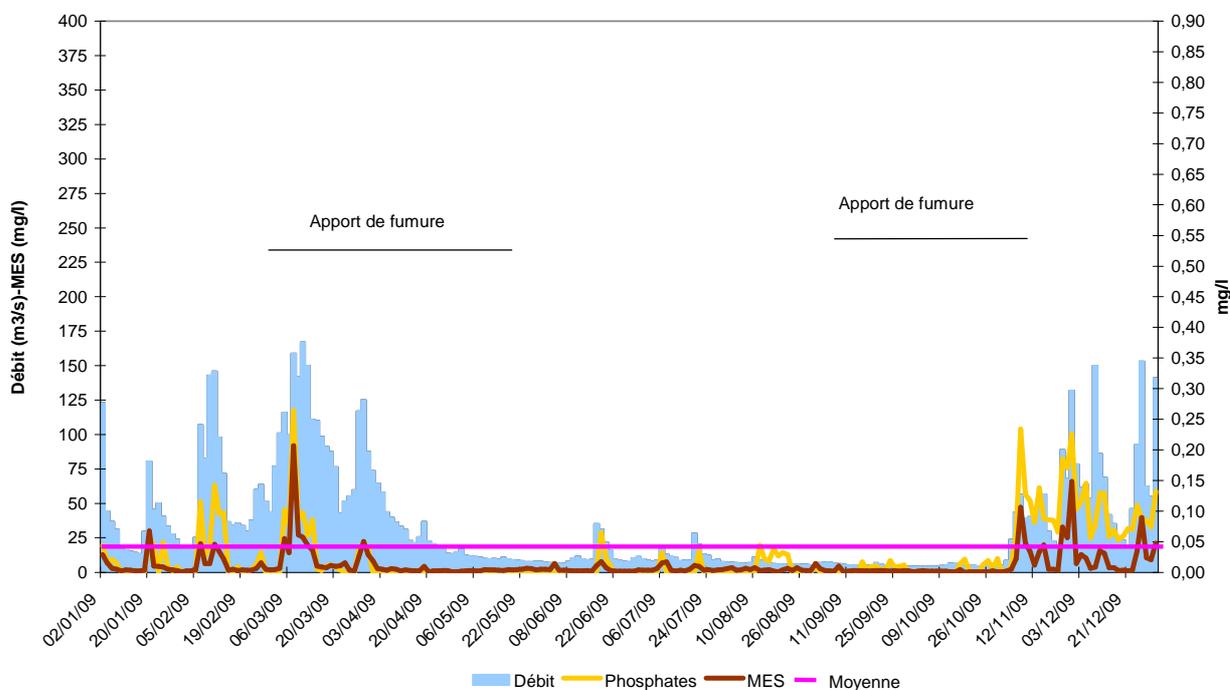
Suivi des phosphates à Chenecey en 2007



En 2007, année pluvieuse les pics de phosphates apparaissent fortement liés aux crues et aux pics de MES tout au long de l'année.

L'été automnal montre à nouveau des apports de phosphates dont l'origine est à dominante anthropique.

Suivi des phosphates à Chenecey en 2009



Les phénomènes observés en 2009 confirment les observations antérieures. Pics de pollution en période de crue. Concentrations faibles à l'été hors pollutions passagères.

Annexe 3. Synthèse sur l'azote et les phosphates dans la Loue

L'azote organique

Notons l'information nouvelle (ou en tout cas fort peu développée jusqu'à présent) de percolation d'azote organique directement au cours d'eau, forme azotée dont les concentrations sont importantes dans la Loue et ses affluents et qui poursuit sa transformation dans le milieu aquatique participant alors à la désoxygénation globale du système.

Les nitrates

Les apports en azote minéral sur le département du Doubs en 30 ans ont été multipliés par 2. Ils sont stables, voire en baisse légère depuis le milieu des années 1990 (CA25) ce que pourrait corroborer l'évolution des concentrations moyennes annuelles en nitrates dans l'eau à Chenecey depuis 2003.

Les nitrates extrêmement sensibles au lessivage se dirigent rapidement vers les cours d'eau (vitesse de transfert de l'ordre de 1 m par an dans les sols épais structurés à rapporter donc à nos épaisseurs faibles de sols sur le 1^{er} et 2^{ème} plateau).

Il en résulte des pics importants de nitrates lors des événements pluvieux avec une grande variabilité interannuelle des concentrations retrouvées dans les cours d'eau en général et la Loue en particulier à Chenecey.

Les amendements printaniers semblent largement profiter aux cultures et prairies du bassin versant puisqu'ils n'apparaissent pas sous la forme d'augmentation de la concentration temporaire dans l'eau de la Loue. Les nitrates restent cependant en excès dans le milieu aquatique. Rappelons à ce sujet que les concentrations mesurées dans l'eau ne font pas état de la consommation réalisées par les végétaux aquatiques ou de l'évolution dans les sédiments.

Au contraire les nitrates du sol apparaissent comme largement lessivés en automne. Ils sont la résultante de la fertilisation (engrais et effluents de printemps) non utilisée par les plantes, de la minéralisation naturelle des sols, et d'une part à préciser des effluents d'élevage d'automne.

Selon la C.A. 25, les épandages d'automne et en particulier de lisier sont indispensables pour permettre de disposer de capacités de stockage suffisantes au cours de l'hiver (c'est quoi une capacité de stockage suffisante). Ils sont de loin préférables aux épandages hivernaux.

Par ailleurs les risques liés aux épandages de compost ou de fumier sont moindres que ceux liés aux épandages de lisier. L'intérêt agronomique de ces pratiques et de leur application mériteraient donc d'être précisés.

Au final et en période d'étiage, les nitrates comparativement aux références anciennes Verneaux Nisbet 1970 apparaissent comme largement en excès dans la Loue à des concentrations 2 fois supérieures à celles attendues.

Ces concentrations anthropiques favorisent donc le développement algal avec 2 taxons dominants sur la Haute et Moyenne Loue : Vaucheria (100% à Mouthier) et Cladophora dont la représentation relative augmente avec l'éloignement et probablement le réchauffement du cours d'eau.

Les phosphates.

Les apports en phosphore agricole minéral ont été divisés par 6 en 30 ans sur le département du Doubs.

L'évolution des apports d'origine domestique reste à préciser mais est à priori également en baisse (amélioration des lessives, déphosphatation dans les STEP les plus importantes)

La teneur en phosphore pourrait donc apparaître comme périodiquement limitante sur la Loue pour certains taxons.

Son mode d'apport par à coup pourrait au contraire être favorable au développement « brutal » de taxons présentant des exigences particulières pour cet élément tels que les cyanophycées.

Quoiqu'il en soit l'évolution importante du rapport N/P à l'étiage est susceptible de jouer sur la représentation relative des taxons végétaux consommateurs de ces nutriments.

DIREN FC & AGENCE DE L'EAU., 1995 : Franche Comté. Carte de la Qualité des Eaux. Synthèse des données acquises de 1988 à 1994.

EAUX CONTINENTALES.2011. En cours. Suivi des développements d'algues des Rivières franc-comtoises.

EAUX CONTINENTALES 2011. Complément au Suivi de la qualité des eaux des sources du Maine et de Plaisir Fontaine.27 Février au 03 aout 2011.

FROSSARD V., 2006 : Etude des Proliférations Algales sur la Loue. Eté 2006. Rapport Master QTEBV. Univ. Franche Comté. 111p.

NISBET M., & VERNEAUX J., 1970 : Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. Annales de limnologie, t.6, fasc.2, p.161-190.

TOURENNE D & COSTILHES F., 2011 : Sous Bassin de Plaisir Fontaine. Enquête des pratiques agricoles. Chambre d'Agriculture du Doubs.

TURPIN N., VERNIER F., JONCOUR F., 1997 : Transferts de nutriments des sols vers les eaux – Influences des pratiques agricoles. Synthèse Bibliographique. Cemagref. Ingénieries-EAT-N°11, p.3-16.

VERNEAUX J., 1973 : Cours d'eau de Franche Comté. Recherches écologiques sur le réseau Hydrographique du Doubs. – essai de biotypologie -. Thèse. Univ Franche Comté. 261p.