

RAPPORT

DREAL Centre

Délégation de bassin
Loire Bretagne

Juillet 2012

Annexe 5

Étude des flux de nitrates sur le bassin Loire Bretagne

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir



Direction régionale de l'Environnement,
de l'Aménagement et du Logement Centre

www.centre.developpement-durable.gouv.fr

Annexe 5 :
Etude des flux de nitrates sur le
bassin Loire-Bretagne

Note présentée aux DREAL du bassin Loire-Bretagne en novembre 2011,
mise à jour en mars 2012.

Etude des flux de nitrates sur le bassin Loire-Bretagne

1 Objectifs :.....	2
2 Méthode :.....	2
2.1 Données :.....	2
2.2 Calcul du flux.....	3
2.2.1 Calcul d'une concentration de flux moyenne sur l'année :.....	3
2.2.2 Calcul du flux annuel :.....	3
2.3 Discussion sur la méthode d'évaluation des flux :.....	4
2.3.1 Typologie : relation C-Q : (Moatar et al, 2009), voir thèse p.48.....	4
2.3.2 Variabilité hydrologique.....	5
2.4 Méthodes utilisées par le SoeS.....	6
3 Flux et concentrations à l'estuaire :.....	7
3.1 Calcul à l'estuaire de la Loire.....	7
3.2 Résultats du GIP Loire Estuaire.....	8
3.3 Calcul à l'estuaire de la Vilaine	9
4 Contribution des sous-bassins versants de la Loire.....	10
5 Travaux en cours :.....	12

Objectifs :

- Évaluer la contribution de la Loire au phénomène d'eutrophisation marine
- Évaluer la contribution des sous-bassins versants de la Loire au flux de nitrates parvenant à l'estuaire de la Loire

Méthode :

Le principe est de calculer des flux de nitrates, en utilisant des données de concentration et de débit, à l'exutoire des grands sous-bassins versants de la Loire et à l'exutoire de la Loire.

Données :

Les données de concentrations de 1971 (les plus anciennes disponibles sur OSUR) à fin 2010 sont utilisées. Les données sur les débits journaliers et débits moyens annuels depuis 1971 sont connus à partir de la banque HYDRO.

Stations de mesures utilisées :

Sur la Loire :

	Nevers	Cours-les-Barres	Gien	Tours	Langeais	Saumur	Ponts-de Cé	Montjean-sur-Lo	Sainte Luce/Nantes
Débitmètre	K1930010	K4000010	K4180010	K4900030	K6830020	L8000020	L8700010	M5300010	M6240010
Qualitomètre	04026000	04045900	04048000	04055800	04072200	04102990	04103200	04134700	04137000

Aucune station hydrométrique n'est disponible sur la Loire en aval de la confluence avec l'Indre.

Sur les affluents de la Loire :

	Allier à Cuffy	Cher à Tours		Indre à Monts	Vienne à Ingrandes	Vienne à Chinon	Loir à Durtal	Sarthe à Saint-Denis d'Anjou	Mayenne à Chambellay	Oudon à Segré
Débitmètre	K3650810	K6710910		K7522620	L3200610	L7220610	M1531610	M0680610	M3630910	M3851810
Qualitomètre	04045000	04071050	04071500	04074800	04086400	04097900	04110000	04122100	04130000	04132000

Sélectionner ces deux stations sur la Vienne nous permet d'évaluer la contribution de la Creuse.

Sur la Vilaine :

	Rieux
Débitmètre	J9300610/J930061
Qualitomètre	04216000

Les stations de mesure de débit ou des paramètres physico-chimiques ont été sélectionnées de par leur proximité avec les confluences et leurs chroniques de données les plus complètes possibles.

Calcul du flux

Calcul d'une concentration de flux moyenne sur l'année :

A chaque mesure de concentration est affectée le débit journalier correspondant. La concentration de flux moyenne année par année est ensuite calculée:

$$C = \frac{\sum (Q_j * C_j)}{\sum Q_j}$$

Le travail est effectué sur des années hydrologiques.

Calcul du flux annuel :

$$\text{Flux} = C * Q_{\text{moyen annuel}}$$

Discussion sur la méthode d'évaluation des flux :

La méthode de calcul utilisée est celle du produit du volume annuel écoulé par la concentration moyenne pondérée par les débits échantillonnés (Littlewood, 1992).

L'université de Tours a beaucoup travaillé sur la notion de flux et les incertitudes liées aux calculs de flux. La thèse de Sébastien Raymond : Incertitudes des flux transportés par les rivières (MES, nutriments, sels dissous) Vers un système expert d'optimisation des méthodes de calcul- est très complète sur ce sujet. Elle a été soutenue en janvier 2011.

Elle s'appuie sur des travaux précédents, notamment ceux effectués dans le cadre de VARIFLUX (Birgand, Moatar en 2009, ou Moatar, 2006..)

Le travail de thèse s'attache à évaluer les méthodes de calcul de flux les plus performantes pour chaque composé (MES, nutriments ou sels dissous) en évaluant les biais et incertitudes.

Il apparaît que l'algorithme utilisé (appelé DWC pour Discharge Weighted mean Concentration method) se révèle bien adapté pour le calcul d'un flux annuel de nutriments dissous tels que les nitrates.

En effet, c'est l'une des méthodes pour laquelle les incertitudes et les biais sont les plus faibles.

Il existe néanmoins des incertitudes sur le calcul, liées à :

- La variabilité hydrologique (caractérisée par le W2%)
- La relation débit/concentration (variabilité géochimique liée au b50sup) caractérisée par la courbe LogC en fonction de LogQ. Le b50sup est la pente de la courbe de tendance des couples (logC, logQ) pour des débits supérieurs aux débits médians.

Nous avons étudié ces indicateurs à Montjean sur Loire :

Typologie : relation C-Q : (Moatar et al, 2009), voir thèse p.48.

Les couples (C;Q) sont répartis en fonction du débit médian.

- Pour des débits inférieurs au débit médian, la pente est égale à 0.85
- Pour des débits supérieurs au débit médian, la pente est égale à 0.1

La Loire à Montjean appartient donc à la catégorie « c-S » selon la typologie développée par Moatar :

Les concentrations en nitrates augmentent avec le débit, puis se stabilisent pour des débits supérieurs au débit médian.

Pour les rivières de ce type testées dans le travail de S.Raymond, les biais sont très faibles mais les incertitudes variables (Ces incertitudes peuvent être importantes). La méthode de calcul peut également générer des sous-estimations.

La méthode DWC reste néanmoins recommandée pour un calcul de flux avec une fréquence d'échantillonnage mensuel (c'est le cas des données que nous avons utilisées à Montjean). En effet, par rapport aux autres méthodes de calcul étudiées dans cette thèse, les estimations sont peu ou pas biaisées avec le calcul DWC et les incertitudes plutôt faibles.

Variabilité hydrologique

La variabilité hydrologique, que l'on peut quantifier à partir de l'indicateur W2% est également un facteur d'incertitude dans le calcul des flux. Nous l'avons calculé sur la Loire à Montjean pour 2009-2010, année hydrologique au débit annuel moyen.

Le W2% correspond au pourcentage maximal de flux d'eau écoulé en 2% du temps. Pour 2010, c'est le pourcentage de flux d'eau écoulé en 7 jours (calculé à partir des 7 débits journaliers les plus importants de l'année, voir p.46 de la thèse).

À Montjean, il est égal à 6.2% (soit une variabilité hydrologique faible). Les incertitudes liées à la variabilité hydrologique dans le calcul du flux par la méthode DWC sont donc faibles pour la Loire à Montjean.

La méthode DWC permet d'utiliser l'abaque développé par Moatar et al, en 2006. On connaît ainsi les incertitudes liées au calcul de flux en fonction de la fréquence d'échantillonnage.

À Montjean, la fréquence d'échantillonnage est d'un prélèvement tous les 30 jours. Le flux de matière en 2% du temps (estimé par la formule $M2\% = W2\% + 26.7 \cdot b_{50sup}$ (Moatar et al, 2011 (en cours))) est de 8.9% à Montjean.

L'incertitude liée au calcul de flux serait donc inférieure à 10%.

Pour une incertitude de +/-5%, une fréquence d'un échantillon tous les 10 jours est recommandée.

Pour plus de détails, voir les travaux menés actuellement par l'université de Tours (fin de la note).

Méthodes utilisées par le SoeS

Deux méthodes sont utilisées dans le logiciel Rtrend développé dans le cadre de la convention OSPAR. Dans le cas où seules peu de mesures sont connues (moins de 12 par an), c'est la méthode DWC qui est utilisée.

Dans le cas où l'on a plus de 12 mesures par an, les concentrations journalières sont reconstituées à l'aide d'une interpolation linéaire. Le flux annuel est alors égal à la somme des flux journaliers. Cette méthode est basée sur l'hypothèse que la concentration d'un polluant varie peu pendant la période de temps où le prélèvement est effectué. À chaque valeur de concentration C_i est associée une période de temps i égale à la moitié du nombre de jours séparant le prélèvement i du prélèvement $i-1$ et $i+1$. Pour chaque période i , un flux peut être calculé. Le flux annuel est la somme des i flux. Étant donnée l'hypothèse de départ, cette méthode doit s'appliquer sur un nombre suffisant de données.

En effet, les concentrations varient dans le temps et le fait de les estimer constantes sur une période de temps peut créer un biais sur la valeur du flux final.

Les résultats de la thèse de S. Raymond montrent que la méthode d'interpolation linéaire (dite IRC) crée également des biais et incertitudes pour les nitrates, mais peut également être utilisée (ce sont les deux méthodes recommandées). Cette méthode peut être intéressante pour le calcul de flux de MES ou de sels dissous.

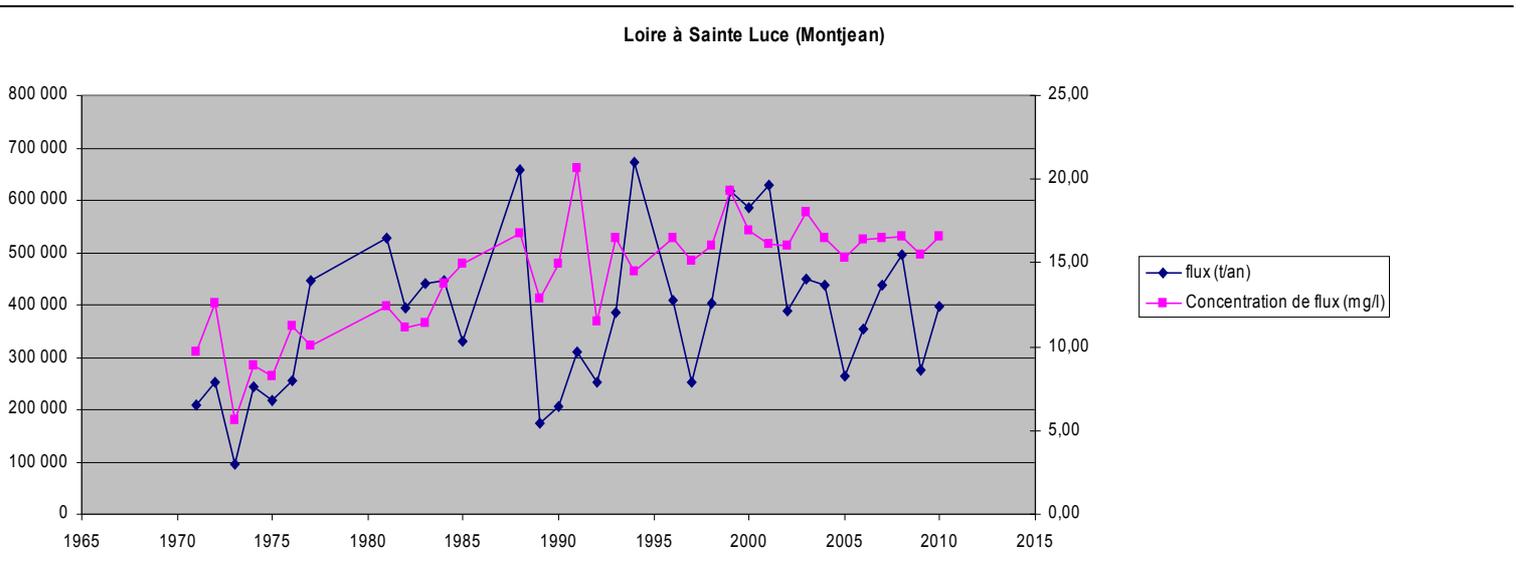
Dans le cas où la fréquence d'échantillonnage augmente, les incertitudes liées à la méthode DWC diminuent. Il peut donc s'avérer intéressant de garder la même méthode quelle que soit la fréquence d'échantillonnage.

S.Raymond préconise, dans le cas général, l'utilisation de concentrations pondérées par les débits (DWC).

Flux et concentrations à l'estuaire :

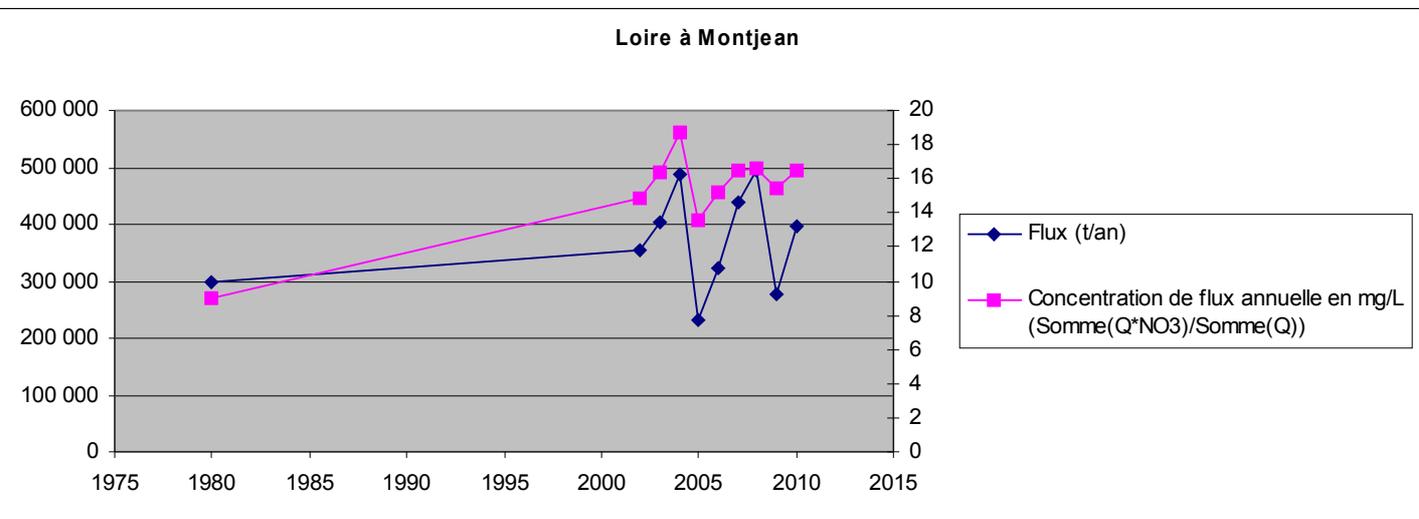
Calcul à l'estuaire de la Loire

Nous avons utilisé les données des stations de Montjean (Qualité et débit) , Sainte Luce (Qualité) / Nantes (Débit). La chronique de concentrations de Sainte Luce, qui s'arrête en 2006, peut être complétée avec celle de Montjean. Ne disposant pas de débitmètre à Sainte-Luce, les mesures de celui de Nantes ont été utilisées. L'évolution est la suivante sur 40 ans à Sainte-Luce :



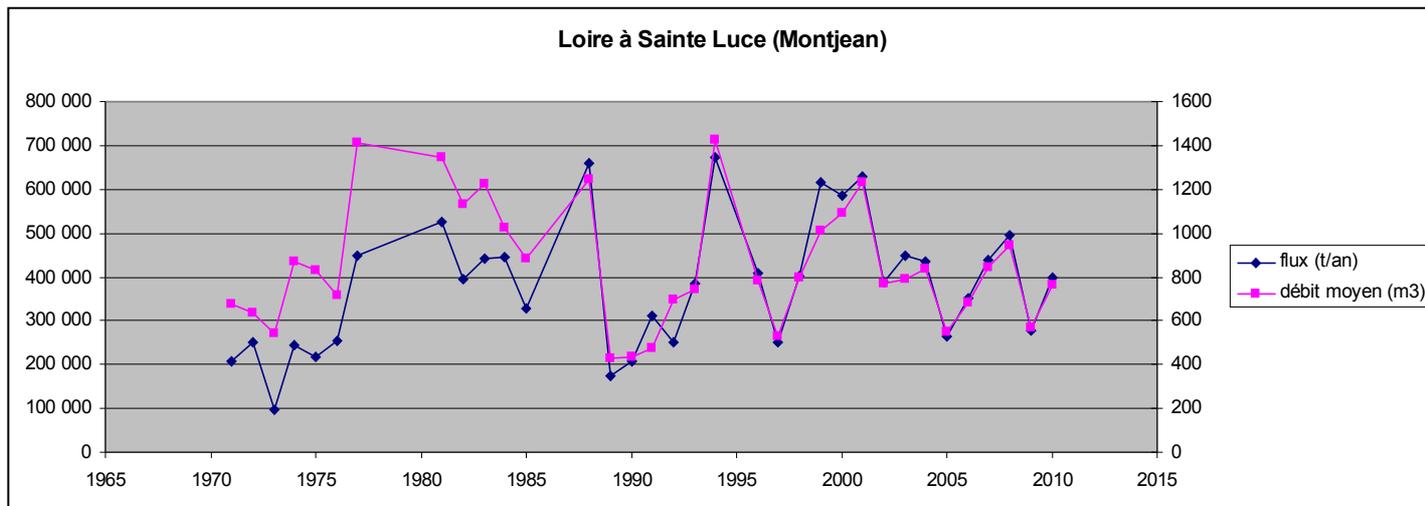
Sainte Luce est située en aval de Montjean. L'influence du bouchon vaseux pourrait se faire sentir sur nos calculs de flux. Néanmoins, la chronique de concentrations à Montjean est moins ancienne que celle de Sainte-Luce (une année de mesure en 1980, puis de 2002 à aujourd'hui).

La tendance à l'estuaire est à l'augmentation sur 40 ans, à la fois des flux de nitrates et de



la concentration moyenne annuelle. La concentration de flux annuelle semble se stabiliser depuis 1985 autour de 16mg/l.

En 2010 à Montjean, le flux de nitrates est évalué par notre calcul à 400 000 t environ. La concentration de flux annuelle est de 16,4mg/l.



Les flux de nitrates, après avoir fortement augmenté, voient la tendance à l'augmentation se stabiliser depuis 1995. Les concentrations sont corrélées aux débits. Néanmoins, les concentrations augmentent peu pour les années à très forte hydraulicité. Cela rejoint les conclusions sur la typologie liées au b50sup.

Résultats du GIP Loire Estuaire

Le GIP Loire-Estuaire a effectué une analyse de l'évolution des concentrations et des débits à Sainte-Luce depuis 1996.

Ses conclusions confirment nos résultats. Elles sont les suivantes :

« toute croissance du débit se traduit généralement par une augmentation de la concentration. Cependant, cette relation est limitée puisque les maxima, de 20 à 25mg/l, ne correspondent pas aux pics de crue ». En outre, depuis 1996, il note peu d'évolution des concentrations minimales et maximales en nitrates.

En outre, L.Gorse a effectué un bilan des entrées de matières dans l'estuaire de la Loire en partenariat avec l'université de Brodeaux, le GIP et le CNRS.

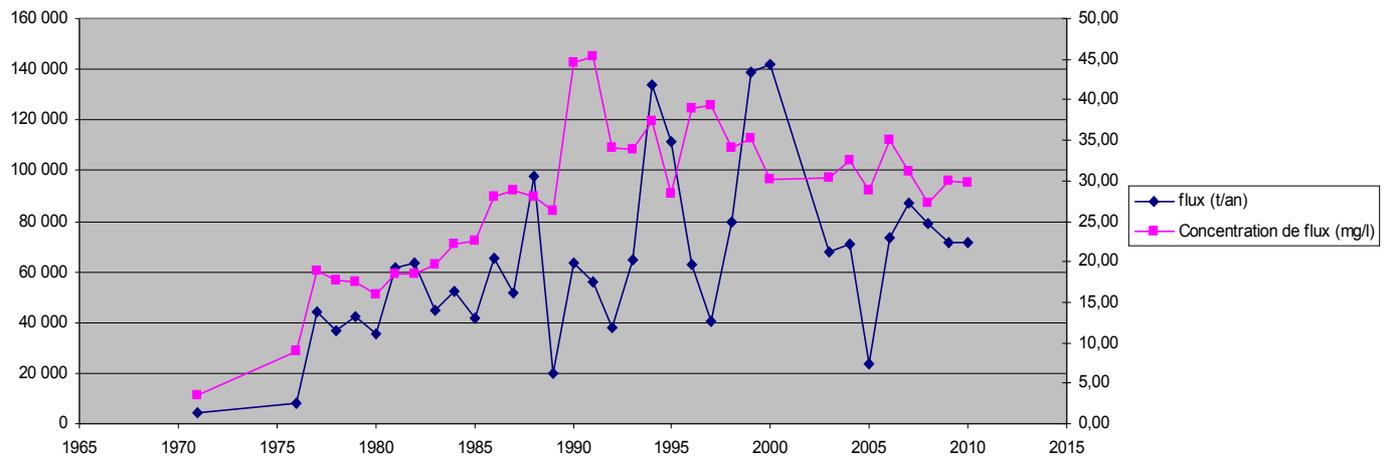
A Montjean, en 2009-2010 et durant 9 mois, ont été effectuées des mesures de nitrates à la fréquence d'une tous les 3 jours. Elles ont permis de calculer un flux annuel (somme des produits des débits et concentrations journalières). Pour 2009, celui-ci est estimé à $0.26 \cdot 10^6$ t. Notre calcul nous amenait à $0.27 \cdot 10^6$ t en 2009. La différence est négligeable.

Cette campagne d'analyses a été reconduite pour 2010-2011. Les résultats devraient être réactualisés sous peu.

Calcul à l'estuaire de la Vilaine

Nous avons effectué à titre de comparaison le même travail à l'estuaire de la Vilaine :

Vilaine à Rieux



La tendance est à l'augmentation sur 40 ans, en terme de concentration ainsi qu'en terme de flux de nitrates annuel. La concentration de flux annuelle semble baisser lentement à partir de 1993, et passer de 35mg/l à 29 mg/l.

En 2010 à Rieux, le flux de nitrates est évalué à 72 000 t environ. La concentration de flux annuelle est de 29.8mg/l.

La concentration est beaucoup plus élevée que dans la Loire. Les débits étant plus faibles, le flux de nitrates est 4 fois inférieur à celui transporté par la Loire.

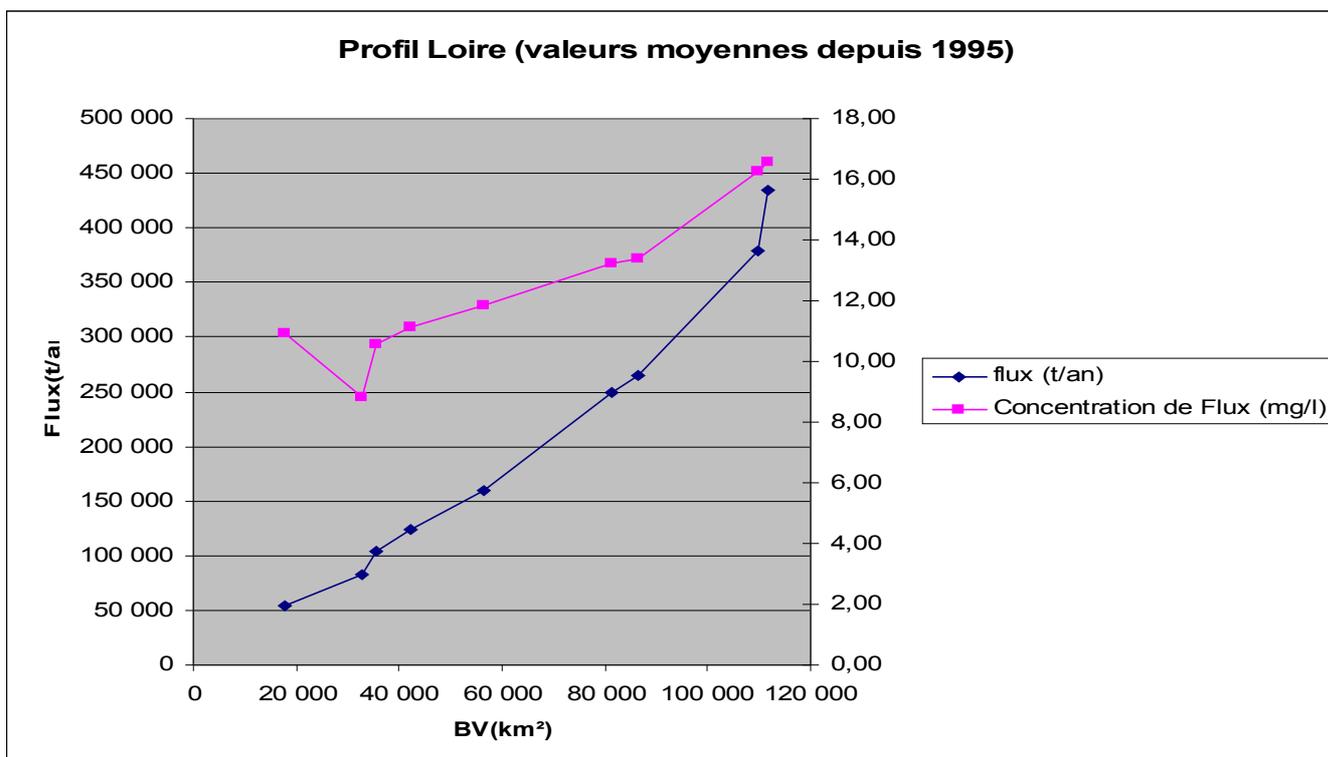
Contribution des sous-bassins versants de la Loire

L'analyse des concentrations et débits a été faite aux points suivants :

	Nevers	Cours-les-Barres	Gien	Tours	Langeais	Saumur	Ponts-de Cé	Montjean-sur-Loire	Sainte Luce/Nantes
BV (km ²)	17570	32610	35500	42130	56480	81200	86289	109930	111570

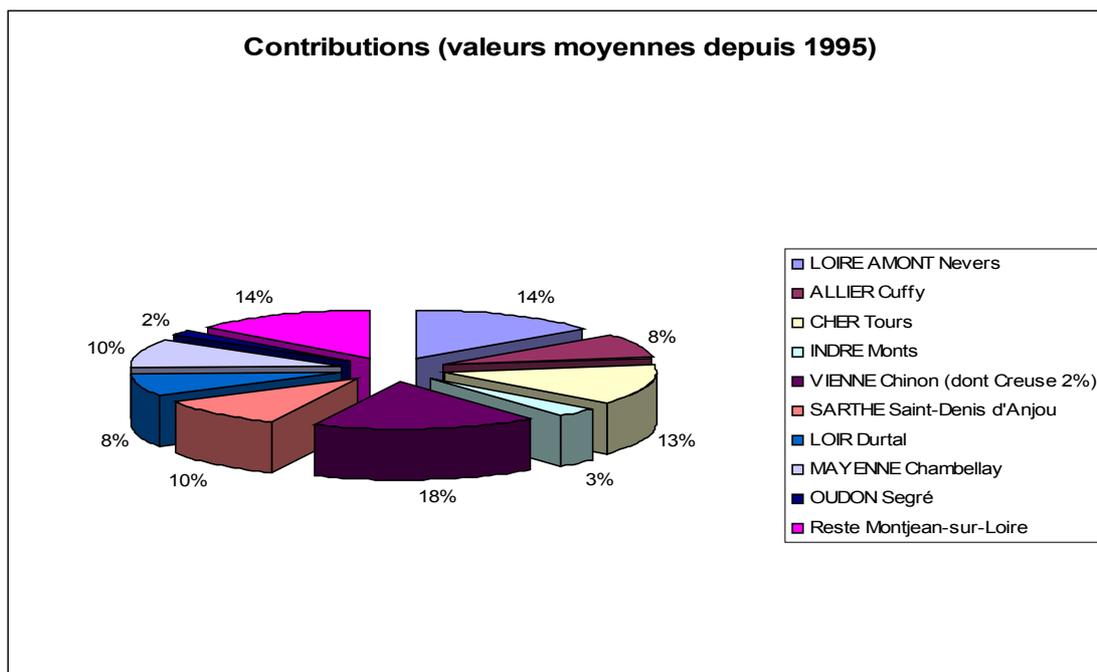
Le calcul a été effectué sur les concentrations et débits disponibles depuis 1995 (période de stabilisation) : la chronique de données est variable en fonction des stations.

Les évolutions moyennes du flux de nitrates et de la concentration de flux en fonction de la superficie des bassins versants drainés sont les suivantes :

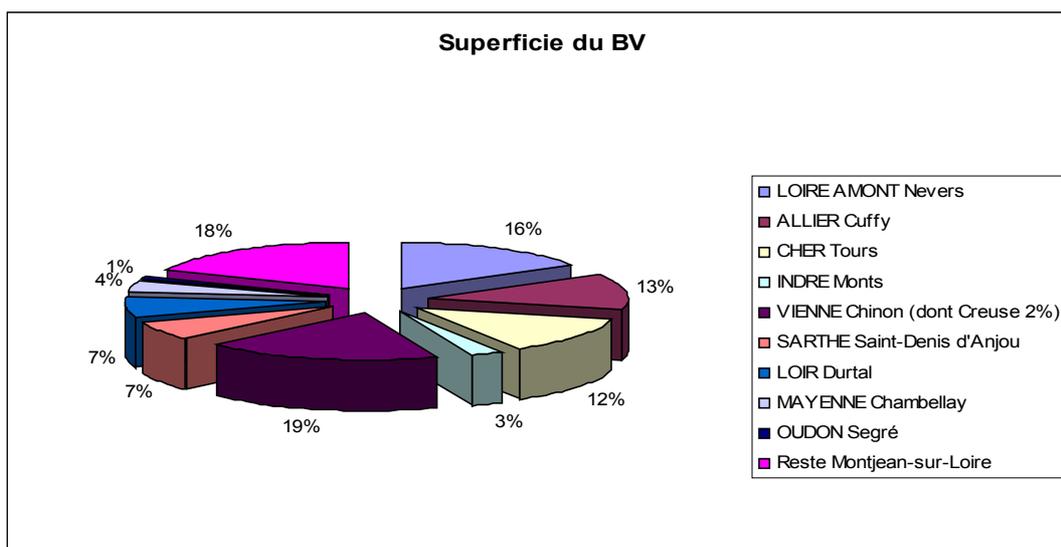


Le tableau suivant présente les contributions moyennes des BV de l'Allier, du Cher, de la Vienne, de l'Indre, du Loir, de la Sarthe, de la Mayenne et de l'Oudon, à partir des valeurs de débits et concentrations disponibles à chaque station depuis 1995.

MOYENNE depuis 1995	LOIRE		LOIRE				LOIRE		LOIRE			LOIRE		LOIRE		LOIRE		
	ALLIER					CHER		INDRE	VIENNE				SARTHE	LOIR	MAYENNE	LOUDON		
	Nevers	Cuffy	Cours-les-Barres	Gien	Tours	Tours	Langeais	Monts	Ingrandes	Chinon	Saumur	Ponts-de Cé	Saint-Denis d'Anjou	Durtal	Chambellay	Segré	Montjean-sur-Loire	Sainte Luce/Nantes
Flux (t/an)	54 575	31 784	82 834	104 004	123 667	50 176	159 680	13 181	49 713	64 900	249 486	265 630	37 537	28 698	37 929	7 166	378 494	435 137
Concentration de Flux (mg/l)	10,93	8,69	8,81	10,55	11,12	20,99	11,85	20,04	14,10	11,93	13,23	13,38	24,77	26,86	28,15	44,03	16,25	16,58



En terme de superficie, le « poids » relatif des différents bassins versants est le suivant :



A titre d'exemple, les flux du bassin de la Maine représentent en moyenne sur 15 ans 30 % du flux de la Loire à l'estuaire, alors que ce bassin représente à peu près 20% de la superficie totale du bassin de la Loire. Les concentrations de flux moyennes sur les quinze

dernières années sur les cours d'eau du bassin de la Maine sont les plus fortes de celles calculées sur le bassin de la Loire.

Le travail a été effectué sur des flux moyens depuis 1995 car il existe une forte variabilité des données disponibles par année et des contributions annuelles.

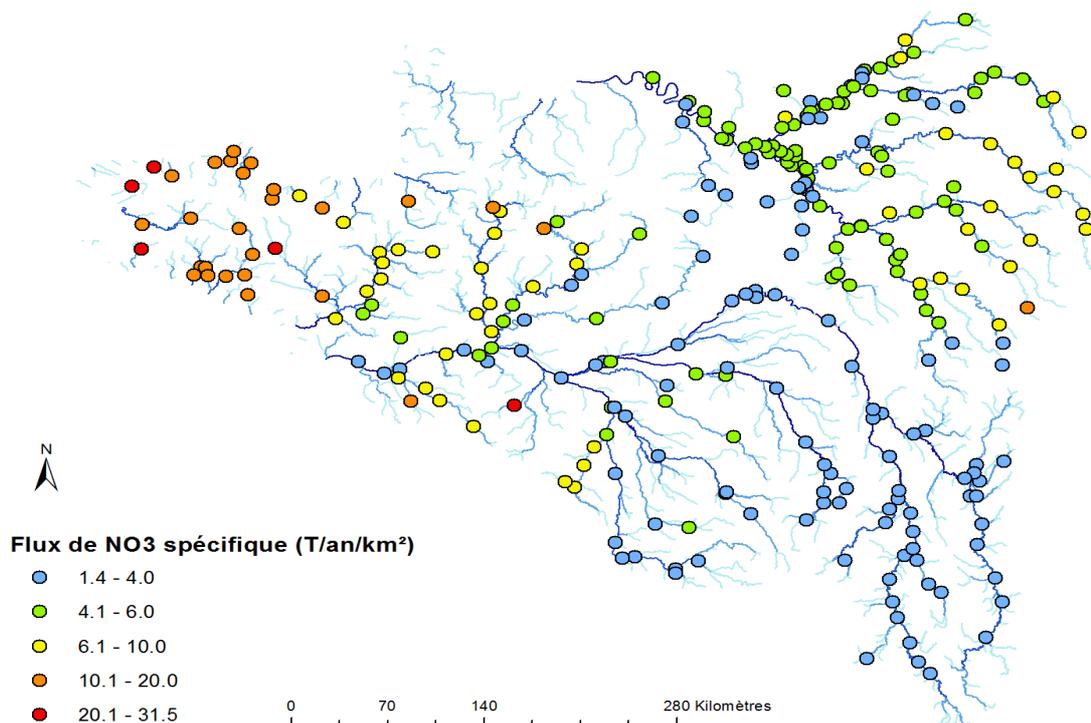
N.B : La DREAL Pays de Loire a effectué également un travail sur l'évolution des concentrations et des flux en nitrates de la Loire à l'estuaire. La contribution du bassin versant de la Maine a également été appréciée.

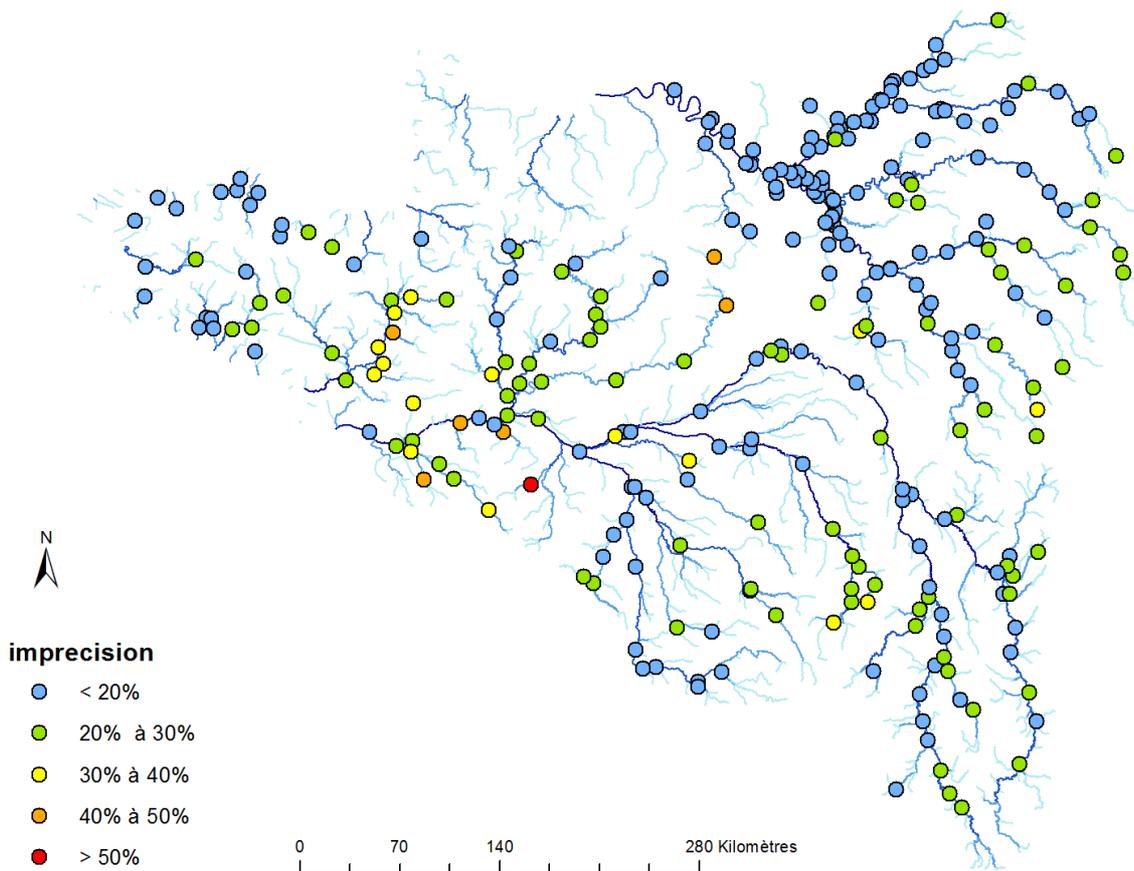
Les conclusions sont les suivantes :

« - si le bassin de la Maine (Mayenne + Sarthe + Loir) représente, sur les neuf années étudiées (de 2001 à 2011) de 10 à 18 % de l'apport en eau de la Loire à Montjean, il représente, en flux d'azote lié aux nitrates entre 19 et 31 %
- dans une tendance globale à la hausse sur les 40 dernières années, il n'y a pas, sur la Loire, de tendance notable à la baisse qui puisse être isolée des seules conditions hydrologiques »

Travaux en cours :

L'Université de Tours travaille actuellement sur la problématique de flux dans le bassin Loire-Bretagne. Cette étude fait suite aux travaux évoqués plus haut (Moatar, Raymond). Dans ce cadre, les flux et imprécisions ont été étudiés en différents points du bassin versant. La méthode utilisée est celle des DWC (celle que nous avons utilisée). Pour les imprécisions, le tableau p.21 de l'article en cours de publication ([A holistic approach to predicting uncertainties when monitoring riverine material fluxes](#), Moatar et al.) a été utilisé. Les cartes associées sont les suivantes :





Les bassins versants bretons apparaissent nettement comme les plus contributeurs (avec une bonne précision dans le calcul des flux).

L'étude est en cours sur 4 périodes <80, 80-90, 90-2000, > 2000, ce qui permettra d'avoir une idée de l'évolution.