

Calculs des flux annuels et des flux spécifiques annuels d'azote nitrique des principaux fleuves et rivières de Bretagne

Octobre-décembre 2003

Julie VINSON

Comité de pilotage de l'étude :

Pierre AUROUSSEAU, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes
Vincent DE BARMON, Direction régionale de l'Environnement de Bretagne
Claire MORISSON, Direction régionale de l'Environnement de Bretagne
Franck PRIOUL, Direction régionale de l'Environnement de Bretagne

SOMMAIRE

Introduction.....	3
I. CHOIX DES STATIONS.....	4
A. DESCRIPTION DU JEU DE DONNÉES INITIAL.....	4
B. CRITÈRES DE SÉLECTION DES STATIONS	5
1) <i>Fréquence de suivi (en mesure de concentration)</i>	5
2) <i>Longueur de la série chronologique</i>	6
C. MÉTHODE DE COMPLEMENT DES SÉRIES DE CONCENTRATION.....	6
1) <i>Impact de la méthode choisie sur la valeur de la concentration</i>	6
1) <i>Impact de la méthode choisie sur les flux annuels</i>	7
D. RÉSULTATS	8
1) <i>Liste des stations utilisables</i>	8
1) <i>Couplage avec une station de jaugeage</i>	9
2) <i>Etude des séries de débits</i>	10
3) <i>Bilan sur les stations utilisées</i>	11
II. CALCULS DES FLUX D'AZOTE.....	13
A. DONNÉES INITIALES	13
B. CALCULS DES FLUX AU POINT DE SUIVI	15
1) <i>Explication des calculs</i>	15
1) <i>Récapitulation pour chaque station</i>	15
C. EXTRAPOLATION À L'EXUTOIRE.....	16
D. EXTRAPOLATION À L'ENSEMBLE DE LA BRETAGNE.....	16
E. RÉSUMÉ DES EXTRAPOLATIONS UTILISÉES POUR FAIRE LES CALCULS	16
F. EXTRAPOLATION À L'ENSEMBLE DE LA BRETAGNE.....	17
III. CONCLUSION	19
Liste des Figures et Tableaux.....	20
Bibliographie.....	20
Liste des Annexes	22

INTRODUCTION

Dans le domaine des nitrates, les études et analyses actuelles portent essentiellement sur les concentrations en nitrates dans les cours d'eau. Ceci pour une simple raison : la norme qui fixe la limite de qualité pour l'eau potable est de 50 milligrammes par litre (mg/L) de nitrates. L'attention est donc naturellement portée sur cette limite. Toutefois, dans une optique plus générale, il est tout aussi important de s'intéresser aux flux de nitrates, et par extension d'azote. La mise en place de la Directive Cadre sur l'Eau, confère une importance particulière aux flux dont dépendent les conséquences environnementales en particulier en zones côtières et en estuaire.

Le flux (généralement exprimé en kg/an) est la quantité de matière émise par une rivière pendant un temps donné. Il est le résultat du produit entre le débit d'eau (en général en m³/s) et la concentration de la substance étudiée dans la colonne d'eau (en général en mg/L). Le flux permet d'évaluer la quantité de nitrates qu'apporte une rivière en un point donné, voire à son exutoire. Pourquoi calculer les flux ? Parce qu'en termes écologiques, ils ont des impacts importants sur de nombreux phénomènes. En particulier sur l'eutrophisation du milieu marin, qui est due aux apports continentaux d'azote et de phosphore. Il est donc nécessaire de connaître ces flux, et surtout d'étudier leur évolution. A moyen terme, les études poussées sur ces flux permettront d'après l'institut français de l'environnement (IFEN, 2002) « d'évaluer l'étendue du problème (qu'est-ce qui provient de la terre), de partager les responsabilités (agriculture, industrie, urbanisation, ...) en relation avec le calcul des émissions polluantes, de savoir si les politiques de réduction des apports mises en place sont efficaces ».

L'objectif de l'étude présentée ici est plus restreint. Il s'agit d'étudier les rivières de Bretagne, et de réaliser les calculs de flux à proprement parlé. Les données initiales sont issues du réseau de stations de suivi de la direction régionale de l'environnement de Bretagne (Diren). Ces données ont d'abord dû être étudiées pour permettre de choisir les stations qui permettraient de faire les calculs de flux (disponibilité des données). Le détail de ce choix est présenté dans la première partie de ce rapport. Ensuite, la procédure de calcul a été mise en place et elle est présentée dans la deuxième partie. Il semble important de préciser ici que les calculs présentés concernent les flux d'azote nitrique (N-NO₃), même si ce n'est pas précisé à chaque fois dans le texte. Enfin, dans une dernière partie, quelques analyses sont effectuées sur les valeurs et sur les graphiques obtenus suite aux calculs, en se basant essentiellement sur les flux spécifiques (flux divisé par la surface du bassin versant, exprimé en kg/ha/an), qui permettent de comparer les stations entre elles et de les comparer surtout au reste de la France.

I. CHOIX DES STATIONS

Le réseau des stations de suivi de la qualité des eaux dont nous disposons présente un certain nombre d'hétérogénéité concernant la répartition des mesures des concentrations en nitrates. D'une part le nombre de suivi par an n'est pas constant d'une année sur l'autre. D'autre part, les suivis n'ont pas toujours commencé la même année et n'ont donc pas tous des périodes importantes de suivi. Or dans l'objectif de calculer les flux de nitrates et d'estimer les variations annuelles, deux éléments sont importants : l'écart temporel entre deux mesures de concentration, et le nombre d'années consécutives ayant fait l'objet d'un suivi. Il est donc important de se fixer des limites en terme de fréquence de suivi et de longueur des séries chronologiques. Ensuite, en fonction de ces critères, nous pourrions sélectionner les stations répondant au mieux à ces paramètres et permettant les calculs.

A. Description du jeu de données initial

Le jeu de données est initialement constitué de 122 stations de suivi (sous entendu suivi des concentrations en nitrates). Ces stations font l'objet de 1 à 32 mesures de concentration par an, et de 1 à 33 années de suivis (consécutives ou non), avec en général des stations suivies entre 11 et 14 années (Figure 1).

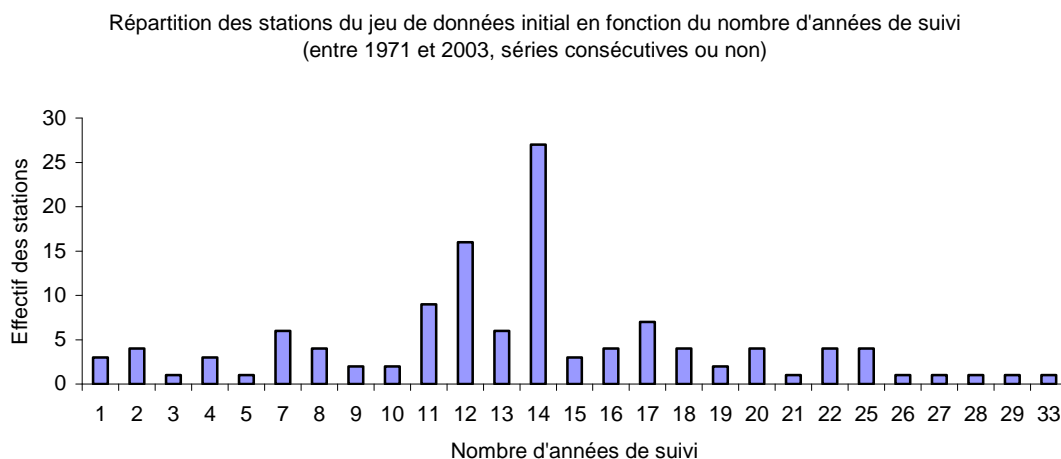


Figure 1 : Répartition des stations du jeu de données initial en fonction du nombre d'années de suivi

Les suivis ont commencé en 1971 et se poursuivent jusqu'en 2003 pour certains. La plupart des suivis ont malgré tout commencé en 1991 (Figure 2).

Répartition des stations du jeu de données initial en fonction des années
(avec de 1 à 32 mesures de concentration par an)

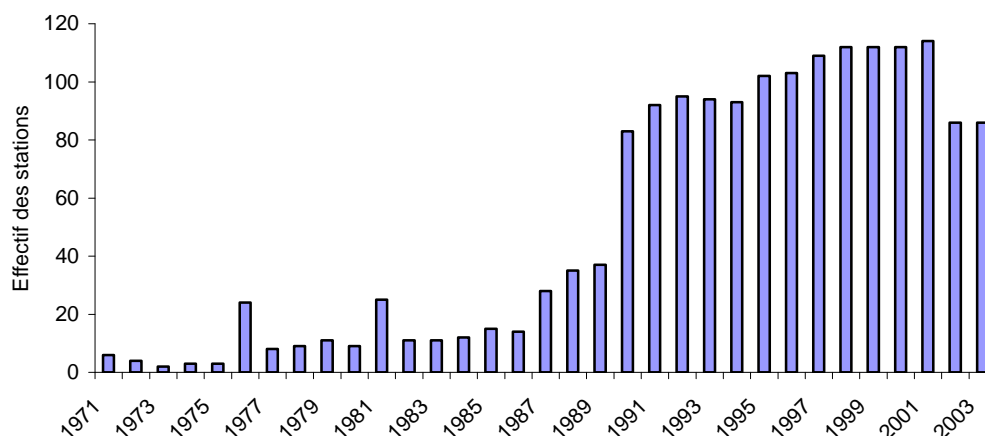


Figure 2 : Répartition des stations du jeu de données initial en fonction des années

Il apparaît donc nettement au regard de ce jeu de données que certaines stations ne pourront pas faire l'objet de calculs de flux. Par exemple des stations n'ayant été suivies qu'une seule année, ne peuvent être intéressantes dans une optique de suivi des variations des flux. De même, lorsqu'il n'y a qu'une mesure de concentration par an, l'année en question ne peut pas être utilisée pour le calcul des flux, ce qui représente tout de même 97 années sur les 1660 années de suivis disponibles (Figure 3).

Répartition des années de suivis en fonction du nombre de mesures de concentration par an
(toutes stations confondues)

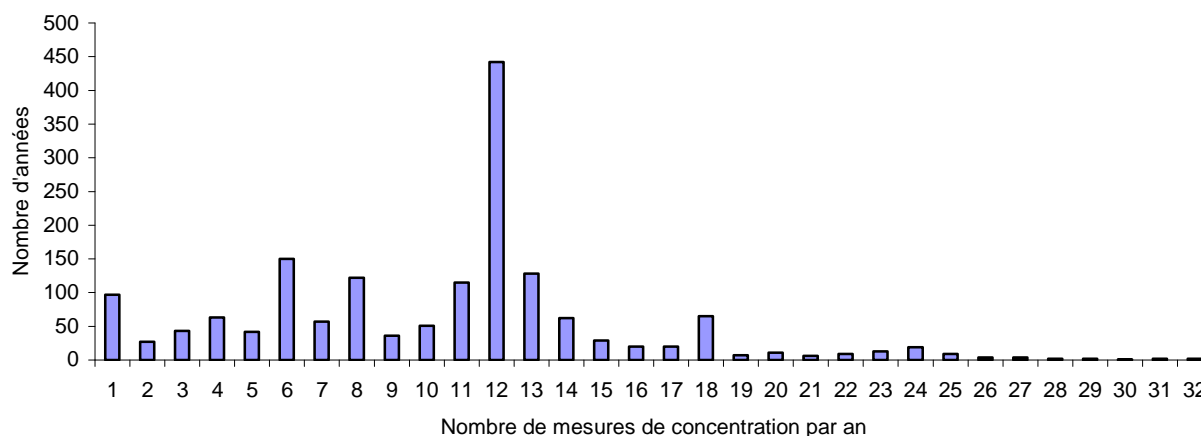


Figure 3 : Répartition des années de suivis en fonction du nombre de mesures de concentration par an

B. Critères de sélection des stations

1) Fréquence de suivi (en mesure de concentration)

Le calcul des flux est un calcul très simple : il suffit de multiplier une concentration (en mg/L) par un débit (en L/s) ce qui nous donne un flux en mg/s. Dans la réalité, le calcul est bien plus complexe car il faut associer une valeur de concentration à chaque valeur de débit. Or, les mesures de débits sont journalières et les mesures de concentration sont très irrégulièrement réparties, comme nous l'avons vu précédemment.

Le facteur important pour les calculs de flux tels que nous les envisageons est l'écart temporel entre deux mesures de la concentration de NO_3^- . En effet, entre deux dates de mesures de concentration

assez proches, les concentrations journalières sont calculées grâce à une régression linéaire, afin de pouvoir s'adapter aux mesures journalières de débit. Or compte tenu du caractère variable et cyclique des concentrations au cours des mois et des années, il semble important de limiter l'écart entre deux dates de mesures pour limiter l'impact de la régression linéaire. Initialement, il a été considéré qu'il ne fallait prendre en compte dans les calculs que les stations présentant au minimum 12 suivis par an, ce qui correspond à 1 suivi par mois. Ceci permettrait de limiter l'écart temporel entre deux mesures de concentration (en moyenne 1 mois entre deux mesures). Cependant, au vu des données du réseau, il apparaît que 12 suivis par an n'est pas toujours synonyme d'un suivi par mois, et qu'il peut y avoir parfois 2 à 4 mois sans mesure. Nous avons donc choisi une autre approche pour sélectionner les années utilisables dans les calculs.

Pour cela, nous pouvons fixer comme limites les critères suivants pour les séries de données souhaitées :

- **au moins une mesure de concentration par mois ;**
- au maximum trois mois dans une année avec des suivis manquants (soit minimum 9 suivis par an), si les trois mois ne sont pas tous en hiver ;
- au maximum deux mois consécutifs sans mesures ;
- au maximum 5 années présentant des suivis manquant dans la série chronologique étudiée.

Pour sélectionner les stations répondant à ces critères, nous nous sommes basés sur le tableau récapitulatif par station le nombre de mesures effectuées par mois.

Nous avons fait le choix d'utiliser la régression linéaire pour extrapoler les concentrations entre deux mesures assez proches dans le temps (une par mois), mais comment extrapoler la valeur des concentrations lorsqu'un mois est manquant ? Nous répondrons à cette question plus loin.

2) Longueur de la série chronologique

Nous venons de sélectionner les années pouvant être utilisées pour le calcul des flux. Le second critère de sélection des stations intéressantes est le nombre d'années consécutives répondant aux critères précédemment énoncés. En effet, l'objectif est non seulement de calculer des flux annuels, mais aussi et surtout de suivre leur évolution dans le temps. Pour cela, nous nous sommes intéressés aux stations présentant au **minimum 10 années de suivi utilisables**, afin de pouvoir visualiser au moins deux cycles de flux.

C. Méthode de comblement des séries de concentration

Comme nous l'avons vu en *B. 1)*, nous envisageons d'utiliser des années de mesures qui présentent des mois manquants en terme de concentration en nitrates. Il est donc nécessaire de réfléchir à la façon de remplacer ces données manquantes. Une étude approfondie permettrait de comparer différentes méthodes, plus ou moins élaborées, par des calculs statistiques. L'étude présente ne permettra pas de faire ces tests. Pour permettre cependant les calculs, trois méthodes simples ont été comparées pour calculer les valeurs de concentration en NO_3^- aux mois manquants :

- la régression linéaire,
- la moyenne inter annuelle (pour calculer un mois de janvier manquant, on prend la moyenne des concentrations sur tous les autres mois de janvier de la station),
- une relation entre débit et concentration (pour calculer un mois de janvier manquant, on calcule le débit moyen de ce mois ci, et on prend le mois de janvier ayant la valeur de débit la plus proche, puis on calcule la concentration moyenne en NO_3 pour ce mois qu'on prend comme valeur du mois de janvier manquant).

1) Impact de la méthode choisie sur la valeur de la concentration

Trois stations ont été choisies au hasard pour faire ce test : la station 04 167 000 (sur l'Arguenon), la station 04 172 030 (sur le Trieux) et la station 04 196 000 (sur l'Oust). Pour chaque station, 25 mois ont été tirés au sort pour être considérés comme manquants. Ensuite, ces valeurs manquantes

ont été recalculées par les trois méthodes citées ci-dessus et les valeurs de concentration obtenues ont été comparées aux valeurs réelles. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

		Sur les écarts		Sur la valeur absolue des écarts		Nombre de cas favorables
		μ	σ	μ	σ	
Arguenon	RL	2,77	14,31	10,52	10,82	12
	MI	6,13	22,2	19,2	14,21	3
	Deb	4,56	25,28	18,86	18,41	10
Trieux	RL	11,64	6,62	11,65	6,31	6
	MI	10,81	4,19	10,76	4,27	10
	Deb	10,06	9,74	11,36	8,19	9
Oust	RL	0,96	7,55	6,3	4,32	5
	MI	0,65	8,54	6,53	4,8	3
	Deb	2,02	9,43	7,55	5,46	17

Tableau 1 : Résultats de la comparaison entre valeurs de concentrations réelles et valeurs estimées (en mg/L) sur les trois stations test

(RL : régression linéaire, MI : moyenne inter annuelle, Deb : relation entre débit et concentration)
(μ : moyenne, σ : écart-type)
(en grisé : les meilleures valeurs)

De façon générale, l'écart entre les valeurs estimées et les valeurs réelles semblent assez important (de 6,3 à 10,76 mg/L en moyenne). Plus en détail, les résultats sont assez disparates : sur la station de l'Arguenon, il semble que la régression linéaire fournisse les meilleurs résultats ; sur celle du Trieux la méthode de la moyenne inter annuelle semble plus pertinente, quant à la station de l'Oust, il est difficile de conclure. Sur cette dernière station, c'est la méthode du débit qui s'approche le plus de fois de la valeur réelle (17 fois), mais quand la valeur estimée s'éloigne de la valeur réelle, elle s'en éloigne fortement d'où une moyenne des écarts plus importante.

Au vu de ces tests, il n'est donc pas possible de conclure sur la méthode la plus performante permettant d'extrapoler les valeurs de concentration pour les mois manquants.

1) Impact de la méthode choisie sur les flux annuels

Pour poursuivre l'étude et essayer de répondre à la question, nous avons donc poussé les calculs sur deux stations : celle de l'Arguenon et celle du Trieux. Nous avons alors fait les calculs de flux annuels avec l'ensemble des valeurs réelles d'une part, et avec le jeu de concentration dit « estimé » (seules 25 des concentrations sont estimées, les concentrations restantes sont réelles). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	Arguenon				Trieux			
	Écart en valeur absolue		Pourcentage		Écart en valeur absolue		Pourcentage	
	T/an		%		T/an		%	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
RL	13,98	14,69	3,26	3,78	24,4	17,84	1,53	1
MI	20,47	25,23	5,82	7,21	30,9	24,32	2,03	1,76
Deb	28,77	40,49	7,41	8,55	41,74	42,91	2,59	2,41

Tableau 2 : Résultats de la comparaison entre flux annuels réels et flux annuels estimés lorsque 25 concentrations sont remplacées et estimées par les trois méthodes différentes

(RL : régression linéaire, MI : moyenne inter annuelle, Deb : relation entre débit et concentration)
(μ : moyenne, σ : écart-type)
(en grisé : les valeurs les plus faibles, c'est à dire les plus proches de la réalité)

Sur ces deux exemples, il semble nettement que la régression linéaire fournisse les résultats les plus proches en terme de flux. L'écart en valeur absolue (13 ou 24 tonnes d'écart) peut paraître important, mais en terme de pourcentage il reste faible. Quelque soit la méthode utilisée, l'évolution des flux reste globalement la même (Figure 4).

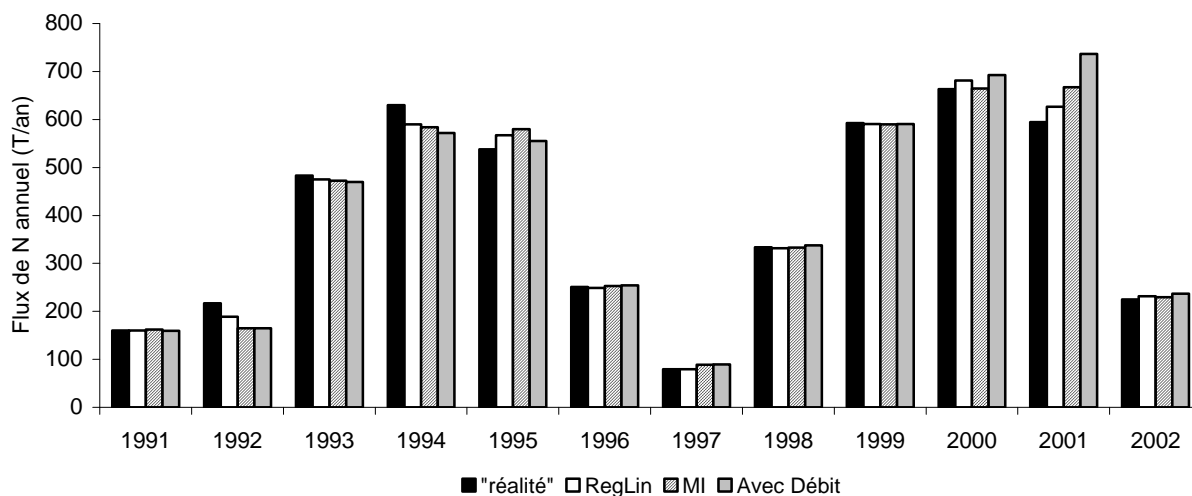


Figure 4 : Calculs des flux annuels d'azote avec trois méthodes d'extrapolation différentes pour les 25 concentrations manquantes, sur une station de l'Arguenon

Deux raisons expliquent le « peu » d'impact de la méthode d'extrapolation. Tout d'abord, le flux d'azote est obtenu en multipliant le débit par la concentration. Or, les débits varient dans un intervalle de 0 à 20 000 L/s, alors que les concentrations varient entre 0 et 130 mg/L. Il va donc de soi que ce sont plutôt les débits qui conditionnent le flux compte tenu de leur échelle de variation beaucoup plus importante. Ensuite, le flux annuel est calculé en faisant la somme des flux journaliers de l'année considérée. Donc lorsque qu'une concentration est estimée, cela signifie qu'environ 45 jours de flux sont estimés, ce qui représente peu sur 365 jours.

Par ailleurs, nous avons ici fait le test en estimant 25 concentrations manquantes sur deux séries chronologiques d'environ 10 ans. Ceci surestime nettement l'impact de l'extrapolation. En effet, d'après les critères de sélection précédemment choisis, nous ne pourrions avoir au maximum que 5 années avec 3 mois manquants dans une série, soit 15 mois manquants.

En conclusion, il a été décidé de choisir comme méthode d'extrapolation la plus simple et la plus efficace **la régression linéaire**, aussi bien entre deux mesures de concentrations, que pour combler un mois manquant. Ceci ne s'applique bien sûr qu'au cas présenté ici : seulement quelques mois manquants à combler. Dans une optique de reconstitution de série de concentration plus longue, il semble évident qu'une autre méthode devra être étudiée.

D. Résultats

1) Liste des stations utilisables

Nous proposons donc de traiter les **stations présentant au moins 10 ans de suivi avec au minimum une mesure par mois** (comme défini en B. 1.). Le résultat de la sélection fourni les **34 stations** suivantes (cf. Annexe 1 pour le détail des mois manquants chaque année) :

Station	Période(s) utilisable(s)	AC	AT
04 163 000	de 1988 à 2002	15	4
04 164 850	de 1992 à 2002	11	1

Station	Période(s) utilisable(s)	AC	AT
04 184 150	de 1992 à 2002	11	2
04 184 195	de 1992 à 2002	11	2

Station	Période(s) utilisable(s)	AC	AT	Station	Période(s) utilisable(s)	AC	AT
04 167 000	de 1990 à 2002	13	3	04 184 948	de 1993 à 2002	10	4
04 168 140	de 1992 à 2002	11	1	04 187 200	de 1991 à 2002	12	2
04 170 500	de 1988 à 2002	15	1	04 189 200	de 1992 à 2002	11	0
04 171 450	de 1992 à 2002	11	2	04 190 550	de 1992 à 2002	11	1
04 171 750	de 1991 à 2001	11	4	04 190 850	de 1988 à 2002	15	1
04 172 030	de 1988 à 2002	15	1	04 192 100	de 1992 à 2002	11	0
04 172 370	de 1991 à 2002	12	1	04 194 000	de 1979 à 2002	24	0
04 172 570	de 1991 à 2002	12	3	04 196 000	de 1992 à 2002	11	0
04 173 100	de 1992 à 2002	11	1	04 199 200	de 1979 à 2002	24	3
04 174 250	de 1990 à 2002	13	3	04 201 000	de 1992 à 2002	11	0
04 174 540	de 1992 à 2002	11	0	04 207 000	de 1971 à 1984 de 1986 à 2002	14 et 17	2 et 1
04 174 660	de 1992 à 2002	11	3	04 208 530	de 1989 à 2001	13	1
04 178 000	de 1988 à 2002	15	3	04 211 000	de 1971 à 1979 de 1992 à 2002	9 et 11	1 et 1
04 178 650	de 1992 à 2002	11	2	04 213 000	de 1992 à 2002	11	1
04 179 500	de 1981 à 2002	22	0	04 216 000	de 1976 à 2002	27	3

Tableau 3 : Liste des 34 stations sélectionnées pour les calculs de flux
(AC : nombre d'années consécutives)
(AT : nombre d'années à « trous », c'est à dire avec des concentrations manquantes)

1) Couplage avec une station de jaugeage

Nous avons fait le choix de sélectionner les stations sur des critères liés aux concentrations, mais le calcul des flux se faisant aussi avec les débits, il est important de voir si les stations sélectionnées ont des séries de débit satisfaisantes.

La première étape consiste à associer chaque station de suivi à une station de jaugeage (ou station limnigraphique), c'est-à-dire là où les débits sont mesurés. Cette étape de couplage se réalise assez aisément en choisissant la station de jaugeage la plus proche de la station de suivi. Sur les 34 stations, le couplage se fait sans aucune difficulté. Le résultat est le suivant :

Station de suivi	Station de jaugeage	Superposition ?
04 163 000	J 020 151 0	oui
04 164 850	J 061 161 0	
04 167 000	J 110 301 0	oui
04 168 140	J 131 301 0	oui
04 170 500	J 151 301 0	oui
04 171 450	J 181 301 0	oui
04 171 750	J 171 171 0	oui
04 172 030	J 172 172 0	
04 172 370	J 202 301 0	oui
04 172 570	J 203 401 0	
04 173 100	J 223 302 0	
04 174 250	J 261 402 0	oui
04 174 540	J 301 431 0	
04 174 660	J 302 401 0	oui
04 178 000	J 341 303 0	oui
04 178 650	J 361 181 0	
04 179 500	J 382 181 0	
04 184 150	J 451 542 0	oui

Station de suivi	Station de jaugeage	Superposition ?
04 184 195	J 451 401 0	oui
04 184 948	J 462 302 0	oui
04 187 200	J 471 201 0	oui
04 189 200	J 490 201 1	
04 190 550	J 510 221 0	
04 190 850	J 540 211 0	
04 192 100	J 543 211 0	
04 194 000	J 571 213 0	
04 196 000	J 802 232 0	
04 199 200	J 850 231 0	
04 201 000	J 701 061 0	
04 207 000	J 720 061 0	
04 208 530	J 735 301 0	oui
04 211 000	J 748 301 0	
04 213 000	J 770 061 0	oui
04 216 000	J 930 061 0	oui

Tableau 4 : Couplage entre stations de suivi et stations de jaugeage

Sur les 34 stations, 17 ont été couplées avec une station de jaugeage se trouvant exactement au même endroit, ce qui est un bon résultat.

2) Etude des séries de débits

La dernière étape consiste à vérifier que pour les périodes considérées, nous possédons bien les séries de débits correspondantes pour chaque station de jaugeage sélectionnée. Cette dernière étape va en fait éliminer quelques stations et quelques années d'étude sur certaines stations en raison de mesures de débits absentes ou irrégulières.

Station	Jaugeage	Périodes utilisables	Périodes utilisées	Remarques
04 163 000	J 020 151 0	de 1988 à 2002	1988 à 2002	Débits recomposés
04 164 850	J 061 161 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 167 000	J 110 301 0	de 1990 à 2002	1990 à 2002	OK
04 168 140	J 131 301 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 170 500	J 151 301 0	de 1988 à 2002	1988 à 2002	OK
04 171 450	J 181 301 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 171 750	J 171 171 0	de 1991 à 2001	1991 à 2001	OK
04 172 030	J 172 172 0	de 1988 à 2002	1990 à 2002	Problèmes de débits
04 172 370	J 202 301 0	de 1991 à 2002	1991 à 2002	OK
04 172 570	J 203 401 0	de 1991 à 2002	1991 à 2002	OK
04 173 100	J 223 302 0	de 1992 à 2002	1994 à 2002	Problèmes de débits
04 174 250	J 261 402 0	de 1990 à 2002	1990 à 2002	OK
04 174 540	J 301 431 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 174 660	J 302 401 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 178 000	J 341 303 0	de 1988 à 2002	1988 à 2002	OK
04 178 650	J 361 181 0	de 1992 à 2002	1995 à 2001	supprimée
04 179 500	J 381 181 0	de 1981 à 2002	1981 à 2002	Changement de jaugeage
04 184 150	J 451 542 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 184 195	J 451 401 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 184 948	J 462 302 0	de 1993 à 2002	1993 à 2002	OK
04 187 200	J 471 201 0	de 1991 à 2001	1991 à 2001	OK
04 189 200	J 490 201 1	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 190 550	J 510 221 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK

Station	Jaugeage	Périodes utilisables	Périodes utilisées	Remarques
04 190 850	J 540 211 0	de 1988 à 2002		Problèmes de débits
04 192 100	J 543 211 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	OK
04 194 000	J 571 213 0	de 1979 à 2002		Problèmes de débits
04 196 000	J 820 231 0	de 1992 à 2002	1992 à 2002	Changement de jaugeage
04 199 200	J 850 231 0	de 1979 à 2002	1979 à 2002	Quelques débits recomposés
04 201 000	J 701 061 0	de 1992 à 2002	1992 à 2001	OK
04 207 000	J 720 061 0	de 1971 à 1984 de 1986 à 2002	1991 à 2002	Débits recomposés
04 208 530	J 735 301 0	De 1989 à 2001	1989 à 2001	OK
04 211 000	J 748 301 0	de 1971 à 1979 de 1992 à 2002	1971 à 1980 1992 à 2002	OK
04 213 000	J 770 061 0	de 1992 à 2002	1992 à 2000	Problèmes de débits
04 216 000	J 930 061 0	de 1976 à 2002	1976 à 2000	OK

Tableau 5 : Liste des stations de suivi et de jaugeage utilisées pour les calculs de flux

(☒ : station supprimée ; en **gras** : modification par rapport au tableau initial)

L'étude des séries de débits nous conduit donc à éliminer trois stations (04-178-650, 04-190-850 et 04 194 000), à changer de station de jaugeage pour deux autres stations (04-179-500 et 04-207-000) et à restreindre certaines séries chronologiques. En dehors de cela, il reste néanmoins **31 stations** sur lesquelles effectuer des calculs de flux.

3) Bilan sur les stations utilisées

En bilan nous pouvons étudier la répartition de ces 31 stations.

La carte de leur répartition géographique est présentée en annexe (Annexe 2). De façon générale la Bretagne est assez bien couverte, avec deux zones assez bien représentées : la côte au nord de Guingamp et la côte entre Lorient et Quimper. En ce qui concerne les années et séries étudiées, on retrouve les mêmes constats que ceux qui avaient été faits plus haut pour l'ensemble des 122 stations : les années étudiées s'échelonnent de 1971/72 à 2002/03, les années 90 étant les plus représentées (Figure 5). Avec l'ensemble des stations étudiées, nous obtenons ainsi une série continue de 1971/72 à 2002/03, ce qui est très intéressant. Par contre, comme pour le jeu de données initial, la majorité des séries (68 %) ont des longueurs de 11 à 13 années consécutives (Figure 6). Il reste cependant 3 stations qui permettent d'étudier les flux sur plus de 20 ans : sur l'Aulne, l'Oust, et la Vilaine.

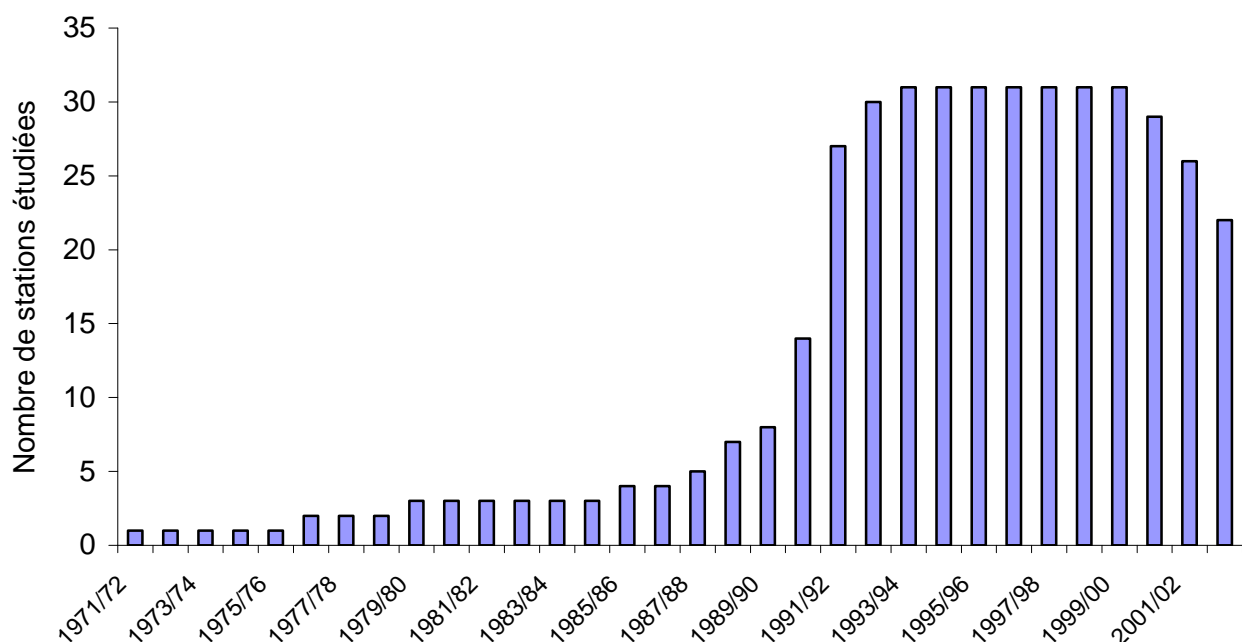


Figure 5 : Répartition des stations utilisées pour le calcul des flux en fonction des années étudiées

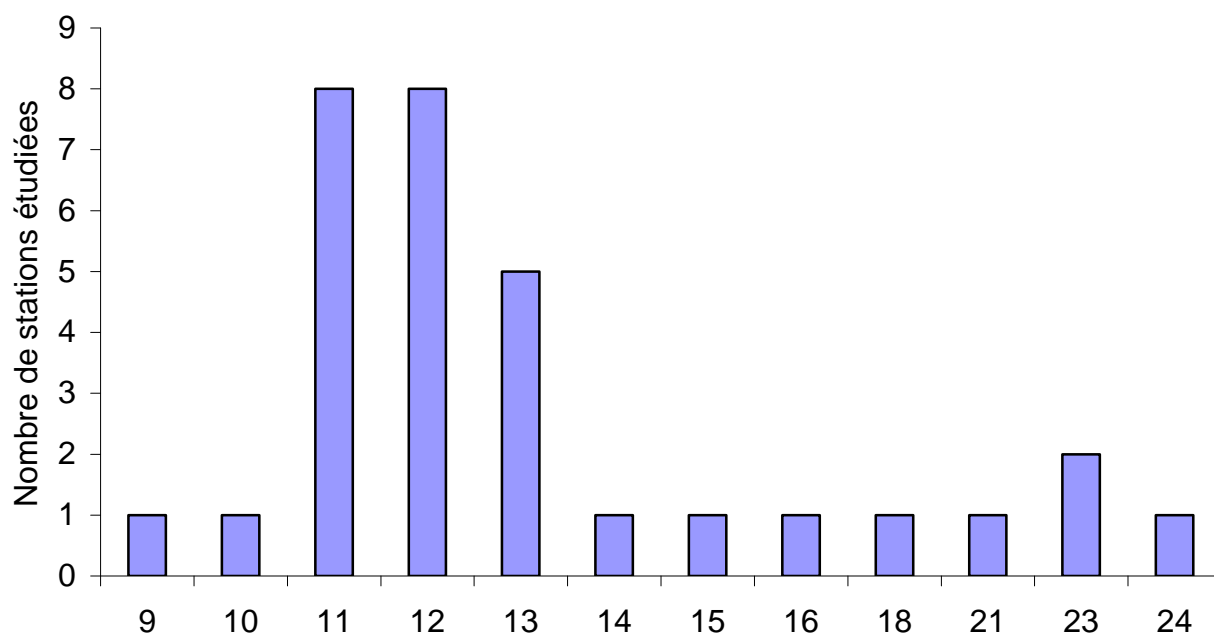


Figure 6 : Répartition des stations utilisées pour le calcul des flux en fonction du nombre d'années consécutives de suivi

(une des série de 21 ans est en fait un ensemble de 2 séries sur une même station : une de 9 ans et une de 12 ans, avec un trou de quelques années entre les deux)

II. CALCULS DES FLUX D'AZOTE

Cette partie a pour objectif d'explicitier tous les calculs mis en œuvre pour les calculs de flux et de flux spécifiques.

A. Données initiales

Pour effectuer les calculs, certaines données initiales sont nécessaires. Elles concernent à chaque fois la station de suivi (PS pour point de suivi), la station de jaugeage (PL pour point limnigraphique) et l'exutoire du bassin versant considéré (PE pour point exutoire). Ce point exutoire est défini comme le point d'altitude positive le plus aval du réseau hydrographique du cours d'eau considéré. Il est repéré sur un modèle numérique de terrain (avec le logiciel MNTSURF) en s'aidant éventuellement de la description du réseau hydrographique de la BD carthage.

Les données initiales relevées pour chaque point sont les suivantes :

- surface du bassin versants (S),
- pluies cumulées (P),
- bilan d'azote (N).

Ces données sont extraites du modèle numérique de terrain, qui les fournit en se basant sur les coordonnées géographiques du point étudié. Pour l'ensemble de la Bretagne, les résultats sont indiqués dans le tableau suivant (Tableau 6).

		A la station			A l'exutoire		
		Surface	Pluies cumulées	Bilan de N	Surface	Pluies cumulées	Bilan de N
		ha	m ³ / an	tonnes	ha	m ³ / an	tonnes
04 163 000	Couesnon	84 656	257 162 500	1 126	110 650	288 040 625	1 277
04 164 850	Rance	19 219	52 282 813	809	96 106	242 692 188	3 078
04 167 000	Arguenon	10 456	31 678 125	838	44 769	120 625 000	2 546
04 168 140	Gouessant	24 256	58 179 688	2 715	27 481	63 835 938	2 989
04 170 500	Gouet	13 431	58 453 125	703	25 188	94 431 250	1 184
04 171 450	Leff	34 119	118 862 500	1 724	35 500	123 303 125	1 769
04 172 030	Trioux	39 000	185 487 500	2 350	44 588	204 978 125	2 540
04 172 370	Jaudy	16 581	66 290 625	664	18 313	72 350 000	838
04 172 570	Guindy	12 588	46 893 750	642	12 588	46 893 750	642
04 173 100	Leguer	39 000	221 881 250	1 041	48 831	256 940 625	1 259
04 174 250	Queffleuth	9 613	63 981 250	257	22 863	142 178 125	632
04 174 540	Horn	4 950	27 312 500	690	8 300	43 193 750	890
04 174 660	Guillec	4 469	24 621 875	459	7 306	38 696 875	619
04 178 000	Elorn	26 194	179 321 875	1 966	32 825	219 900 000	2 325
04 179 500	Aulne	146 844	813 065 625	5 570	150 731	834 571 875	5 727
04 184 150	Styral	2 306	12 328 125	60	5 444	28 084 375	147
04 184 948	Aven	16 700	99 712 500	381	22 294	127 775 000	564
04 189 200	Laïta	86 519	519 940 625	2 492	91 725	544 771 875	2 630
04 190 550	Scorff	37 925	204 343 750	1 004	46 494	244 618 750	1 244
04 192 100	Blavet	101 900	462 431 250	4 889	206 019	889 162 500	11 257
04 216 000	Vilaine	1 016 444	1 961 685 750	23 600	1 040 500	2 020 356 250	24 647
Bretagne		2 950 000	10 096 563 354	100 398	2 950 000	10 096 563 354	100 398
%		59,2%	54,1%	53,8%	71,1%	65,8%	68,5%

Tableau 6 : Bilan des surfaces, pluies cumulées et bilan d'azote pour les stations les plus en aval sélectionnées et pour leur exutoires

Le bilan de N est obtenu à partir, entre autres, du recensement général agricole (RGA) de 1988, sur la base des données communales. Les pluies cumulées sont calculées à partir des modules spécifiques inter annuels trentenaires fournis par le Service de l'Eau, des Milieux Aquatiques et des Risques Naturels (SEMARN) de la DIREN.

En terme de surface, les stations aval utilisées couvrent près de 60% de la Bretagne, mais seulement 54% en terme de bilan d'azote et de pluviométrie. C'est à dire que les stations choisies sont plutôt moins arrosées et ont un bilan plus faible que d'autres régions de la Bretagne. Aux exutoires, la surface étudiée couvre 71% de la Bretagne, soit 11% de plus que par rapport aux stations aval. Ces bassins versants sont situés dans des zones moins pluvieuses car en terme de pluies efficaces, ils ne représentent que 65,8%.

Les deux cartes présentées en annexe montrent les surfaces de bassins versants où les calculs sont effectués (aussi bien pour les stations les plus en aval, que pour les exutoires) (Annexe 3). On peut constater que les trois zones suivantes sont manquantes : la côte aux alentours de Saint-Malo, la zone ouest et la côte sud entre Vannes et Redon. Ceci explique le fait que seulement 65,8% de la Bretagne soit représenté en terme de pluies, car la zone ouest de la Bretagne est la plus arrosée et n'est pas couverte par les stations étudiées.

Ensuite, trois rapports sont automatiquement calculés, il serviront plus loin dans les calculs :

- $R_{P1} = P_{PS} / P_{PL}$ (rapport des pluies efficaces cumulées entre point de suivi et point limnigraphique)
- $R_{P2} = P_{PE} / P_{PS}$ (rapport des pluies efficaces cumulées entre point exutoire et point de suivi)
- $R_N = N_{PE} / N_{PS}$ (rapport des bilans d'azote cumulés entre point exutoire et point de suivi).

B. Calculs des flux au point de suivi

1) Explication des calculs

La méthode de calcul choisie a été de faire les **calculs de flux au point de suivi**. Dans ce cas, lorsque la station de jaugeage n'est pas superposée à la station de suivi, il est nécessaire d'extrapoler les débits. Pour cela, il a été choisi d'**extrapoler les débits au prorata du rapport R_{P1}** défini plus haut (rapport des pluies efficaces cumulées entre point de suivi et point de jaugeage). Sur la période considérée comme utilisable, c'est à dire avec des mesures de concentrations régulières (cf. I.) et des débits journaliers, les concentrations journalières sont calculées par régression linéaire entre deux valeurs mesurées. Ensuite, pour chaque jour de cette période, les calculs suivants sont effectués :

	Formule	Unité	Variable
<i>Débit-ex</i>	$= \text{Débit} * R_{P1}$	L/s	<i>Débit extrapolé au point de suivi</i>
<i>NO3-ex</i>		mg/L	<i>Concentration en NO3- au point de suivi, extrapolée par régression linéaire entre deux points de mesures</i>
<i>flux</i>	$= \text{Débit-ex} * \text{NO3-ex}$	mg/s	<i>Flux de NO3-</i>
<i>F jour</i>	$= \text{Flux} * 86400$	mg/jour	<i>Flux de NO3- journaliers</i>
<i>Fno3</i>	$= F \text{ jour} / 10^9$	T/jour	<i>Flux de NO3- journalier en tonnes</i>
<i>F-N</i>	$= Fno3 / (62/14)$	T jour	<i>Flux de N journalier en tonnes (62/14 = rapport des masses molaires)</i>
<i>Fs jour</i>	$= F \text{ jour} / S_{PS}$	mg/ha/jour	<i>Flux spécifiques de NO3- journaliers</i>
<i>Fs jour-kg</i>	$= Fs \text{ jour} / 10^6$	kg/ha/jour	<i>Flux spécifiques de NO3- journaliers</i>
<i>Fs-N</i>	$= Fs \text{ jour-kg} / (62/14)$	kg/ha/jour	<i>Flux spécifiques de N journaliers</i>
<i>Écoulement</i>	$= \text{Débit-ex} * 86400 / 1000$	m ³ /jour	<i>Écoulement d'eau</i>
<i>Débit-S</i>	$= \text{Débit-ex} * 100 / S_{PS}$	L/s/km ²	<i>Débit spécifique journalier</i>

Tableau 7 : Calculs effectués au point de suivi pour chaque jour de mesure

Par la suite, il suffit de sommer les flux journaliers (F-N ou Fs-N) pour obtenir des flux mensuels ou annuels d'azote. Pour enrichir les graphiques, nous avons ajouté une courbe des concentrations moyennes, et une courbe des débits (écoulements annuels pour les graphiques de flux, et débits spécifiques moyens pour les graphiques de flux spécifiques). Pour compléter les calculs, les flux annuels ont été calculés **par année civile et par année hydrologique**. A titre d'exemple, les six graphiques issus d'un calcul sont donnés en annexe (Annexe 4) : flux mensuels, flux spécifiques mensuels, flux annuel (année civile), flux spécifique annuel (année civile), flux annuel (année hydrologique), flux spécifique annuel (année hydrologique).

1) Récapitulation pour chaque station

Au cours de la mise en place de ces calculs, un certain nombre de petits détails sont apparus, qu'il nous a paru important de noter pour chaque station et qui sont récapitulées dans un document à part :

- les dates effectives des calculs réalisés (après observation des séries de débits),
- les mois où les concentrations sont manquantes,
- les périodes avec des débits manquants,
- les dates où il y a eu 2 mesures de concentration (dans ce cas, la seconde mesure dans le temps a été arbitrairement supprimée).

C. Extrapolation à l'exutoire

Pour les stations les plus en aval sur les cours d'eau, les calculs de flux ont été faits à l'exutoire, ce qui représente 21 stations (cf. Tableau 6). Dans ce cas, le **flux d'azote à l'exutoire est extrapolé en fonction du flux à la station de suivi au prorata du rapport R_N** (rapport des bilans de N entre point exutoire et point de suivi). Les calculs suivants sont effectués :

Formule	Unité	Variable
$F-N_{exut} = F-N * R_N$	T/jour	Flux d'azote journalier à l'exutoire
$Fs-N_{exut} = F-N_{exut} * 1000 / S_E$	kg/ha/jour	Flux spécifique d'azote journalier à l'exutoire
$Ecoul_{exut} = Ecoulement * R_{p2}$	m ³ /jour	Ecoulement d'eau à l'exutoire
$Débit-S = Ecoul_{exut} * 10^5 / (86400 * S_E)$	L/s/km ²	Débit spécifique à l'exutoire
$NO3_{exut} = F-N_{exut} * 10^6 * 62 / (Ecoul_{exut} * 14)$	mg/L	Concentration en NO ₃ - à l'exutoire

Tableau 8 : Calculs effectués à l'exutoire pour chaque jour de mesure pour les stations les plus en aval du réseau hydrographique

De la même façon que pour les calculs de flux au point de suivi, les calculs de flux et de flux spécifiques à l'exutoire ont été réalisés par année civile et par année hydrologique.

D. Extrapolation à l'ensemble de la Bretagne

Pour terminer les calculs, nous avons extrapolé les flux d'azote à l'ensemble de la Bretagne. Pour ce faire, nous avons sommé les flux (en T/an) pour chaque année sur l'ensemble des exutoires possibles. Puis, le flux breton a été obtenu en divisant ce total par le pourcentage du bilan d'azote représenté par les exutoires utilisés, selon la formule suivante :

$$F_{\text{breton}, i} = \frac{(\sum F_{\text{exutoire}, i})}{(\sum N_{\text{exutoire}} * 100 / N_{\text{breton}})}$$

Avec :

F_{breton} : flux d'azote breton

i : année étudiée

F_{exutoire} : flux d'azote à un des exutoires étudiés

N_{exutoire} : bilan d'azote à un des exutoires

N_{breton} : bilan d'azote breton (calcul sur la base des données de 1988 : 100 398 tonnes)

Les flux spécifiques sont obtenus en divisant les flux par la surface de la Bretagne (2 950 000 hectares). Et pour mieux observer les tendances, la moyenne lissée sur 7 ans est ajoutée.

E. Résumé des extrapolations utilisées pour faire les calculs

Pour faire les calculs des flux, un certain nombre d'extrapolation de valeur ont été utilisées. Nous les récapitulons ici pour bien se rendre compte des limites des calculs.

- extrapolation des concentrations journalières par régression linéaire entre deux valeurs de concentration ;
- extrapolation des valeurs de concentration mensuelles manquantes aussi par régression linéaire entre les mois où les valeurs sont présentes (sous les conditions énumérées en I : maximum deux mois manquants consécutifs, maximum 3 mois manquants dans une année, maximum 5 années avec des mois manquants dans une série chronologique donnée) ;
- extrapolation des débits au point de suivi, en multipliant les débits au point limnigraphique par le rapport des pluies efficaces cumulées entre ces deux points ;

- extrapolation des flux au point exutoire en multipliant les flux au point de suivi par le rapport des bilans d'azote cumulés entre les 2 points ;
- extrapolation des écoulements au point exutoire en multipliant les écoulements au point de suivi (eux même déjà extrapolés) par le rapport des pluies cumulées entre les 2 points ;
- extrapolation des concentrations en NO₃⁻ au point exutoire en divisant les flux par les écoulements (sachant que chacune de ces variables est elle même déjà extrapolée) ;
- extrapolation des flux à l'ensemble de la Bretagne grâce au pourcentage de bilan d'azote représenté par l'ensemble des bassins versants étudiés.

Les extrapolations sont nombreuses et s'enchaînent les unes les autres. Il serait utile de mener une étude plus détaillée pour évaluer l'impact de ces extrapolations consécutives.

F. Extrapolation à l'ensemble de la Bretagne

Comme nous l'avons déjà vu, les calculs de flux ont été effectués sur 31 stations. Ces 31 stations, ou plutôt les 21 stations les plus en aval des cours d'eau étudiés, représentent 71,1% de la surface de la Bretagne (sur la base de 2 950 000 ha) et 68,5 % du bilan d'azote breton calculé en 1988 (sur la base de 100 398 tonnes). Les graphiques présentés ci-après sont donc issus d'une extrapolation au prorata des bilans d'azote entre les stations étudiées et la Bretagne (comme expliqué dans la partie II.), c'est à dire que dans le meilleur des cas, seulement 31,5 % du flux est extrapolé. Il faut donc rester prudent quant à la lecture de ces chiffres.

La Figure 7 donne les flux d'azote extrapolés à l'ensemble de la Bretagne et la Figure 8 donne les flux spécifiques. Pour chacun des graphiques, la moyenne des flux lissée sur 7 ans a été ajoutée. De même, figure en vert sur les graphiques, une courbe qui permet de juger de la fiabilité de l'extrapolation. Cette courbe indique le pourcentage représenté par les stations utilisées pour le calcul en terme de bilan d'azote par rapport à la Bretagne (on retrouve pour les années 90, la valeur de 68,5%).

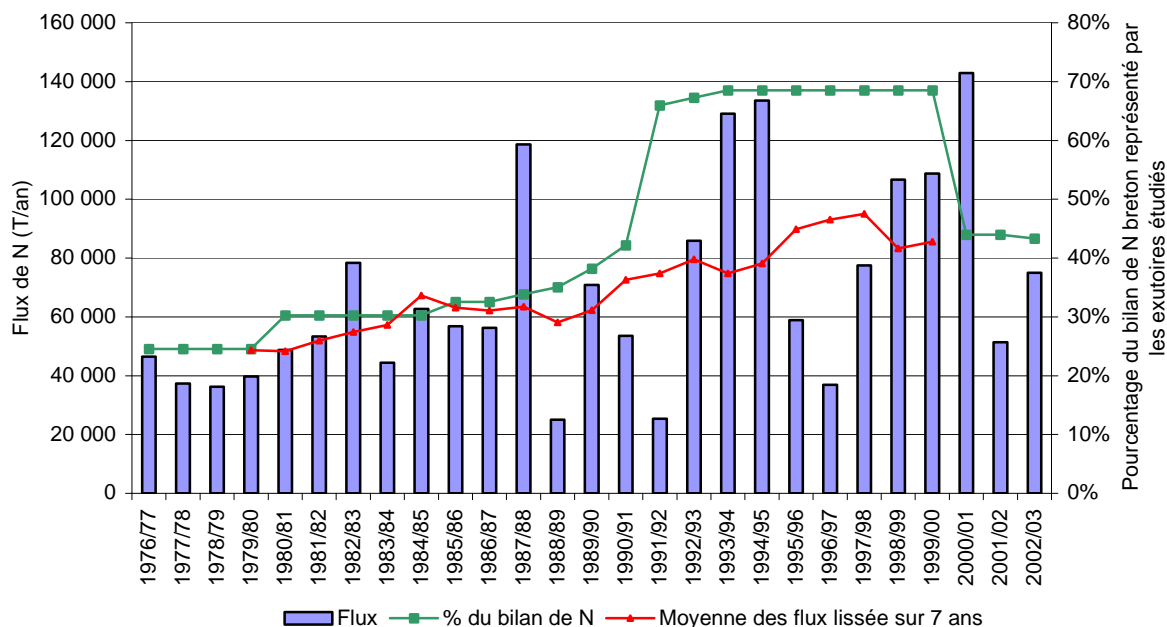


Figure 7 : Flux d'azote nitrique extrapolé à l'ensemble de la Bretagne

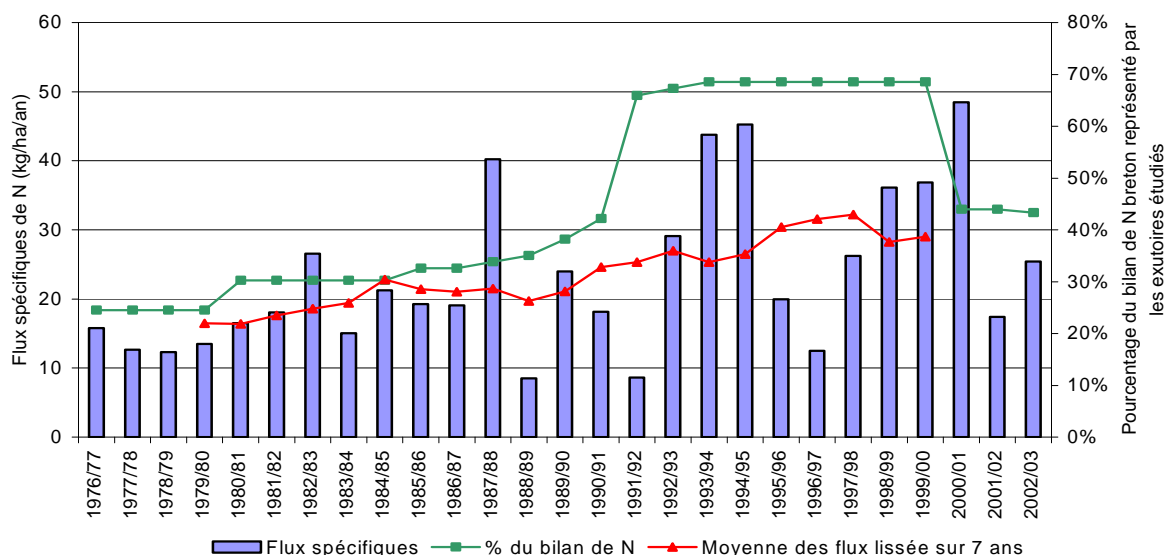


Figure 8 : Flux spécifiques d'azote nitrique extrapolé à l'ensemble de la Bretagne

On retrouve aussi la nette augmentation des flux. On passe de 16,5 kg/ha en 1979/80 à 29 kg/ha en 1999/00 sur les moyennes lissées. Ceci représente une augmentation de 76% en 20 ans.

Languedoc, Provence, Corse	2,3
Gironde	8,1
Loire	8,3
Rhône	9,3
Bassin de la Seine	11,6
Rhin	13,3
Normandie	17,7
Façade de mer du Nord	23,5
Bretagne Sud et autres rivières du golfe de Gascogne	13,7 à 26,7
Bretagne Nord	33
Bretagne entière d'après nos calculs	30,7

Tableau 9 : Valeur des flux spécifiques en azote nitrique (en kg N-NO₃/ha/an) sur les principaux bassins versants français (moyennes sur les 10 dernières années avant 2002, source : IFEN, 2002)

En terme de valeur, en 2000/01, le flux sortant des bassins versants de Bretagne a atteint environ 140 000 tonnes d'azote nitrique, soit un peu moins de 50 kg/ha. Comparons ces valeurs avec d'autres bassins versants de France (Tableau 9). L'IFEN (2002) a publié récemment les valeurs des flux spécifiques d'azote nitrique pour les principaux fleuves et rivières de France. La Bretagne arrive en tête de ce tableau avec un flux de 30,7 kg/ha/an (calculs fait à partir de nos données, sur la période de 1991/92 à 2000/01, soit 10 ans), ce qui fait de la Bretagne un des points noirs de la France en terme de pollution azotée.

III. CONCLUSION

Les calculs de flux ont finalement pu être faits sur 31 stations parmi les 122 stations du jeu de données initial, soit sur seulement un quart des stations. Ceci est dû à plusieurs raisons : stations suivies pendant trop peu de temps, suivi irrégulier, données non regroupées. Il est probable que les calculs de flux auraient pu être faits sur d'autres stations, mais dont la Diren ne dispose pas des données. Il semble très important de centraliser ces données et de mieux suivre les stations déjà suivies. Par ailleurs, si d'autres stations devaient être créées, il serait intéressant de placer la station de jaugeage au même endroit que la station de suivi, et de placer les stations le plus près possible de l'exutoire du bassin versant. En outre, il est important pour le suivi scientifique de ne pas abandonner de stations «historiques», même si ces stations ne sont plus utilisées pour le prélèvement d'eau destinée à l'alimentation humaine.

En dehors de ces problèmes de données, les calculs de flux ont malgré tout donné des résultats très intéressants. Il est à rappeler tout de même que deux extrapolations importantes ont été faites : les valeurs de concentrations manquantes ont été comblées par régression linéaire entre la mesure précédente et la suivante ; le flux d'azote à l'exutoire a été extrapolé à partir du flux d'azote à la station en le multipliant par le rapport des bilans d'azote issu du RGA de 1988. Ceci amène quelques remarques. Tout d'abord, si le problème des séries manquantes en concentration était traité de plus près, il serait peut être possible de calculer des flux sur des années avec moins de données de concentrations. Cela permettrait de faire les calculs sur plus de stations et sur plus d'années. Ensuite, le calcul aux exutoires et donc sur la Bretagne sont basés sur les bilans d'azote. Il faut donc comparer les chiffres trouvés ici à ceux trouvés par d'autres organismes avec précaution, puisque la méthode classique consiste à extrapoler au prorata de la surface des bassins versants (Remarquons, malgré tout, que la méthode d'extrapolation que nous avons utilisée d'une part est scientifiquement plus fondée que la méthode d'extrapolation au prorata des surfaces, et que d'autre part elle conduit à des chiffres inférieurs). Enfin, il serait sûrement intéressant de refaire ces calculs avec les bilans d'azote, toujours à l'échelle de la commune, mais issus du RA de 2000 ce qui modifierait probablement les rapports de bilan d'azote entre les différentes stations.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures

Figure 1 : Répartition des stations du jeu de données initial en fonction du nombre d'années de suivi	4
Figure 2 : Répartition des stations du jeu de données initial en fonction des années	5
Figure 3 : Répartition des années de suivis en fonction du nombre de mesures de concentration par an.....	5
Figure 4 : Calculs des flux annuels d'azote avec trois méthodes d'extrapolation différentes pour les 25 concentrations manquantes, sur une station de l'Arguenon.....	8
Figure 5 : Répartition des stations utilisées pour le calcul des flux en fonction des années étudiées	12
Figure 6 : Répartition des stations utilisées pour le calcul des flux en fonction du nombre d'années consécutives de suivi.....	12
Figure 13 : Flux d'azote nitrique extrapolé à l'ensemble de la Bretagne	17
Figure 14 : Flux spécifiques d'azote nitrique extrapolé à l'ensemble de la Bretagne	18

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats de la comparaison entre valeurs de concentrations réelles et valeurs estimées (en mg/L) sur les trois stations test	7
Tableau 2 : Résultats de la comparaison entre flux annuels réels et flux annuels estimés lorsque 25 concentrations sont remplacées et estimées par les trois méthodes différentes.....	7
Tableau 3 : Liste des 34 stations sélectionnées pour les calculs de flux.....	9
Tableau 4 : Couplage entre stations de suivi et stations de jaugeage	10
Tableau 5 : Liste des stations de suivi et de jaugeage utilisées pour les calculs de flux	11
Tableau 6 : Bilan des surfaces, pluies cumulées et bilan d'azote pour les stations les plus en aval sélectionnées et pour leur exutoires	14
Tableau 7 : Calculs effectués au point de suivi pour chaque jour de mesure	15
Tableau 8 : Calculs effectués à l'exutoire pour chaque jour de mesure pour les stations les plus en aval du réseau hydrographique	16
Tableau 10 : Valeur des flux spécifiques en azote nitrique (en kg N-NO ₃ /ha/an) sur les principaux bassins versants français	18

BIBLIOGRAPHIE

Institut Français de l'Environnement (IFEN), **2002** – Flux à la mer : trop d'azote mais moins de phosphore. *Les données de l'environnement, numéro 72, janv-fév 2002.*

ANNEXES



LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Tableau récapitulatif des stations utilisables et des mois manquants**
- Annexe 2 : Carte des points de suivi utilisés pour les calculs de flux**
- Annexe 3 : Cartes des bassins versants pris en compte dans les calculs de flux**
- Annexe 4 : Graphiques issus des calculs de flux au point de suivi**
- Annexe 5 : Histogrammes des flux spécifiques d'azote N-NO₃ pour les années hydrologiques 1990/91 à 2002/03**
- Annexe 6 : Bilans des flux spécifiques sur les 31 stations étudiées**
- Annexe 7 : Cartes des flux spécifiques et de leur évolution**
- Annexe 8 : Fiches résultats pour les 31 stations étudiées**

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des stations utilisables et des mois manquants

STATION	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003*		
04163000																		1,2,11	1,2,4	2,4	1,2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
04164850																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	
04167000																				4	1,2,11	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04168140																						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	
04170500																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	
04171450																							11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	
04171750																						11	8,11	2	x	x	x	7	x	x	x	x			
04172030																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x		
04172370																						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	
04172570																						11	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	1	x	
04173100																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	
04174250																				2,3,11	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x	
04174540																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04174660																							8	7	x	x	x	x	x	x	11,12	x	x	x	
04178000																		x	x	x	x	x	x	x	1	11	x	x	x	x	x	1	x		
04178650																							x	x	x	1	11	x	x	x	x	x	x	x	
04179500										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04184150																							8,11	x	x	x	x	x	x	4	x	x	x	x	
04184195																							8,11	x	6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04184830																			1,12	2,5,7	7,8,11	1,8,12	4,8,11	x	6	6,8,11,12	9	2	x	x	x	x			
04184948																							x	x	x	6	8	8	4	x	x	x	x	x	
04187200																						5	8,11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04189200																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04190550																							x	x	x	11	x	x	x	x	x	x	x	x	
04190850																		x	x	x	x	x	x	x	1,11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04192100																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04194000											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04196000																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04199200											2,6	2	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04201000																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
04207000	1	x	x	x	x	7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	x		
04208530																																			
04208630																																			
04211000	x	10	x	x	x	x	x	x	x														3,7,8	2,8	7,12	3,9	8	x	x	10	12	x	x	x	
04211400																																			
04213000																																			
04216000							8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6,9	x	x	x	x	x	x	x	x	

X : année complète (au moins une mesure de concentration par mois)

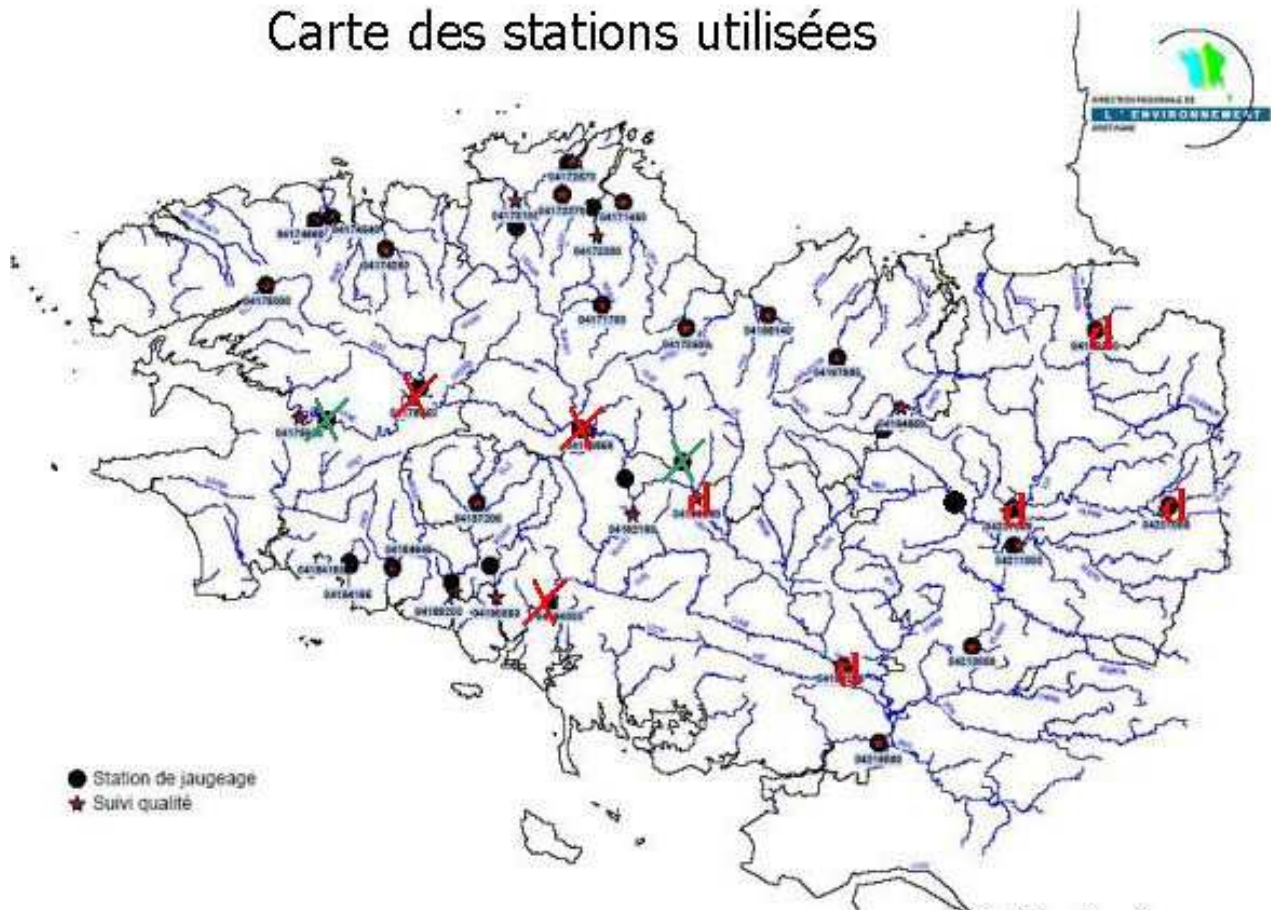
3,7,8 : les mois de mars, juillet et août de cette année n'ont pas de mesure de concentration

* : 2003 est complet jusqu'au mois d'août

☒ : station supprimée, car trop d'années à trous

Annexe 2 : Carte des points de suivi utilisés pour les calculs de flux

Carte des stations utilisées



I. Choix des stations

Annexe 3 : Cartes des bassins versants pris en compte dans les calculs de flux



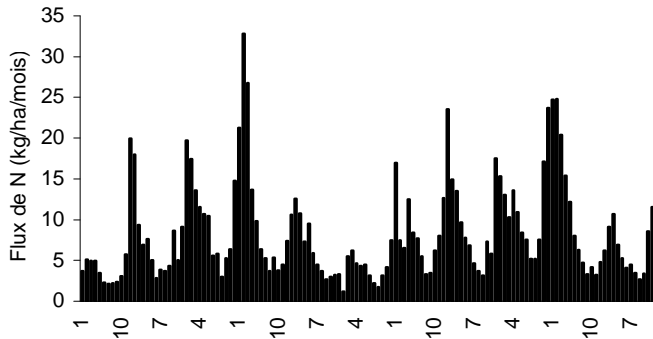
Carte 1 : Bassins versants étudiés au niveau des 21 stations les plus en aval du réseau



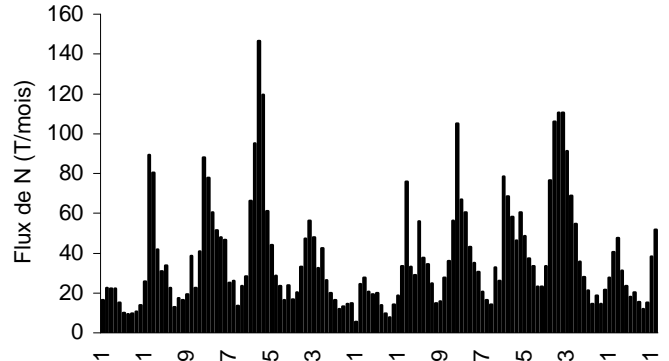
Carte 2 : Bassins versants étudiés au niveau des 21 exutoires

Annexe 4 : Graphiques issus des calculs de flux au point de suivi

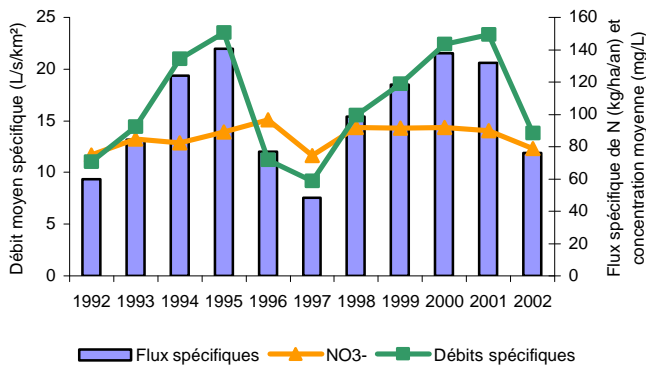
Flux mensuels spécifiques d'azote sur la station 04 174 660 (Guillec)



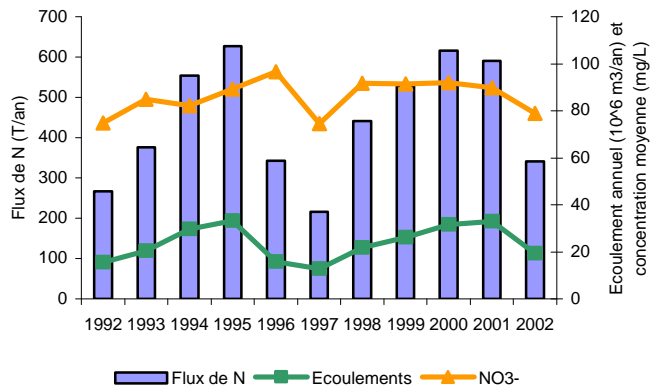
Flux mensuels d'azote sur la station 04 174 660 (Guillec)



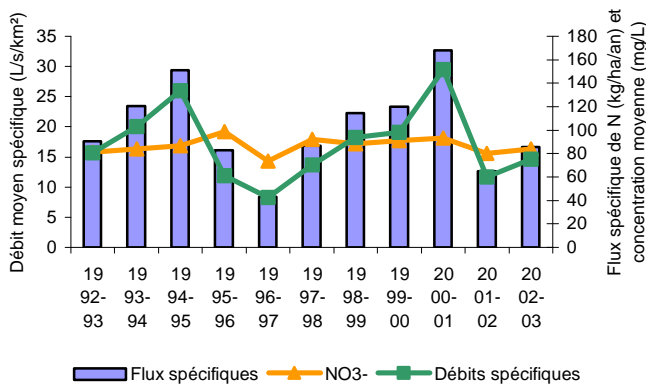
Flux spécifiques annuels d'azote (année civile) sur la station 04 174 660 (Guillec)



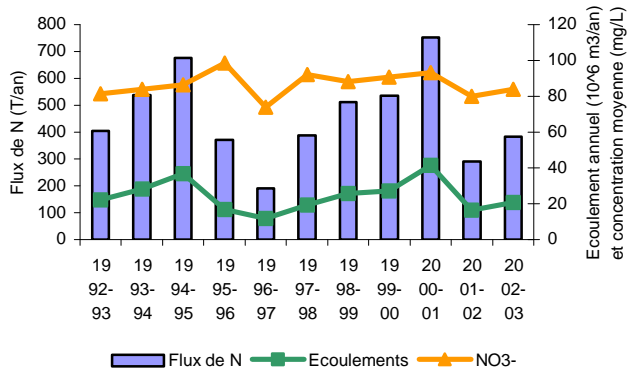
Flux annuels d'azote (année civile) sur la station 04 174 660 (Guillec)



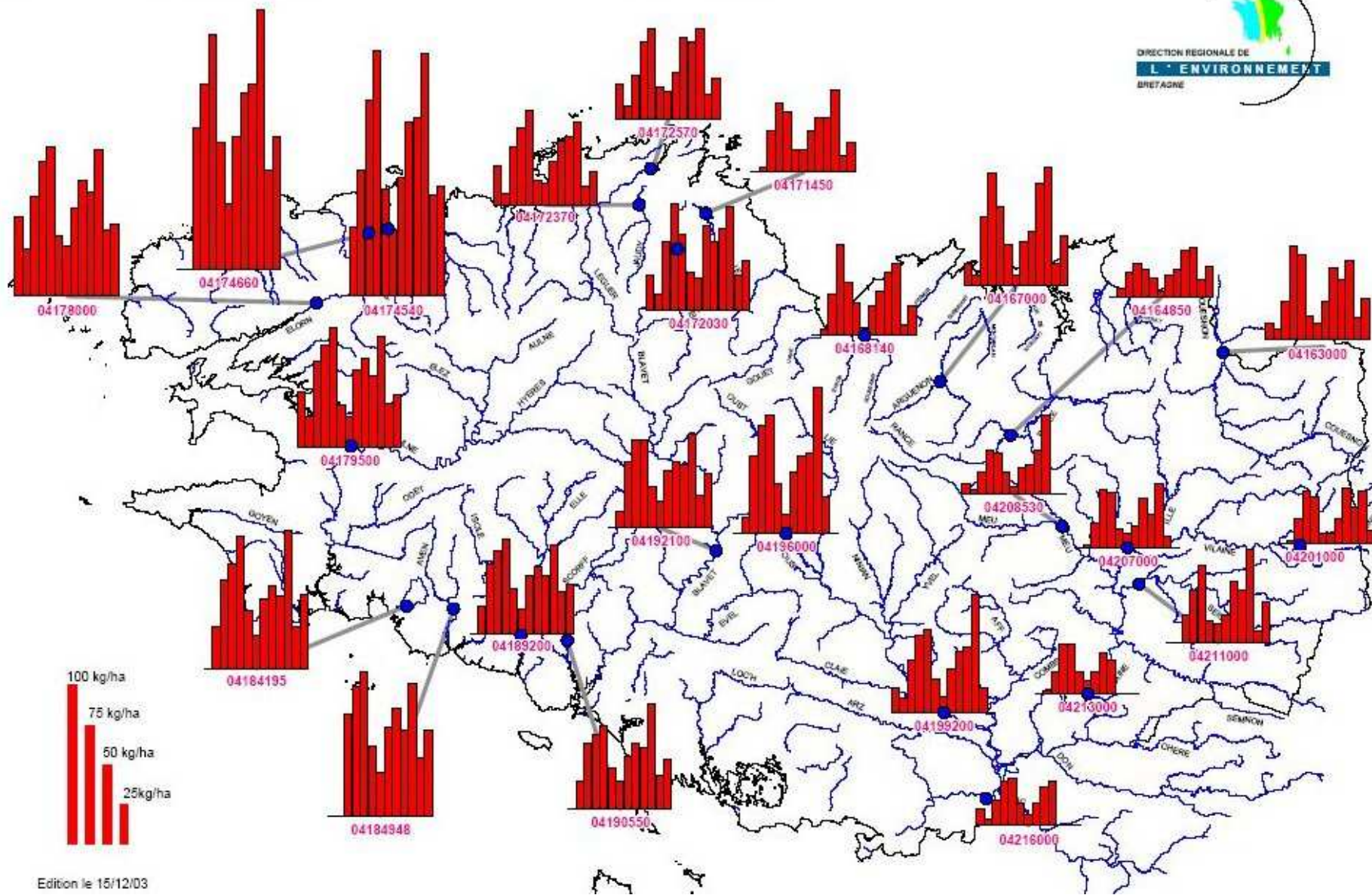
Flux spécifiques annuels d'azote (année hydrologique) sur la station 04 174 660 (Guillec)



Flux annuels d'azote (année hydrologique) sur la station 04 174 660 (Guillec)



Annexe 5 : Histogrammes des flux spécifiques d'azote N-NO₃ pour les années hydrologiques 1990/91 à 2002/03



Annexe 6 : Bilans des flux spécifiques sur les 31 stations étudiées

Stations	Cours d'eau	Durée		Surface BV	Débits		Concentrations			Flux spécifiques	
		période étudiée	nombre d'années		Débit spécifique moyen	Écoulement moyen	concentration moyenne	concentration minimale	concentration maximale	91/92 à 96/97	96/97 à 01/02
			années		hectares	L/s/km ²	m ³ /an	mg/L	mg/L	mg/L	kg/ha/an
04 163 000	Couesnon	87/88-02/03	16	84 656	9	239,8	39,2	8,2	76,5	29	31
04 164 850	Rance	91/92-02/03	12	12 219	8,8	53,6	26,0	8,0	50,7	13	18
04 167 000	Arguenon	89/90-02/03	14	10 456	7,6	25,0	47,9	0,2	121,8	35	39
04 168 140	Gouessant	91/92-02/03	12	24 256	6,0	46,0	44,1	2,1	120,6	32	35
04 170 500	Gouet	88/89-02/03	15	13 431	11,4	48,4	35,4	11,0	61,2	25	25
04 171 450	Leff	91/92-02/03	12	34 119	7,8	84,4	47,6	18,9	70,0	24	29
04 171 750	Trieux	90/91-00/01	11	17 919	15,6	88,4	49,7	16,0	71,6	53	-
04 172 030	Trieux	90/91-02/03	13	39 000	13,6	166,9	39,9	16,6	65,1	37	45
04 172 370	Jaudy	90/91-02/03	13	16 581	10,5	54,8	43,5	20,4	69,2	31	32
04 172 570	Guindy	90/91-02/03	13	12 588	10,0	39,6	49,8	10,9	74,8	31	37
04 173 100	Leguer	93/94-02/03	10	39 000	17,8	219,2	29,2	7,5	44,6	-	35
04 174 250	Queffleuth	90/91-02/03	13	9 613	17,9	54,4	24,4	8,1	38,9	30	31
04 174 540	Horn	91/92-02/03	12	4 950	14,8	23,1	90,7	30,0	136,0	88	96
04 174 660	Guillec	92/93-02/03	11	4 469	17,2	24,2	86,6	4,3	130,0	-	99
04 178 000	Elorn	85/86-02/03	18	26 194	21,7	179,2	36,3	8,5	87,7	58	62
04 179 500	Aulne	80/81-02/03	23	146 844	19,0	880,0	24,2	0,5	49,5	44	46
04 184 150	Styral	92/93-02/03	11	2 306	19,5	14,2	44,3	19,8	58,1	-	55
04 184 195	Moros	91/92-02/03	12	2 044	18,4	11,9	38,5	12,6	55,4	49	47
04 184 948	Aven	92/93-02/03	11	16 700	25,1	132,1	35,1	15,1	51,5	-	55
04 187 200	Elle	90/91-00/01	11	14 531	21,2	97,0	20,0	2,0	80,8	26	-
04 189 200	Laïta	91/92-02/03	12	86 519	18,9	516,3	27,1	10,9	55,5	37	36
04 190 550	Scorff	91/92-02/03	12	37 925	18,3	219,0	26,8	10,2	48,6	34	37
04 192 100	Blavet	91/92-02/03	12	101 900	15,2	488,6	30,4	3,7	57,8	35	37
04 196 000	Oust	91/92-01/02	11	37 575	12,3	145,3	42,7	8,9	75,3	42	45
04 199 200	Oust	79/80-01/02	23	245 675	9,8	760,5	28,7	0,5	62,7	30	36
04 201 000	Vilaine	91/92-01/02	11	15 025	9,7	46,0	24,0	5,1	49,5	16	21
04 207 000	Vilaine	91/92-01-02	11	160 194	9,3	472,5	23,5	1,0	62,8	19	21
04 208 530	Meu	88/89-00/01	13	47 313	7,0	103,9	25,3	0,0	87,7	15	-
04 211 000	Seiche	71/72-79/80 91/92-02/03	21	80 469	6,0	153,4	21,5	0,2	104,4	21	28
04 213 000	Vilaine	91/92-99/00	9	416 631	6,9	902,9	26,8	0,5	74,9	17	-
04 216 000	Vilaine	76/77-99/00	24	1 016 444	7,2	2 324,3	22,2	1,0	66,9	16	-

Annexe 7 : Cartes des flux spécifiques et de leur évolution

Carte 1 : carte des flux spécifiques (kg/ha/an) sur le cycle de 1991/92 à 1996/97 (moyenne des flux sur les 6 ans) ;

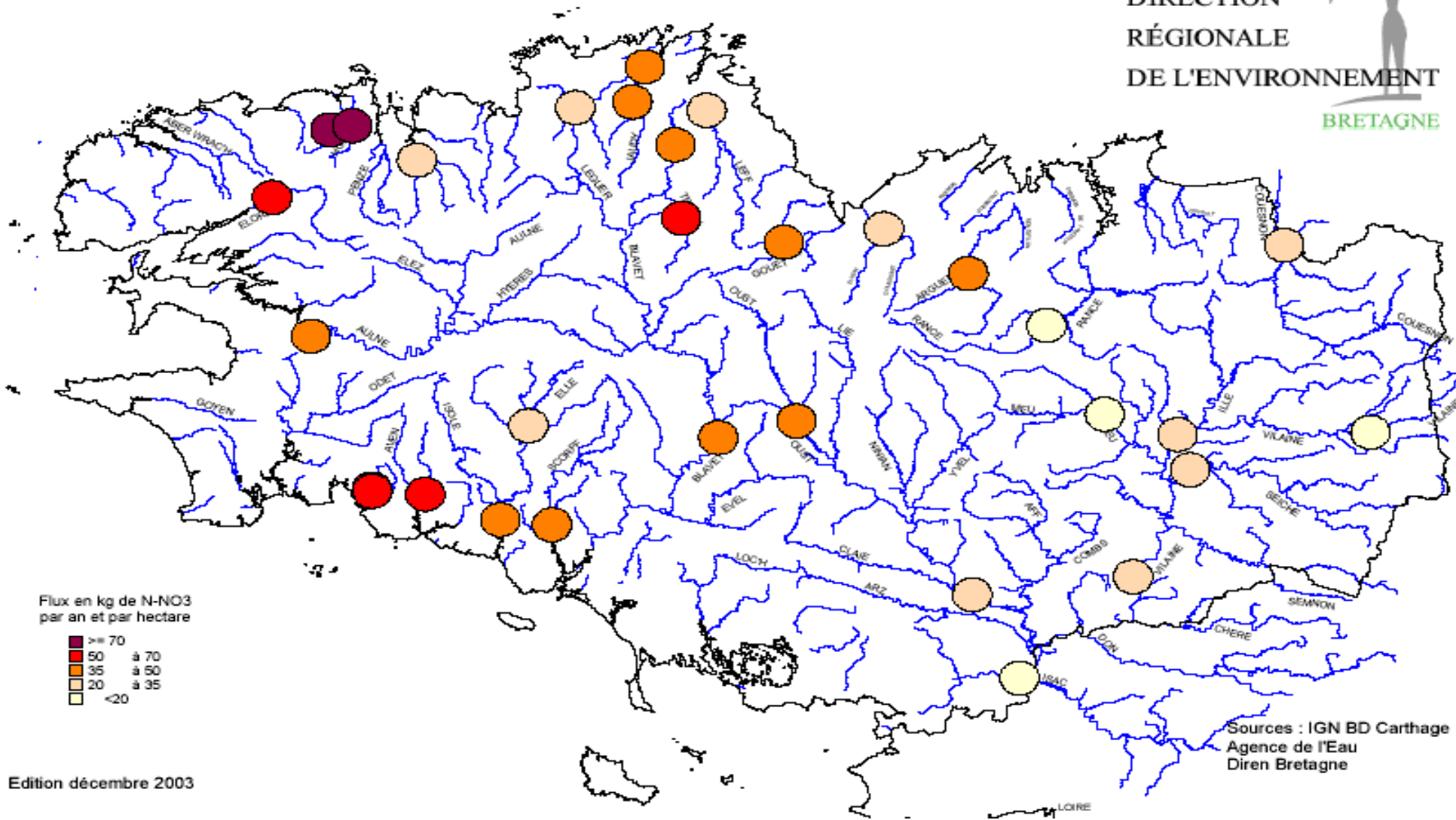
Carte 2 : évolution des flux spécifiques (kg/ha/an) entre le cycle de 1991/92 à 1996/97 et le cycle de 1996/97 à 2001/02 ;

Carte 3 : évolution des débits spécifiques (L/s/km²) entre le cycle de 1991/92 à 1996/97 et le cycle de 1996/97 à 2001/02 ;

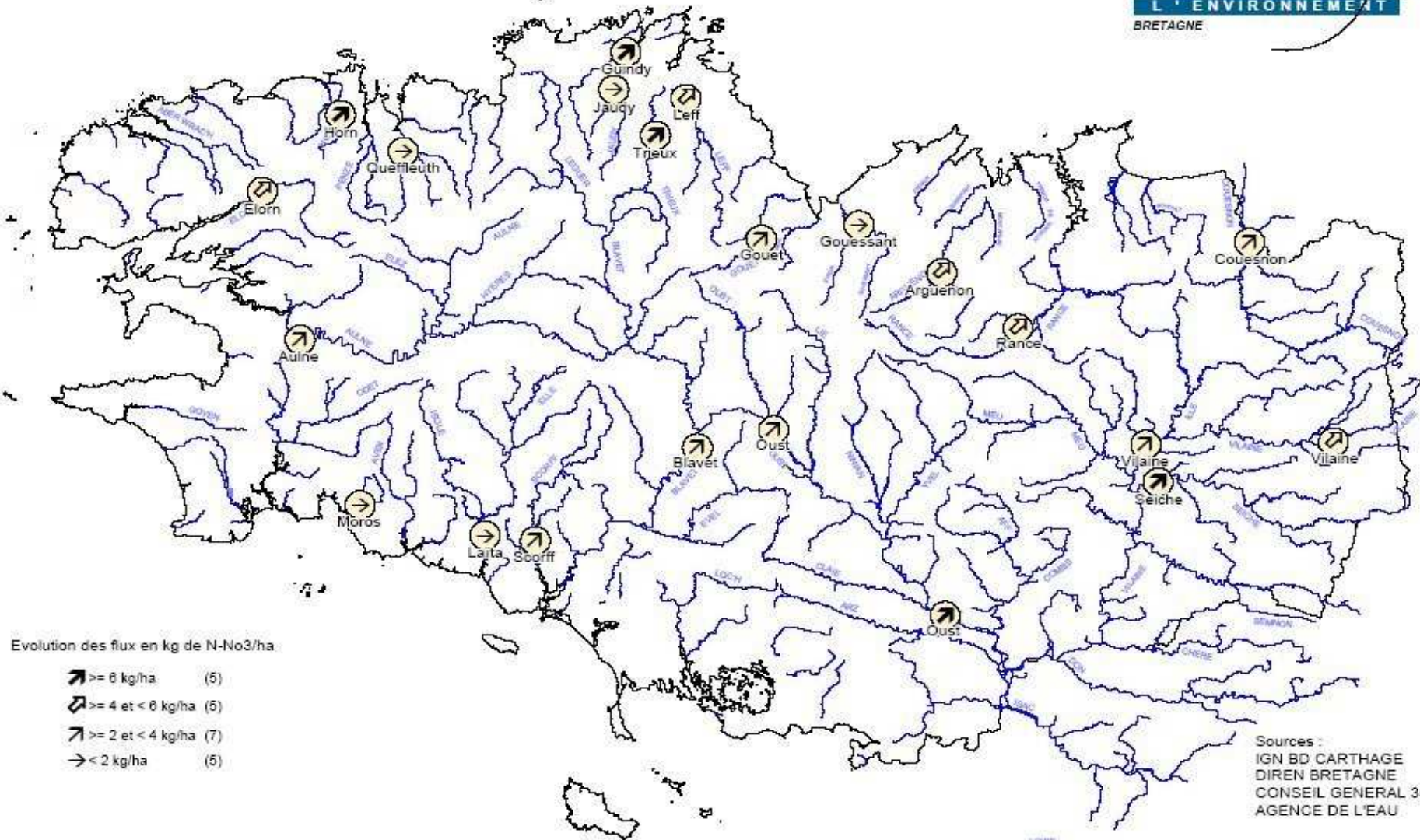
Carte 4 : évolution des concentrations (mg/L) entre le cycle de 1991/92 à 1996/97 et le cycle de 1996/97 à 2001/02.

Carte 1 : carte des flux spécifiques (kg/ha/an) sur le cycle de 1991/92 à 1996/97 (moyenne des flux sur les 6 ans)

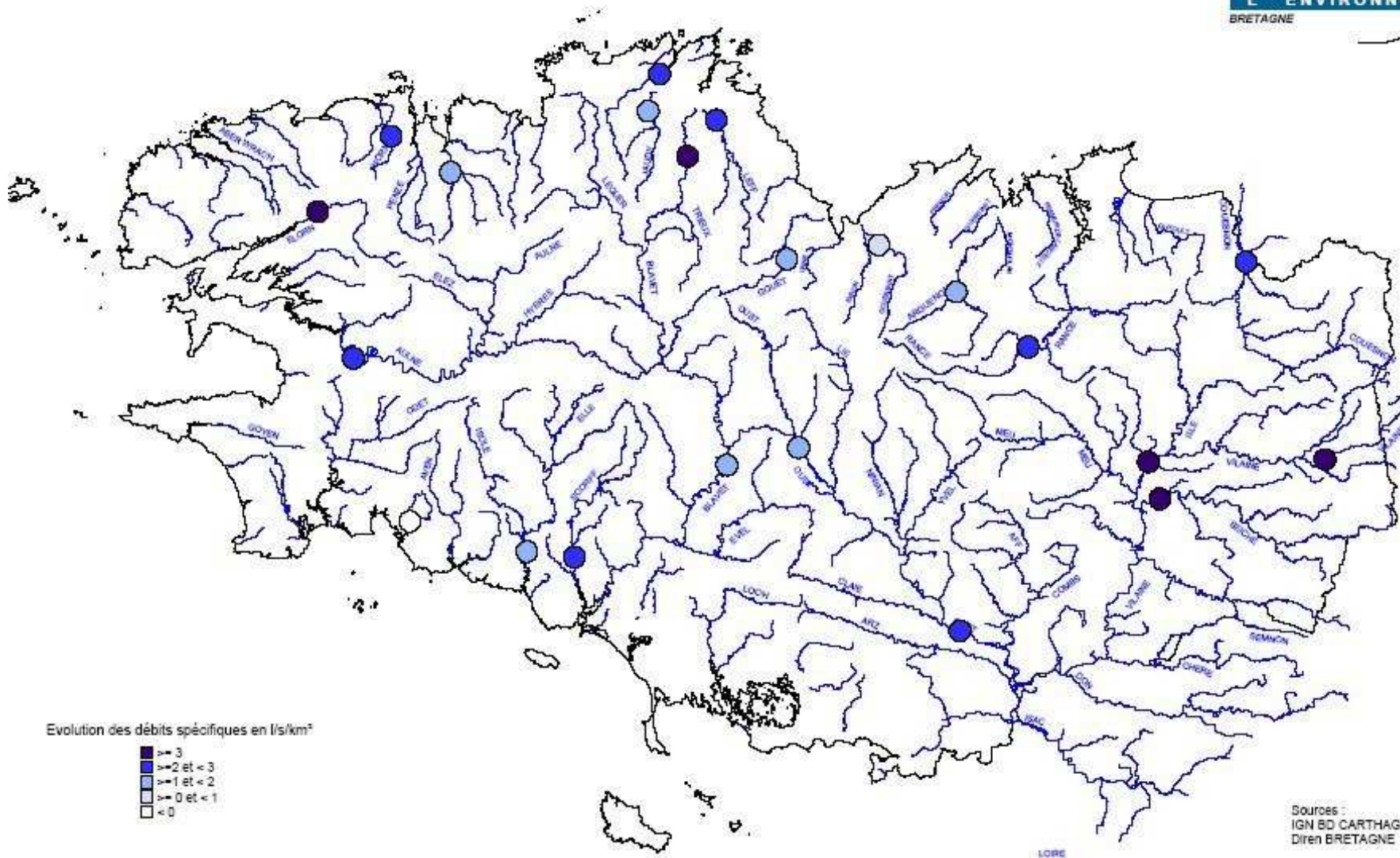
Flux spécifiques en kg/ha/an (moyenne sur 92/93-96/97)



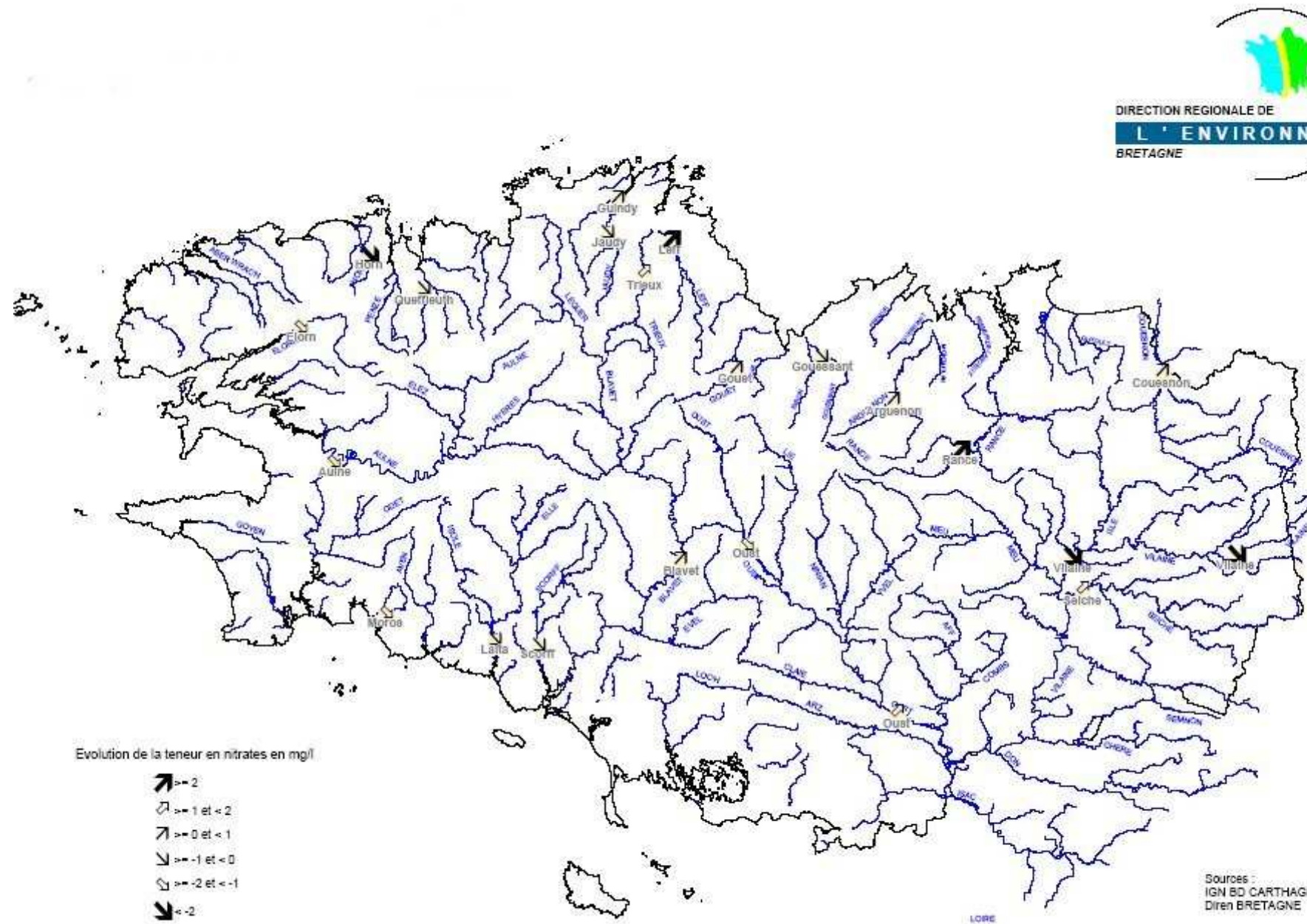
Carte 2 : évolution des flux spécifiques (kg/ha/an) entre le cycle de 1991/92 à 1996/97 et le cycle de 1996/97 à 2001/02 (comparaison des moyennes entre les deux cycles)



Carte 3 : évolution des débits spécifiques (L/s/km²) entre le cycle de 1991/92 à 1996/97 et le cycle de 1996/97 à 2001/02
 (comparaison des moyennes entre les deux cycles)



Carte 4 : évolution des concentrations (mg/L) entre le cycle de 1991/92 à 1996/97 et le cycle de 1996/97 à 2001/02
 (comparaison des moyennes entre les deux cycles)



Evolution de la teneur en nitrates en mg/l

- ➔ >= 2
- ➔ >= 1 et < 2
- ➔ >= 0 et < 1
- ➔ >= -1 et < 0
- ➔ >= -2 et < -1
- ➔ < -2

Sources :
 IGN BD CARTHAGE
 Diren BRETAGNE

Annexe 8 : Fiches résultats pour les 31 stations étudiées

Stations

suivi : **04 163 000**
 jaugeage : **J 020 151 0**
 sort surfaces : 1)

Cours d'eau : **Couesnon**

Années : **1997/88 à 2002/03**

16 ans

Au point de suivi

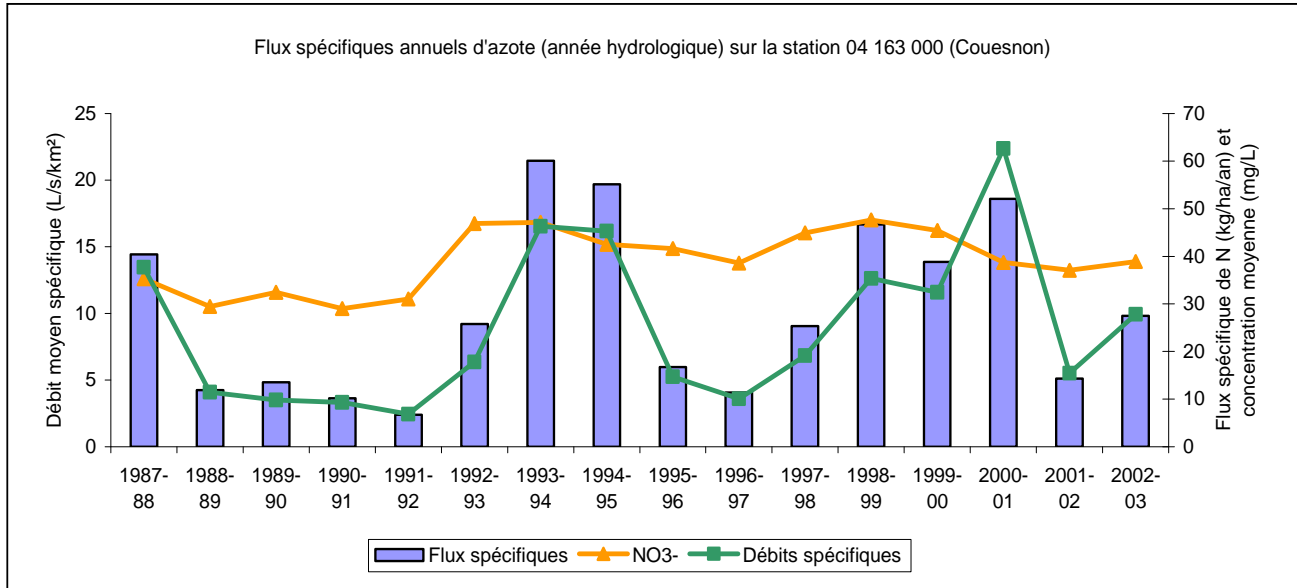
Surface BV : **84 656 ha**
 Débit moyen : **9,0 L/s/km²**
 débit moyen : **239,8 m³/an**
 [NO₃-] moyen : **39,2 mg/L**
 [NO₃-] min : **8,2 mg/L**
 [NO₃-] max : **76,5 mg/L**

Données manquantes

[NO₃-] : **11/87, 01/88, 02/88, 11/88, 01/89, 02/89**
04/89, 02/90, 04/90, 01/91, 02/91

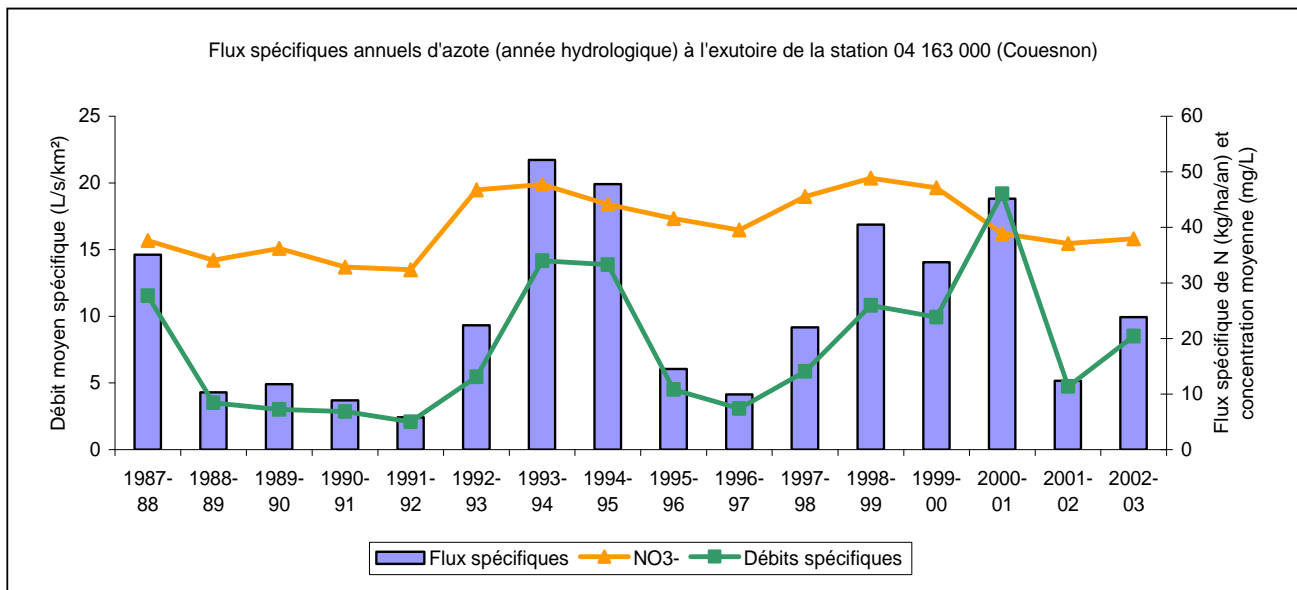
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **2480** \bar{s} (kg/ha/an) = **29**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **2662** \bar{s} (kg/ha/an) = **31**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **2813** \bar{s} (kg/ha/an) = **25** Surface BV : **110 650**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **3019** \bar{s} (kg/ha/an) = **27** (ha)

Stations

suivi : **04 164 850**
 jaugeage : **J 061 161 0**
 port surfaces : 1,34)

Cours d'eau : **Rance**

Années : **1991/92 à 2002/03**

12 ans

Au point de suivi

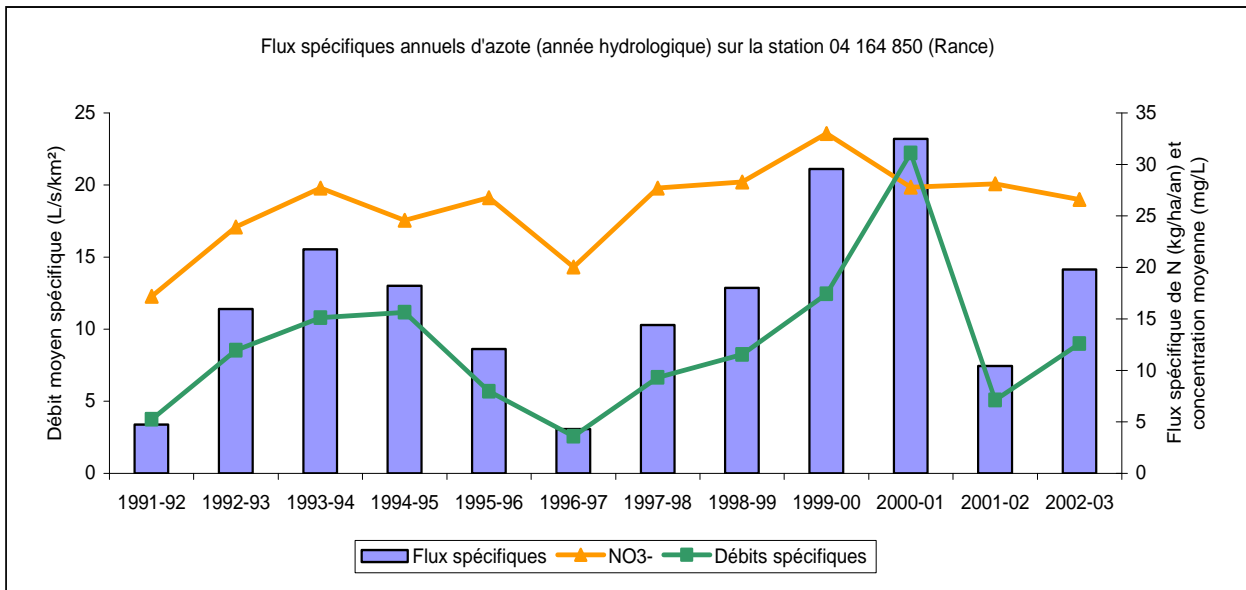
Surface BV : **12 219** ha
 Débit moyen : **8,8** L/s/km²
 débit moyen : **53,6** m³/an
 [NO₃-] moyen : **26,0** mg/L
 [NO₃-] min : **8,0** mg/L
 [NO₃-] max : **50,7** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91; 01/02**

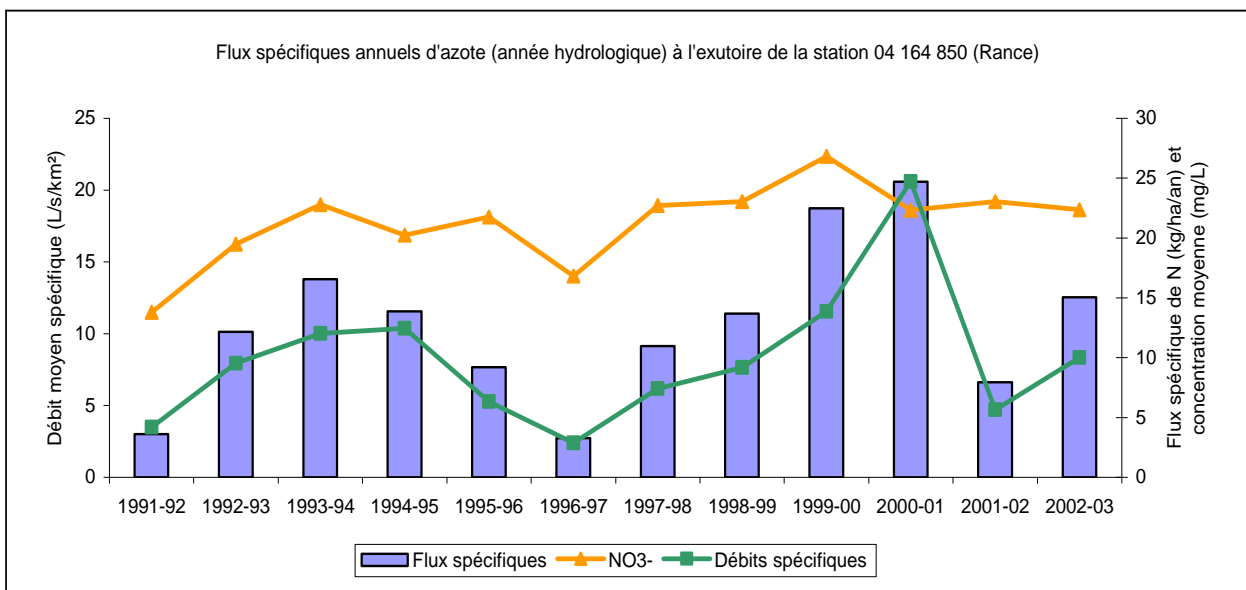
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	247	\bar{s} (kg/ha/an) =	13
96/97 - 01/02	F (T/an) =	350	\bar{s} (kg/ha/an) =	18

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	939	\bar{s} (kg/ha/an) =	10	Surface BV :	96 106
96/97 - 01/02	F (T/an) =	1331	\bar{s} (kg/ha/an) =	14	(ha)	

suivi : **04 167 000**
 jaugeage : **J 110 301 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Arguenon**

Années : **1989/90 à 2002/03**

14 ans

Au point de suivi

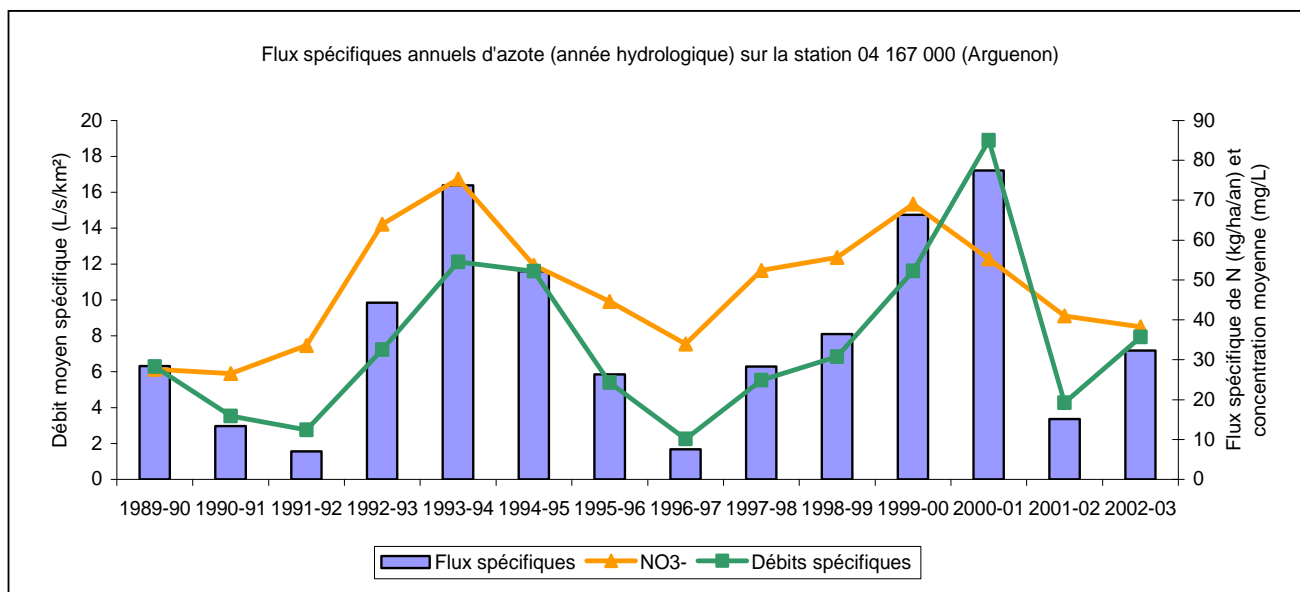
Données manquantes

Surface BV : **10 456 ha**
 Débit moyen : **7,6 L/s/km²**
 débit moyen : **25,0 m³/an**
 [NO₃-] moyen : **47,9 mg/L**
 [NO₃-] min : **0,2 mg/L**
 [NO₃-] max : **121,8 mg/L**

[NO₃-] : **11/89; 04/90; 01/91; 02/91; 11/91; 01/02**

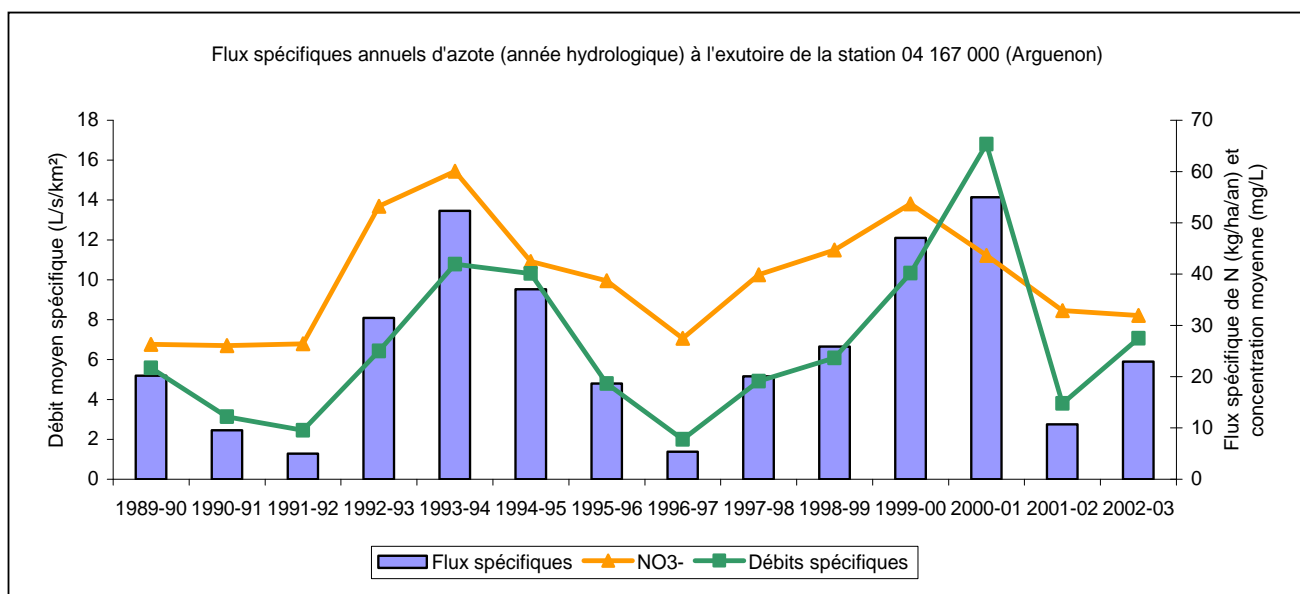
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **368** \bar{s} (kg/ha/an) = **35**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **403** \bar{s} (kg/ha/an) = **39**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **1118** \bar{s} (kg/ha/an) = **25** Surface BV : **44 769**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **1224** \bar{s} (kg/ha/an) = **27** (ha)

Stations

suivi : **04 168 140**
 jaugeage : **J 131 310 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Gouessant**

Années : **1991/92 à 2002/2003**

12 ans

Au point de suivi

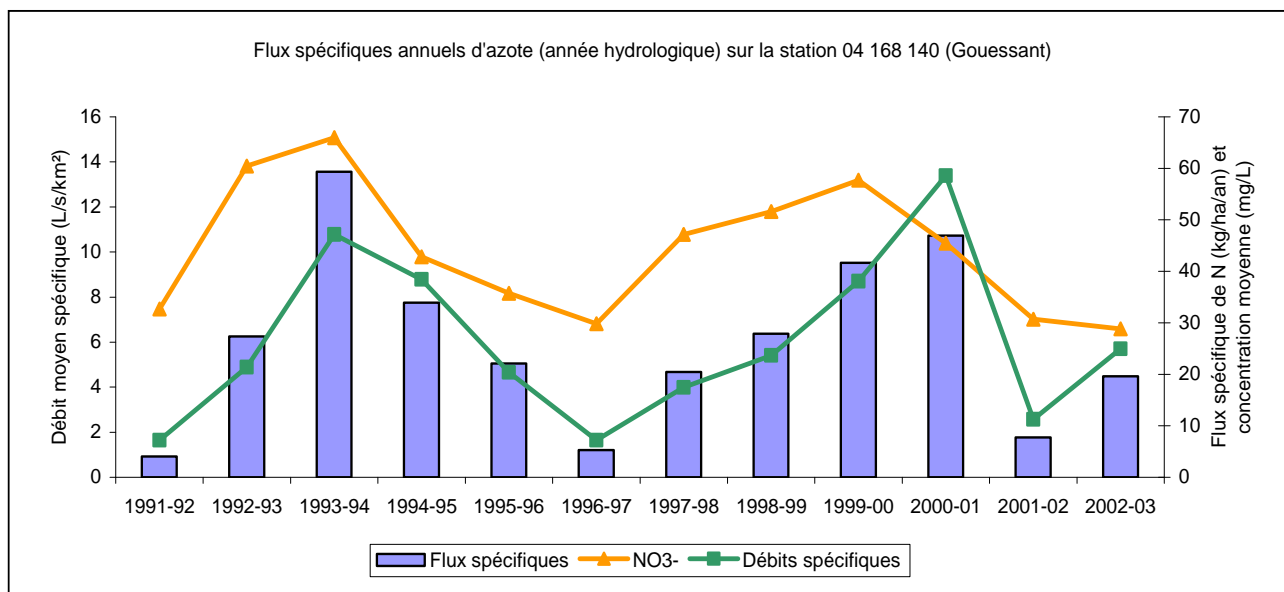
Surface BV : **24 256** ha
 Débit moyen : **6,0** L/s/km²
 débit moyen : **46,0** m³/an
 [NO₃-] moyen : **44,1** mg/L
 [NO₃-] min : **2,1** mg/L
 [NO₃-] max : **120,6** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **01/02**

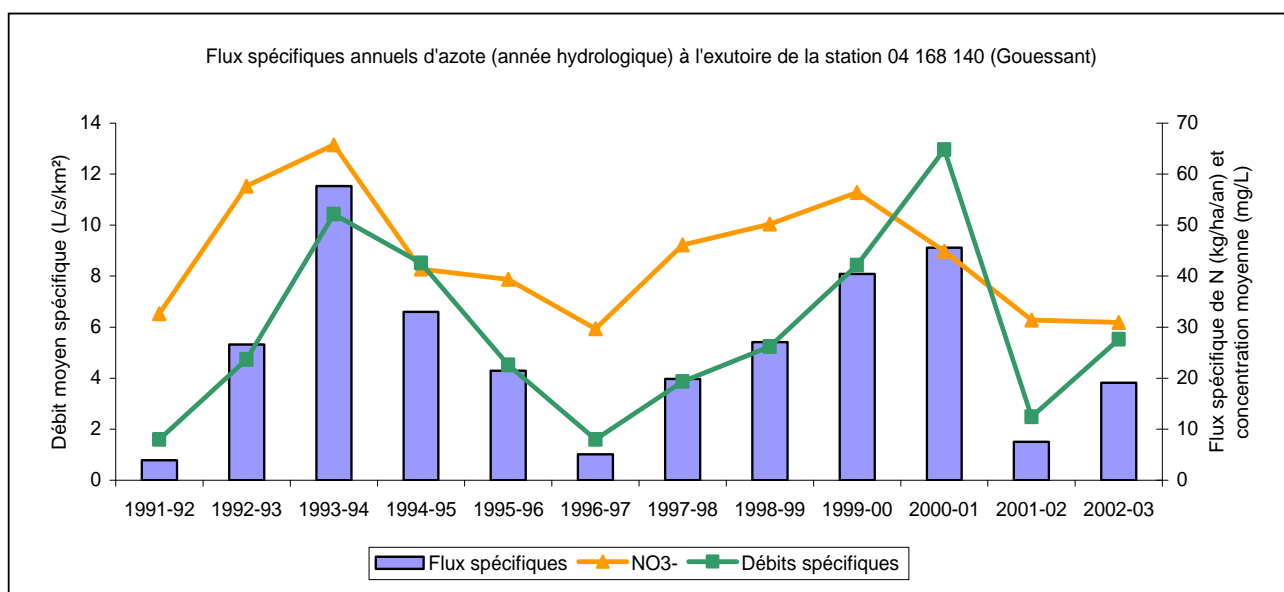
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **614** \bar{s} (kg/ha/an) = **25**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **606** \bar{s} (kg/ha/an) = **25**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **676** \bar{s} (kg/ha/an) = **25** Surface BV : **27 481**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **667** \bar{s} (kg/ha/an) = **24** (ha)

Stations

suivi : **04 170 500**
 jaugeage : **J 151 301 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Gouët**

Années : **1988/89 à 2002/03**

15 ans

Au point de suivi

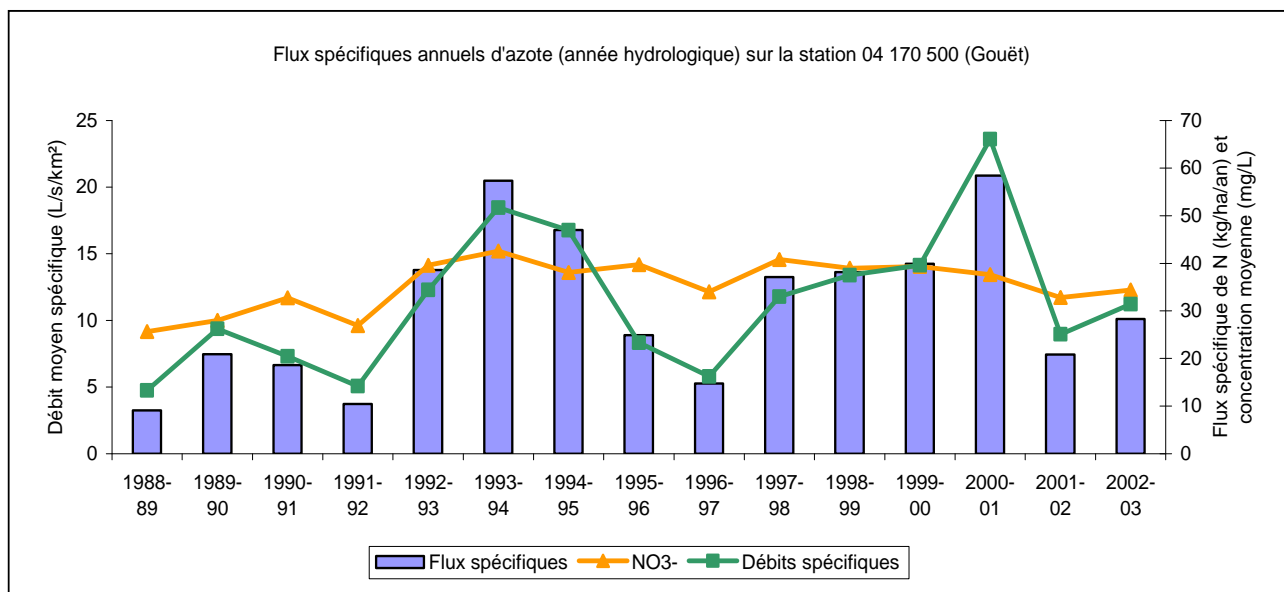
Surface BV : **13 431** ha
 Débit moyen : **11,4** L/s/km²
 débit moyen : **48,4** m³/an
 [NO₃-] moyen : **35,4** mg/L
 [NO₃-] min : **11,0** mg/L
 [NO₃-] max : **61,2** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **01/02**

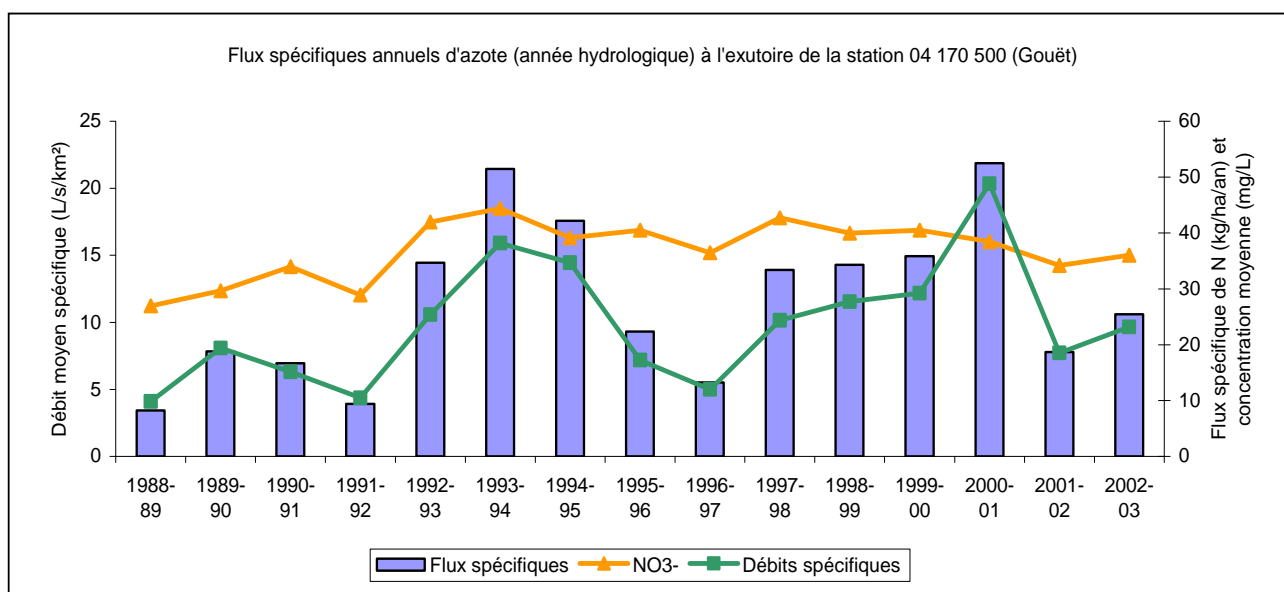
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	432	\bar{s} (kg/ha/an) =	32
96/97 - 01/02	F (T/an) =	468	\bar{s} (kg/ha/an) =	35

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	728	\bar{s} (kg/ha/an) =	29	Surface BV :	25 188
96/97 - 01/02	F (T/an) =	789	\bar{s} (kg/ha/an) =	31	(ha)	

Stations

suivi : **04 171 450**
 jaugeage : **J 181 301 0**
 port surfaces : **1**)

Cours d'eau : **Leff**

Années : **1991/92 à 2002/03**

12 ans

Au point de suivi

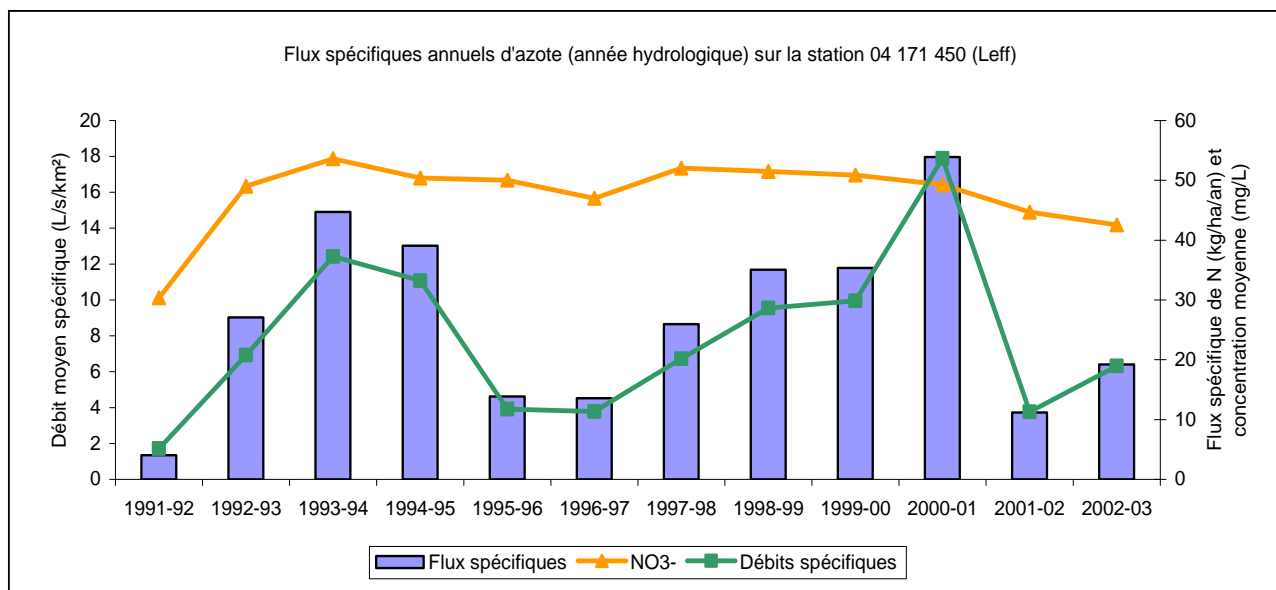
Surface BV : **34 119** ha
 Débit moyen : **7,8** L/s/km²
 débit moyen : **84,4** m³/an
 [NO₃-] moyen : **47,6** mg/L
 [NO₃-] min : **18,9** mg/L
 [NO₃-] max : **70,0** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/92; 01/02**

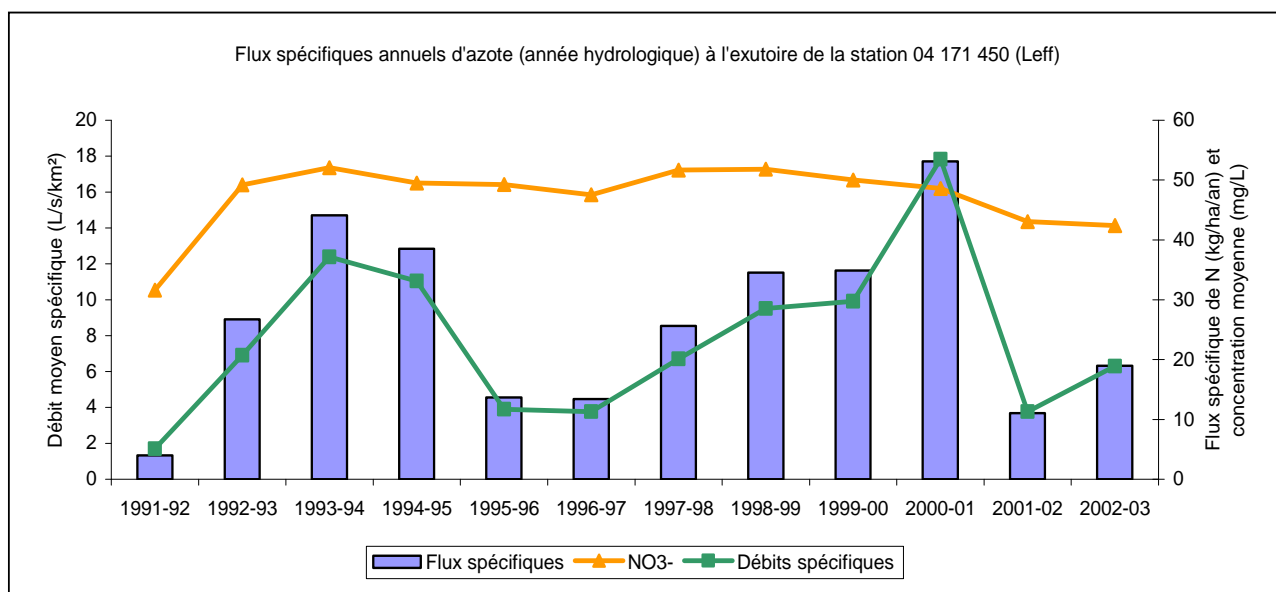
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	810	\bar{s} (kg/ha/an) =	24
96/97 - 01/02	F (T/an) =	995	\bar{s} (kg/ha/an) =	29

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	831	\bar{s} (kg/ha/an) =	23	Surface BV :	35 500
96/97 - 01/02	F (T/an) =	1021	\bar{s} (kg/ha/an) =	29	(ha)	

Stations

suivi : **04 171 750**
jaugeage : **J 171 171 0**
port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Trieux**

Années : **1990/91 à 2000/01**

11 ans

Au point de suivi

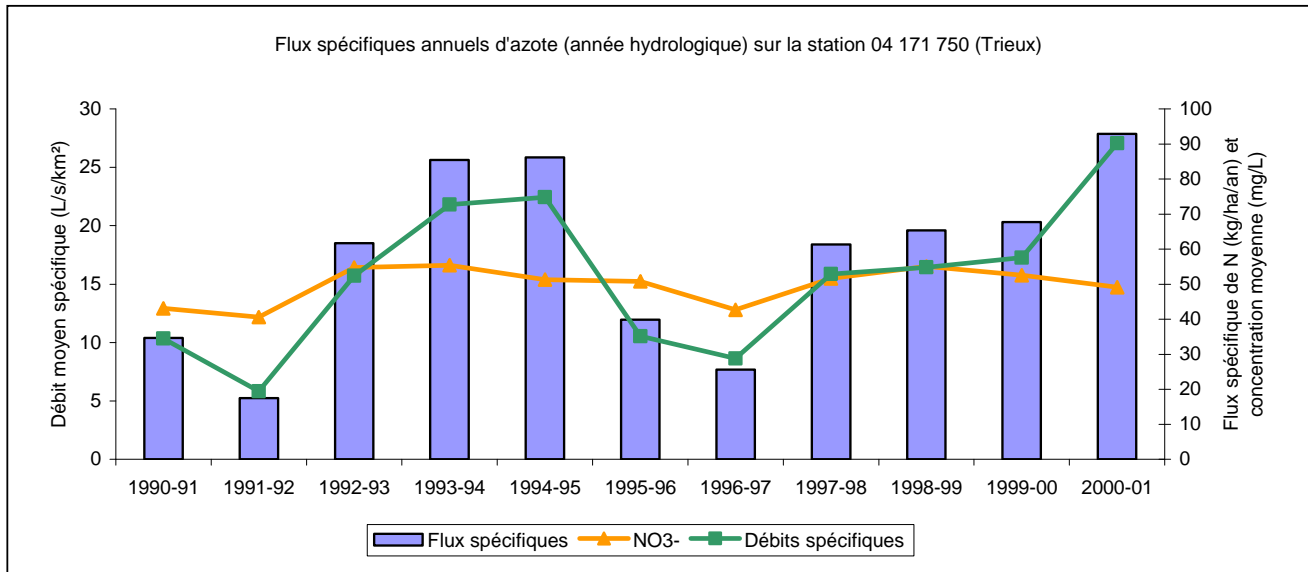
Surface BV : **17 919** ha
Débit moyen : **15,6** L/s/km²
Débit moyen : **88,4** m³/an
[NO₃-] moyen : **49,7** mg/L
[NO₃-] min : **16,0** mg/L
[NO₃-] max : **71,6** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91; 08/92; 11/92; 02/93; 07/95**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **944** \bar{s} (kg/ha/an) = **53**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **-** \bar{s} (kg/ha/an) = **-**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 172 030

Stations

suivi : **04 172 030**
 jaugeage : **J 172 172 0**
 port surfaces : 0,9)

Cours d'eau : **Trieux**

Années : **1990/91 à 2002/03**

13 ans

Au point de suivi

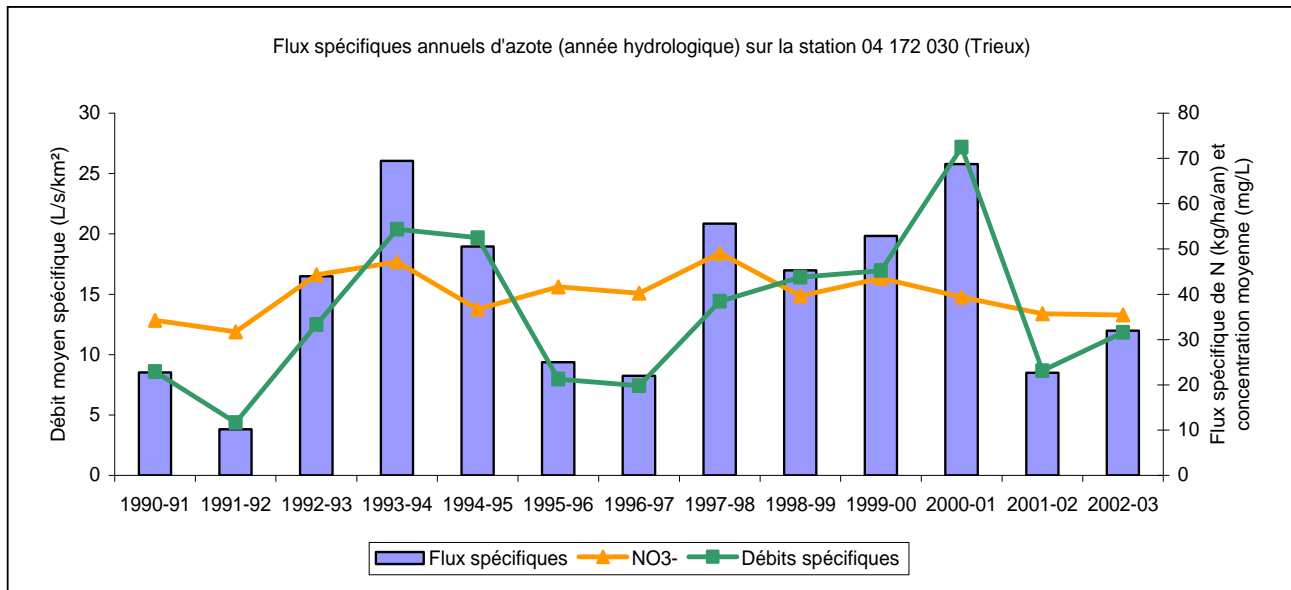
Surface BV : **39 000** ha
 Débit moyen : **13,6** L/s/km²
 débit moyen : **166,9** m³/an
 [NO₃-] moyen : **39,9** mg/L
 [NO₃-] min : **16,6** mg/L
 [NO₃-] max : **65,1** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **01/02**

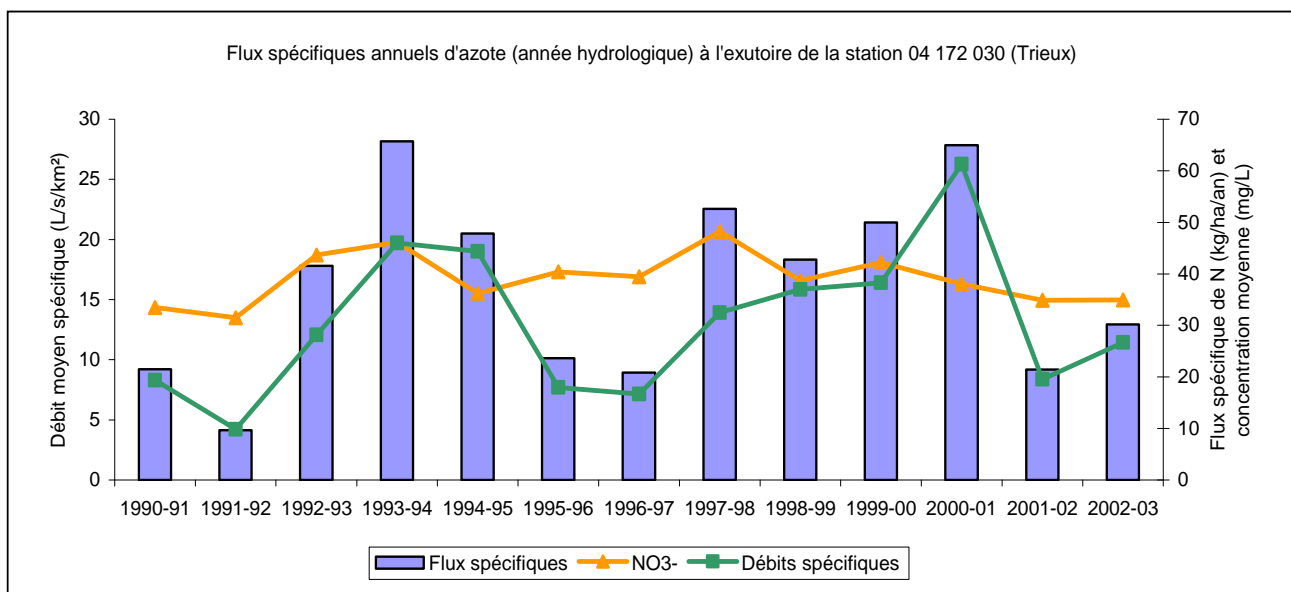
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	1438	\bar{s} (kg/ha/an) =	37
96/97 - 01/02	F (T/an) =	1737	\bar{s} (kg/ha/an) =	45

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	1555	\bar{s} (kg/ha/an) =	35	Surface BV :	44 588
96/97 - 01/02	F (T/an) =	1877	\bar{s} (kg/ha/an) =	42	(ha)	

Stations

suivi : **04 172 370**
 jaugeage : **J 202 301 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Jaudy**

Années : **1990/91 à 2002/03**

13 ans

Au point de suivi

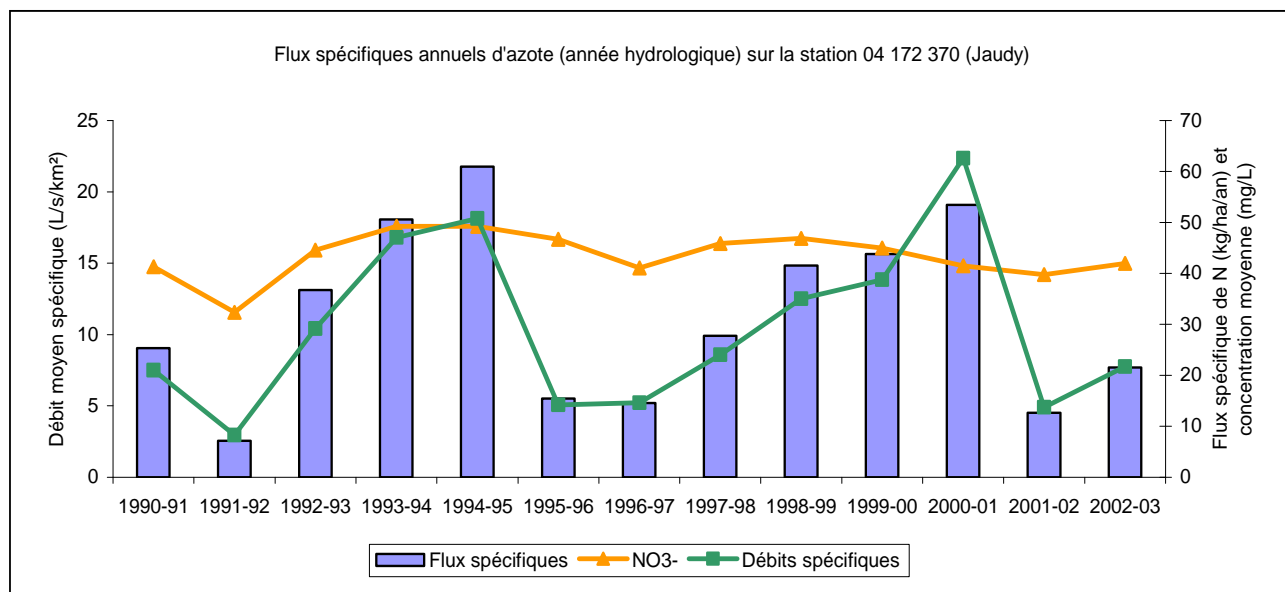
Données manquantes

Surface BV : **16 581** ha
 Débit moyen : **10,5** L/s/km²
 débit moyen : **54,8** m³/an
 [NO₃-] moyen : **43,5** mg/L
 [NO₃-] min : **20,4** mg/L
 [NO₃-] max : **69,2** mg/L

[NO₃-] : **10/90; 01/02**

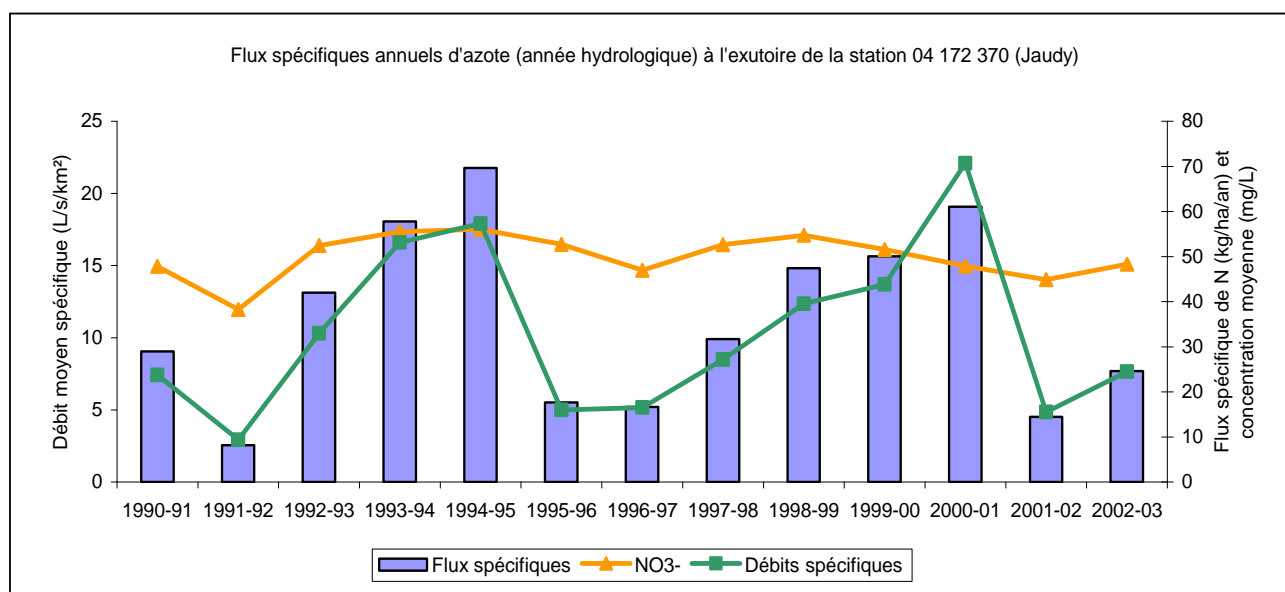
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **512** \bar{s} (kg/ha/an) = **31**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **535** \bar{s} (kg/ha/an) = **32**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **647** \bar{s} (kg/ha/an) = **35** Surface BV : **18 313**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **676** \bar{s} (kg/ha/an) = **37** (ha)

Stations

suivi : **04 172 570**
jaugeage : **J 203 401 0**
port surfaces : 1,03)

Cours d'eau : **Guindy**

Années : **1990/91 à 2002/03**

13 ans

Au point de suivi

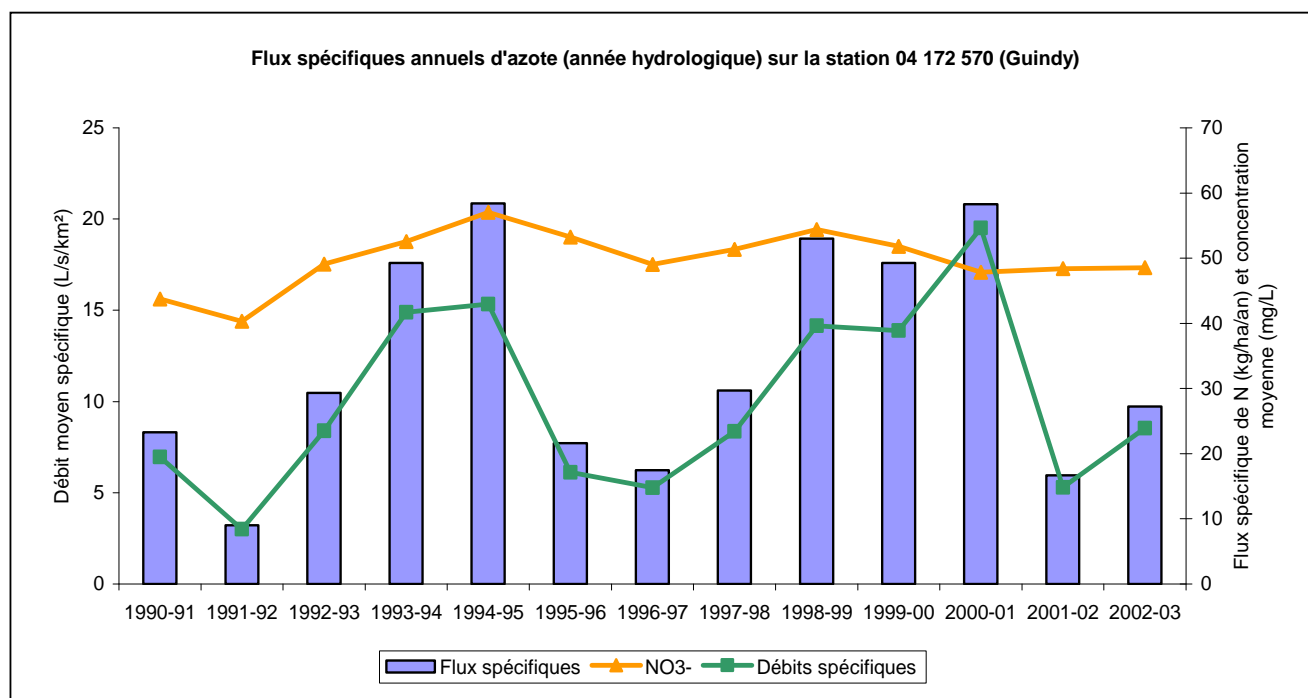
Données manquantes

Surface BV : **12 588** ha
Débit moyen : **10,0** L/s/km²
Débit moyen : **39,6** m³/an
[NO₃-] moyen : **49,8** mg/L
[NO₃-] min : **10,9** mg/L
[NO₃-] max : **74,8** mg/L

[NO₃-] : **10/90; 11/91; 01/95; 01/02**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	388	\bar{s} (kg/ha/an) =	31
96/97 - 01/02	F (T/an) =	471	\bar{s} (kg/ha/an) =	37

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

Le point de suivi est le point exutoire.

Stations

suivi : **04 173 100**
 jaugeage : **J 223 302 0**
 port surfaces : 1,08)

Cours d'eau : **Leguer**

Années : **1993/94 à 2002/03**

10 ans

Au point de suivi

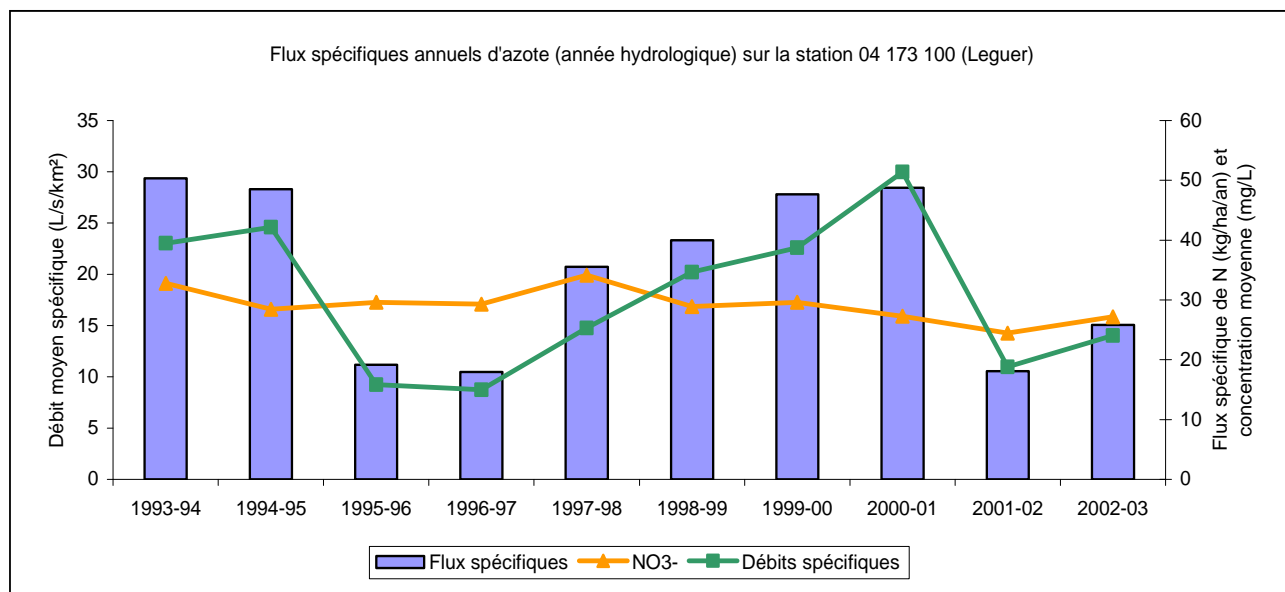
Données manquantes

Surface BV : **39 000** ha
 Débit moyen : **17,8** L/s/km²
 débit moyen : **219,2** m³/an
 [NO₃-] moyen : **29,2** mg/L
 [NO₃-] min : **7,5** mg/L
 [NO₃-] max : **44,6** mg/L

[NO₃-] : **01/02**

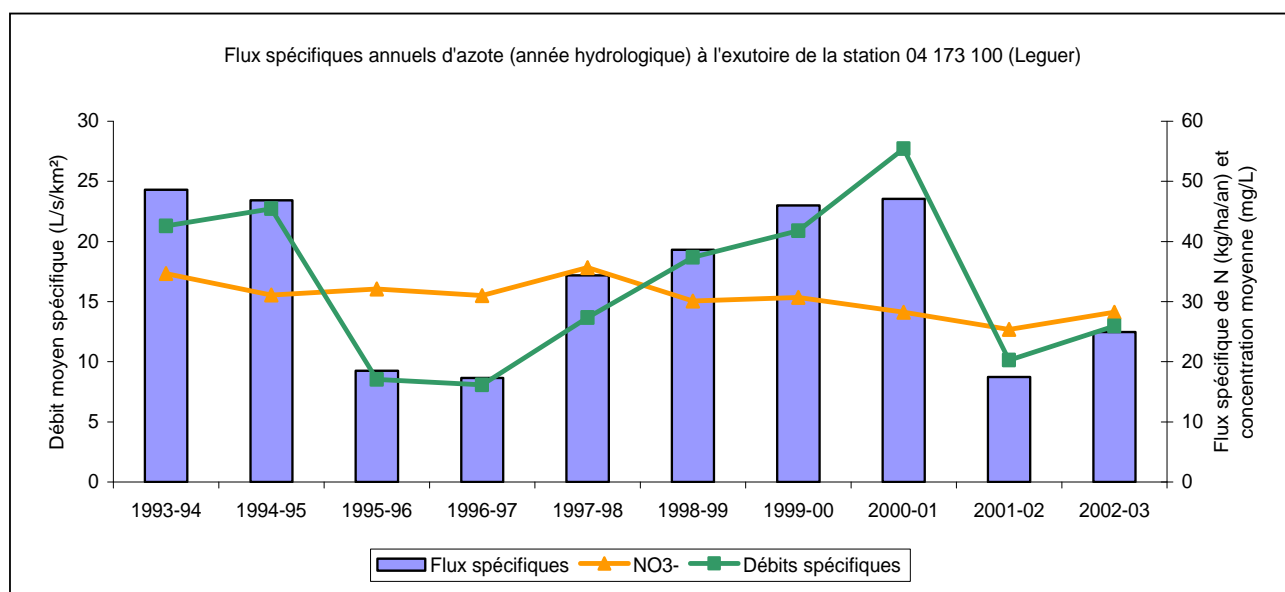
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	\bar{s} (kg/ha/an) =	-
96/97 - 01/02	F (T/an) =	1352	\bar{s} (kg/ha/an) =	35

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	\bar{s} (kg/ha/an) =	-	Surface BV :	48 831
96/97 - 01/02	F (T/an) =	1635	\bar{s} (kg/ha/an) =	33	(ha)	

Stations

suivi : **04 174 250**
 jaugeage : **J 261 402 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Queffleuth**

Années : **1990/91 à 2002/03**

13 ans

Au point de suivi

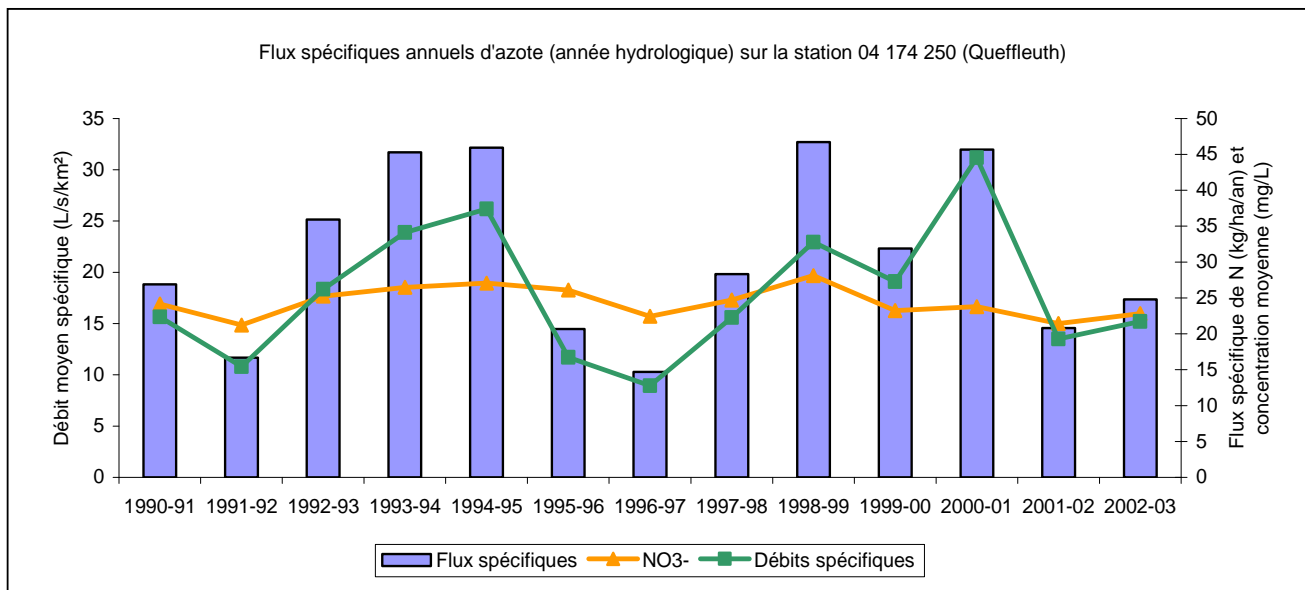
Surface BV : **9 613** ha
 Débit moyen : **17,9** L/s/km²
 débit moyen : **54,4** m³/an
 [NO₃-] moyen : **24,4** mg/L
 [NO₃-] min : **8,1** mg/L
 [NO₃-] max : **38,9** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/89; 12/89; 02/90; 23/90; 11/90; 01/91
 01/02**

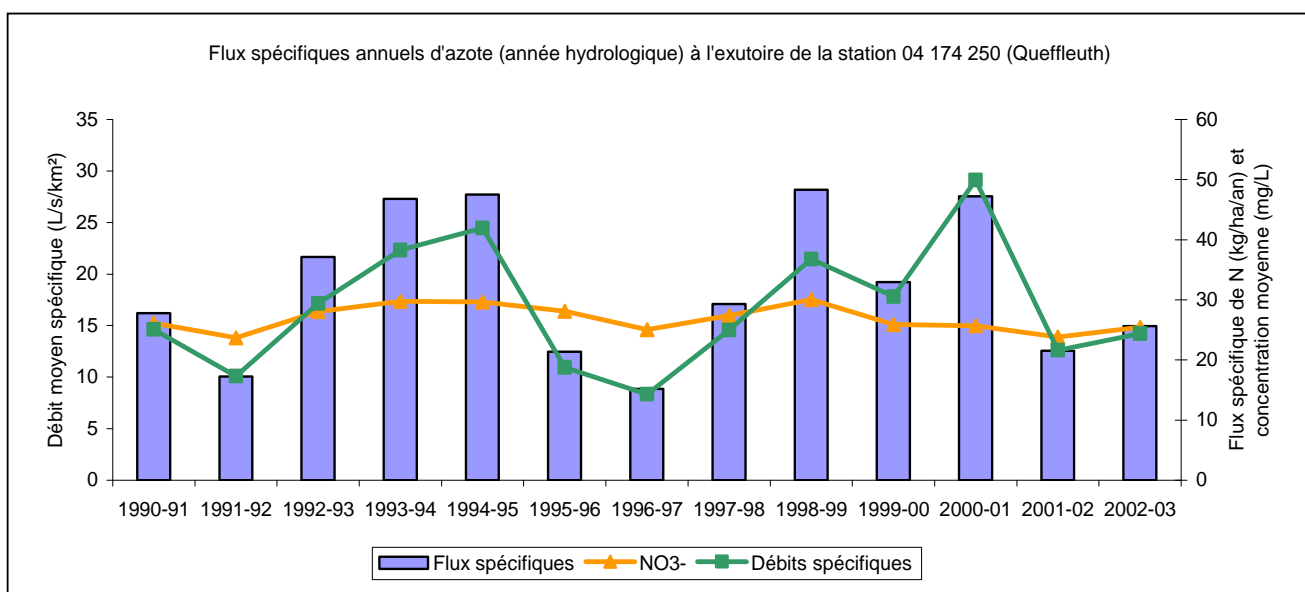
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **287** \bar{F}_s (kg/ha/an) = **30**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **301** \bar{F}_s (kg/ha/an) = **31**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **706** \bar{F}_s (kg/ha/an) = **31** Surface BV : **22 863**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **741** \bar{F}_s (kg/ha/an) = **32** (ha)

Stations

suivi : **04 174 540**
 jaugeage : **J 301 431 0**
 sort surfaces : 0,97)

Cours d'eau : **Horn**

Années : **1991/92 à 2002/03**

12 ans

Au point de suivi

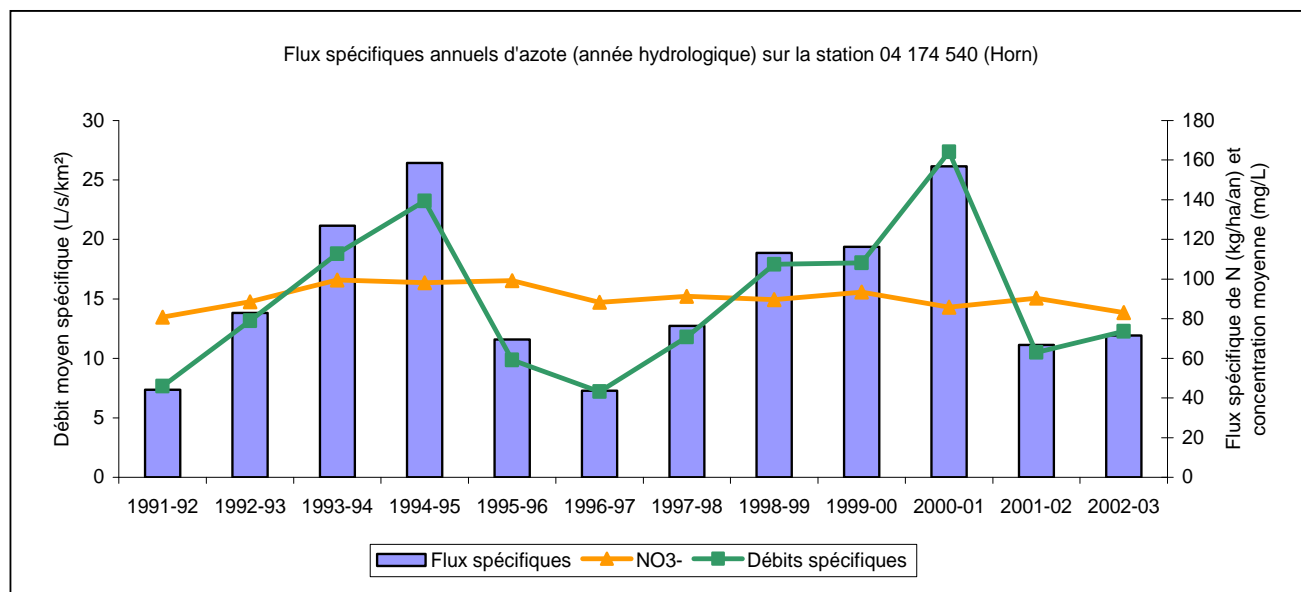
Données manquantes

Surface BV : **4 950** ha
 Débit moyen : **14,8** L/s/km²
 débit moyen : **23,1** m³/an
 [NO₃-] moyen : **90,7** mg/L
 [NO₃-] min : **30,0** mg/L
 [NO₃-] max : **136,0** mg/L

[NO₃-] : **aucun**

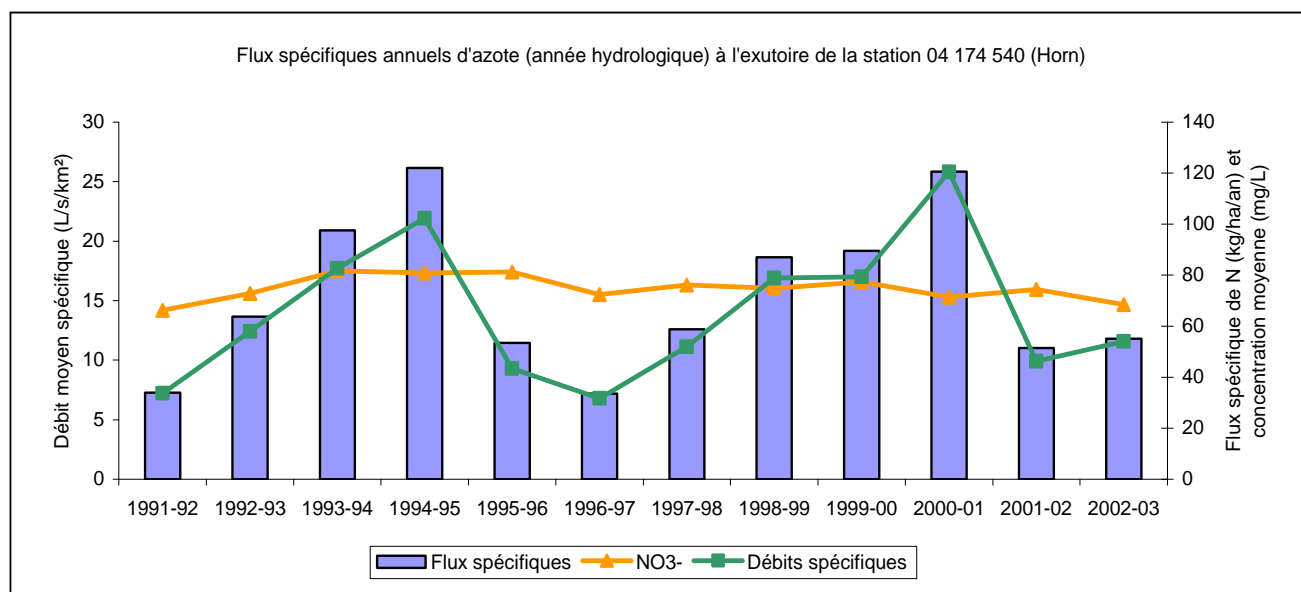
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **434** \bar{s} (kg/ha/an) = **88**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **473** \bar{s} (kg/ha/an) = **96**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **559** \bar{s} (kg/ha/an) = **67** Surface BV : **8 300**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **610** \bar{s} (kg/ha/an) = **73** (ha)

Stations

suivi : **04 174 660**
 jaugeage : **J 302 401 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Guillec**

Années : **1992/93 à 2002/03**

11 ans

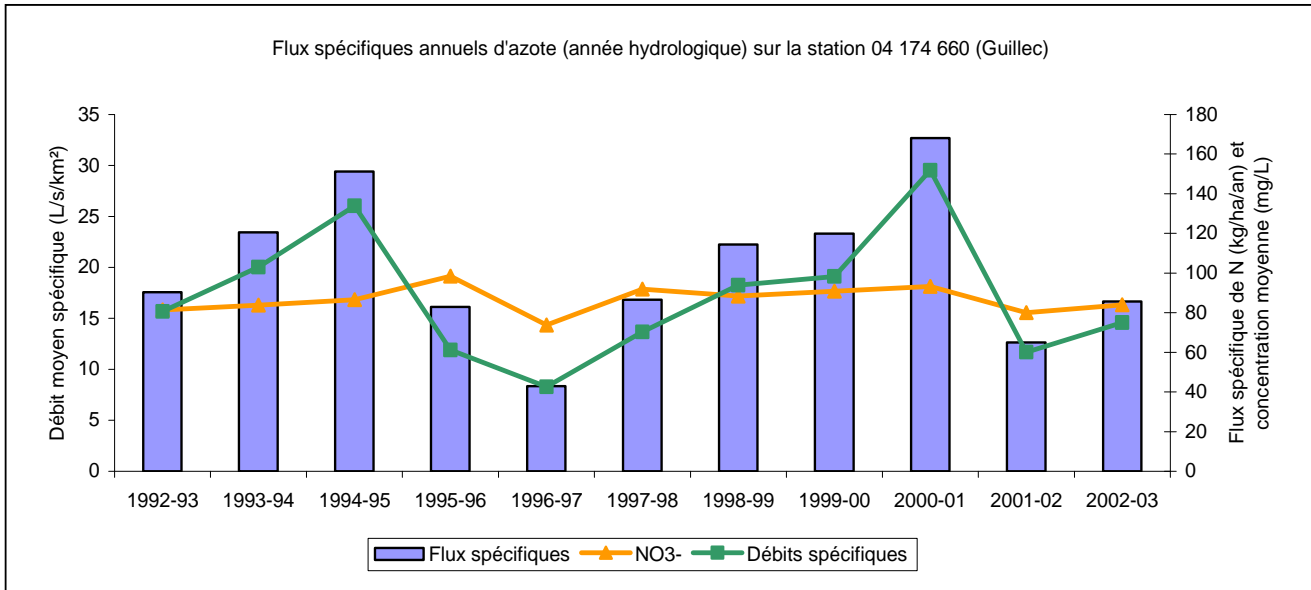
Au point de suivi

Surface BV : **4 469** ha
 Débit moyen : **17,2** L/s/km²
 débit moyen : **24,2** m³/an
 [NO₃-] moyen : **86,6** mg/L
 [NO₃-] min : **4,3** mg/L
 [NO₃-] max : **130,0** mg/L

Données manquantes

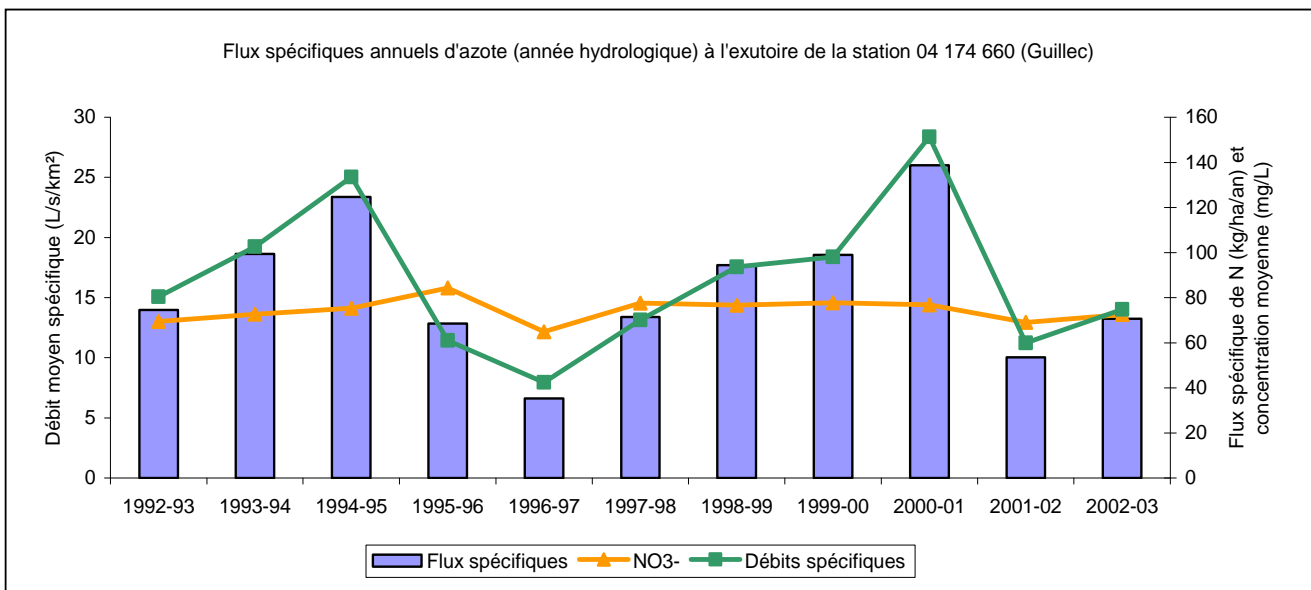
[NO₃-] : **8/92; 7/93; 11/00; 12/00**
 Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	F _s (kg/ha/an) =	-
96/97 - 01/02	F (T/an) =	444	F _s (kg/ha/an) =	99

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	F _s (kg/ha/an) =	-	Surface BV :	7 306
96/97 - 01/02	F (T/an) =	600	F _s (kg/ha/an) =	82	(ha)	

Stations

suivi : **04 178 000**
 jaugeage : **J 341 303 0**
 sort surfaces : 1)

Cours d'eau : **Elorn**

Années : **1985/86 à 2002/03**

18 ans

Au point de suivi

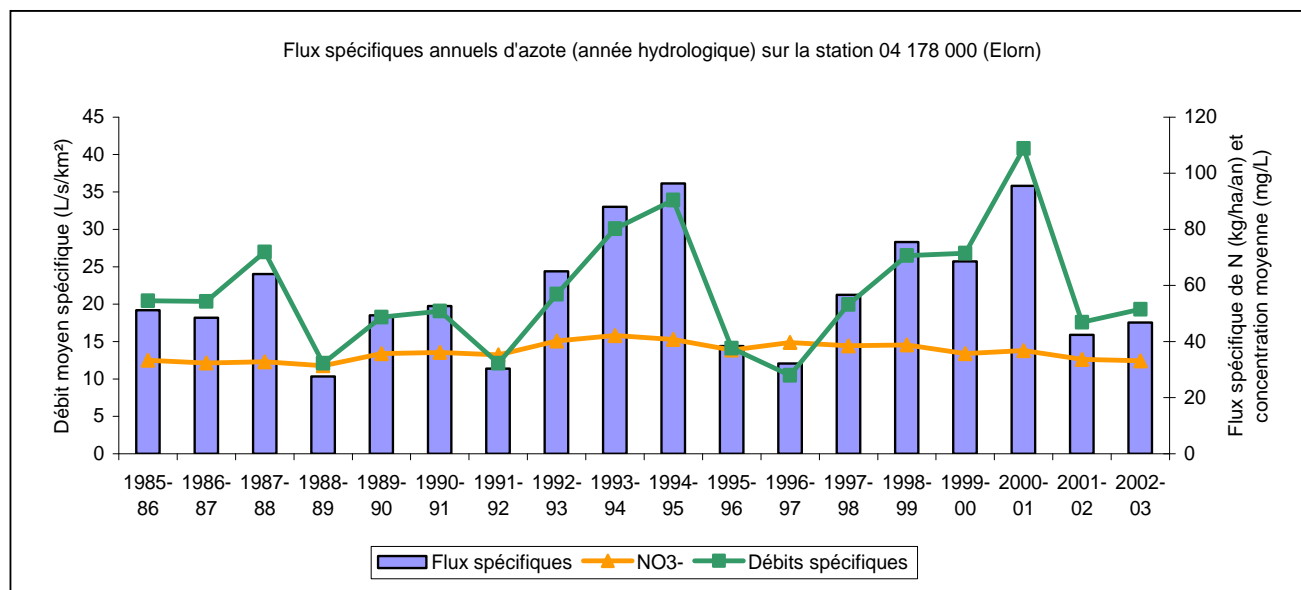
Données manquantes

Surface BV : **26 194** ha
 Débit moyen : **21,7** L/s/km²
 débit moyen : **179,2** m³/an
 [NO₃-] moyen : **36,3** mg/L
 [NO₃-] min : **8,5** mg/L
 [NO₃-] max : **87,7** mg/L

[NO₃-] : **01/95; 11/96; 01/02**

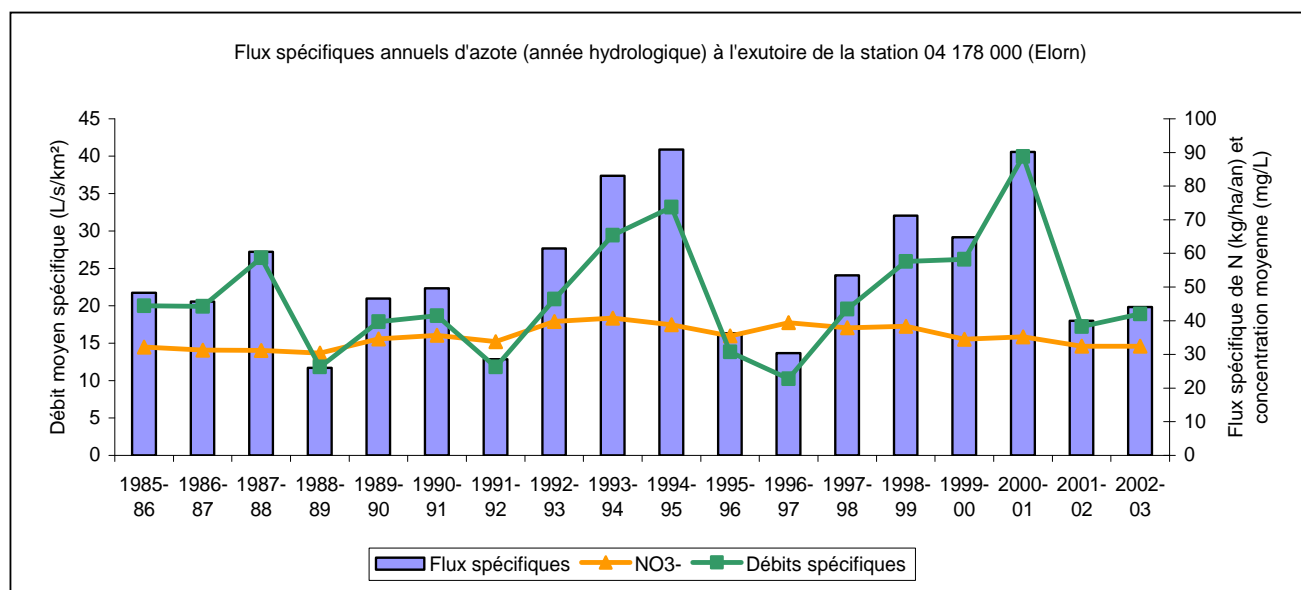
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **1529** \bar{s} (kg/ha/an) = **58**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **1619** \bar{s} (kg/ha/an) = **62**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **1809** \bar{s} (kg/ha/an) = **55** Surface BV : **32 825**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **1914** \bar{s} (kg/ha/an) = **58** (ha)

Stations

suivi : **04 179 500**
 jaugeage : **J 381 181 0**
 port surfaces : 1,2)

Cours d'eau : **Aulne**

Années : **1980/81 à 2002/03**

23 ans

Au point de suivi

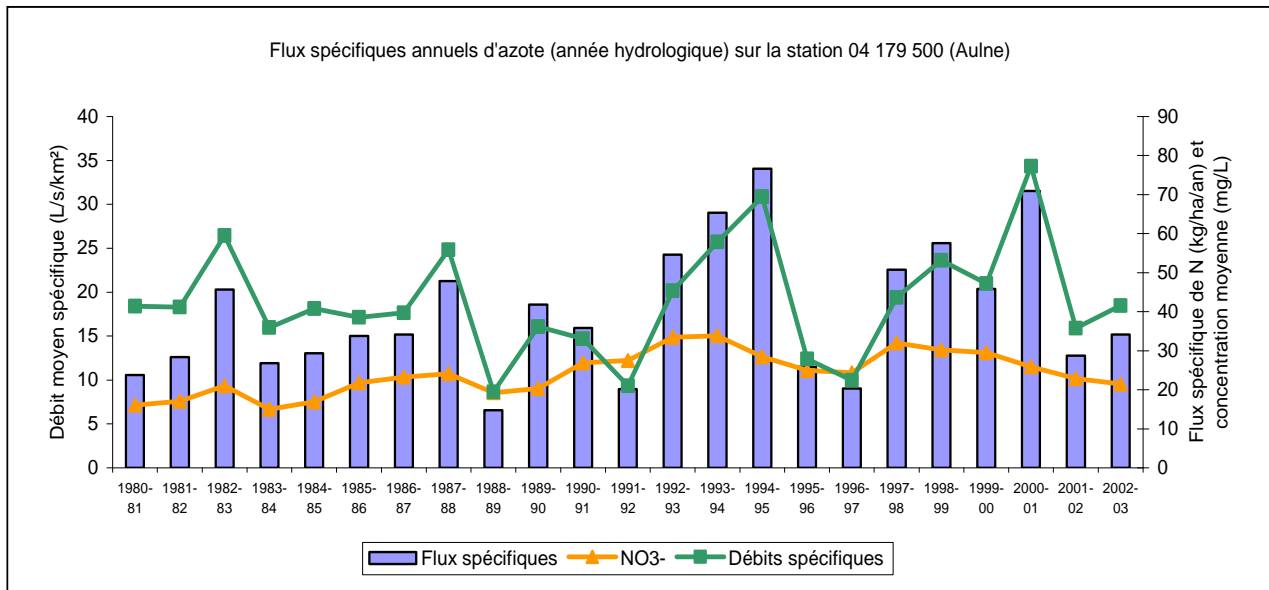
Surface BV : **146 844** ha
 Débit moyen : **19,0** L/s/km²
 débit moyen : **880,0** m³/an
 [NO₃-] moyen : **24,2** mg/L
 [NO₃-] min : **0,5** mg/L
 [NO₃-] max : **49,5** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/80; 12/80**

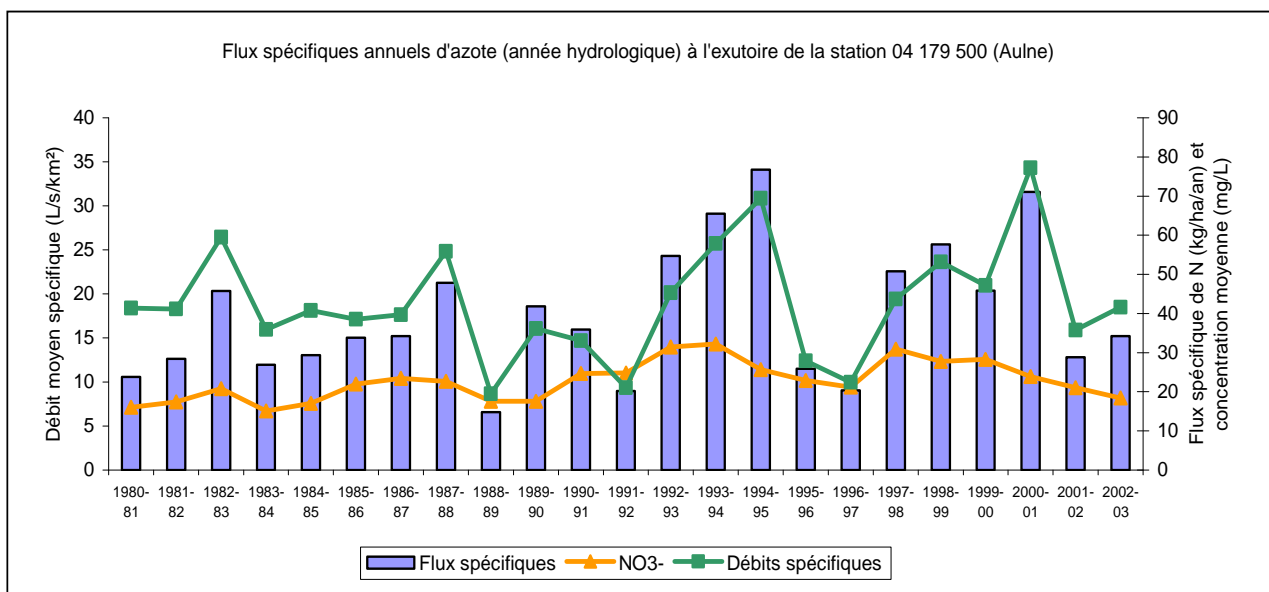
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **6438** F_s (kg/ha/an) = **44**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **6708** F_s (kg/ha/an) = **46**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **6618** F_s (kg/ha/an) = **44** Surface BV : **150 731**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **6895** F_s (kg/ha/an) = **46** (ha)

Stations

suivi : **04 184 150**
 jaugeage : **J 451 542 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Styral**

Années : **1992/93 à 2002/03**

11 ans

Au point de suivi

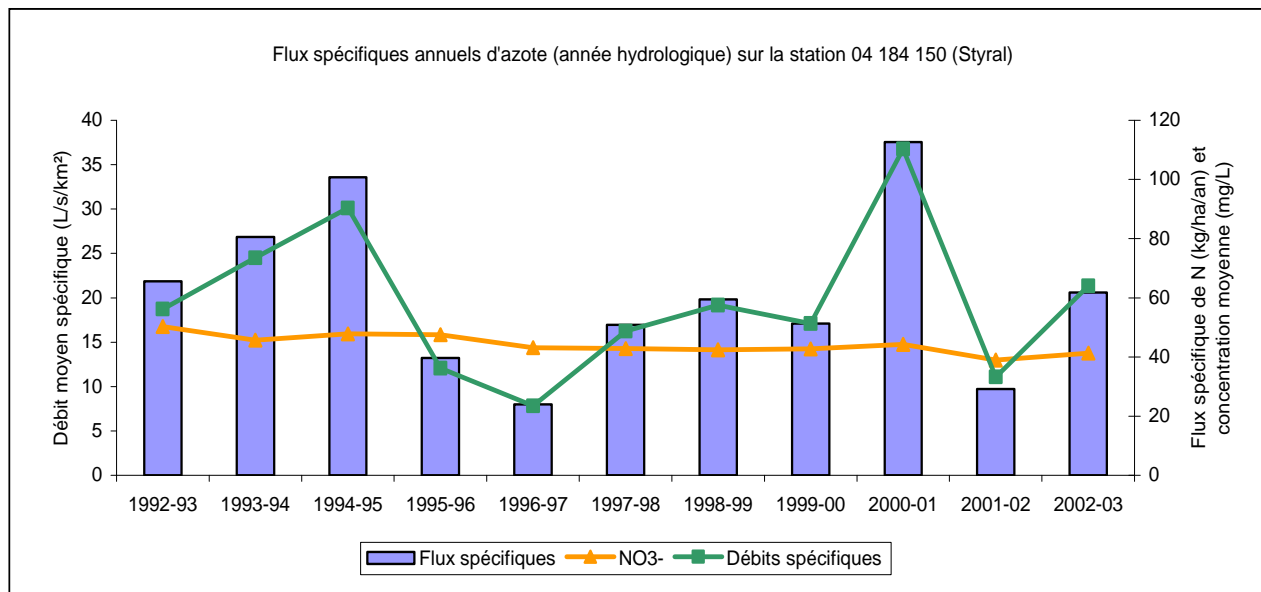
Données manquantes

Surface BV : **2 306** ha
 Débit moyen : **19,5** L/s/km²
 débit moyen : **14,2** m³/an
 [NO₃-] moyen : **44,3** mg/L
 [NO₃-] min : **19,8** mg/L
 [NO₃-] max : **58,1** mg/L

[NO₃-] : **8/92; 11/92; 4/99**

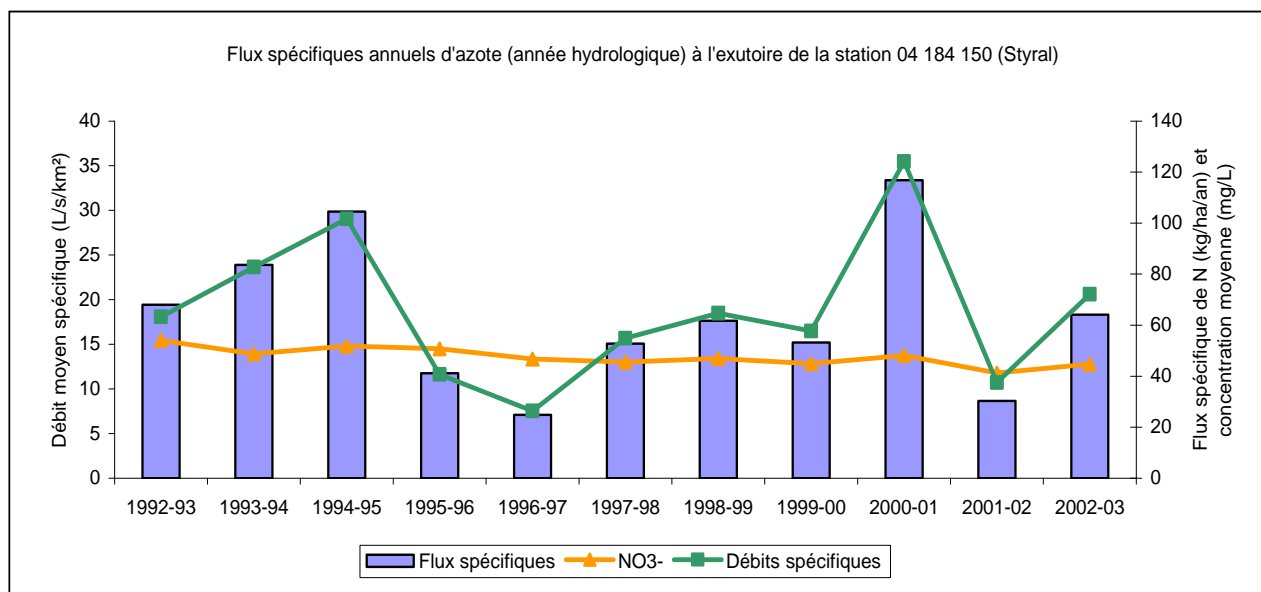
Débits : **23/12/1991**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	F _s (kg/ha/an) =	-
96/97 - 01/02	F (T/an) =	126	F _s (kg/ha/an) =	55

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	F _s (kg/ha/an) =	-	Surface BV :	5 444
96/97 - 01/02	F (T/an) =	308	F _s (kg/ha/an) =	57	(ha)	

Stations

suivi : **04 184 195**
jaugeage : **J 451 401 0**
port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Moros**

Années : **1991/92 à 2002/03**

12 ans

Au point de suivi

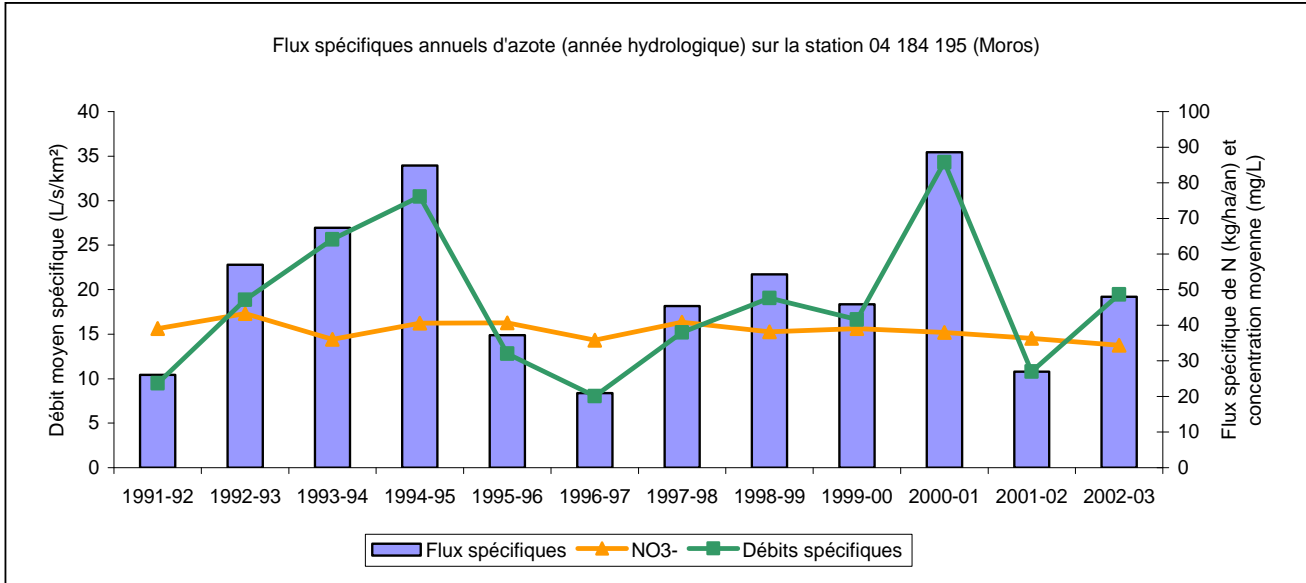
Surface BV : **2 044** ha
Débit moyen : **18,4** L/s/km²
Débit moyen : **11,9** m³/an
[NO₃-] moyen : **38,5** mg/L
[NO₃-] min : **12,6** mg/L
[NO₃-] max : **55,4** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **10/91; 8/92; 11/92; 6/94**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **100** \bar{F}_s (kg/ha/an) = **49**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **96** \bar{F}_s (kg/ha/an) = **47**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 184 150

Stations

suivi : **04 184 948**
 jaugeage : **J 462 302 0**
 sort surfaces : 1)

Cours d'eau : **Aven**

Années : **1992/93 à 2002/03**

11 ans

Au point de suivi

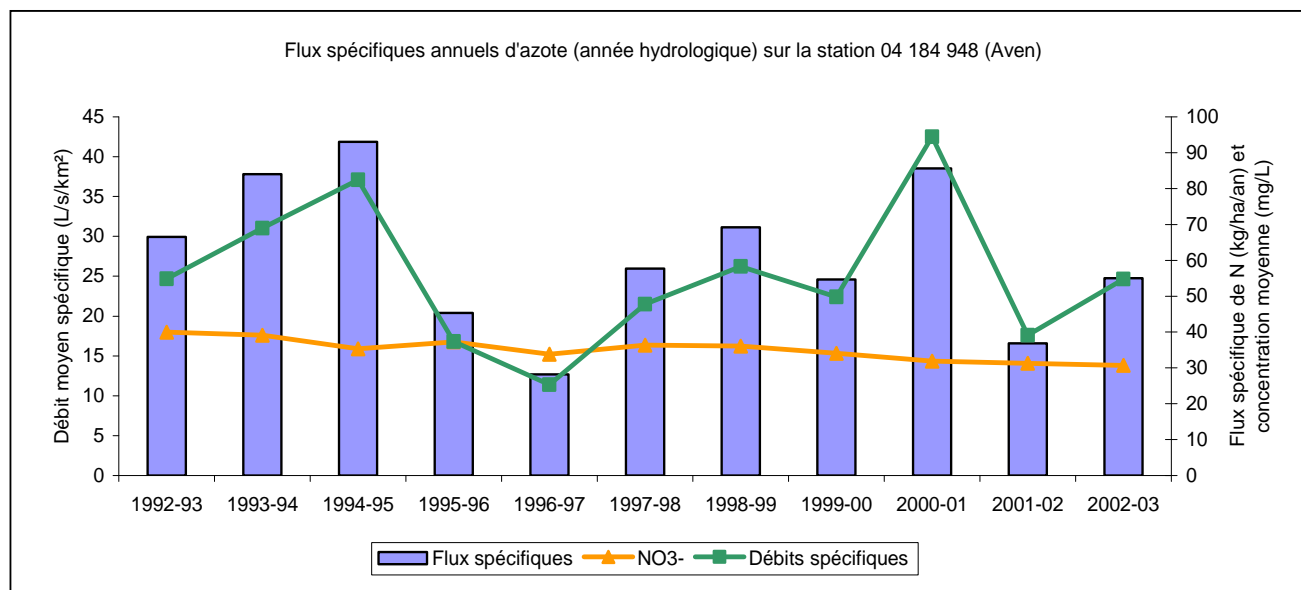
Données manquantes

Surface BV : **16 700** ha
 Débit moyen : **25,1** L/s/km²
 débit moyen : **132,1** m³/an
 [NO₃-] moyen : **35,1** mg/L
 [NO₃-] min : **15,1** mg/L
 [NO₃-] max : **51,5** mg/L

[NO₃-] : **6/96; 8/97; 8/98; 4/99**

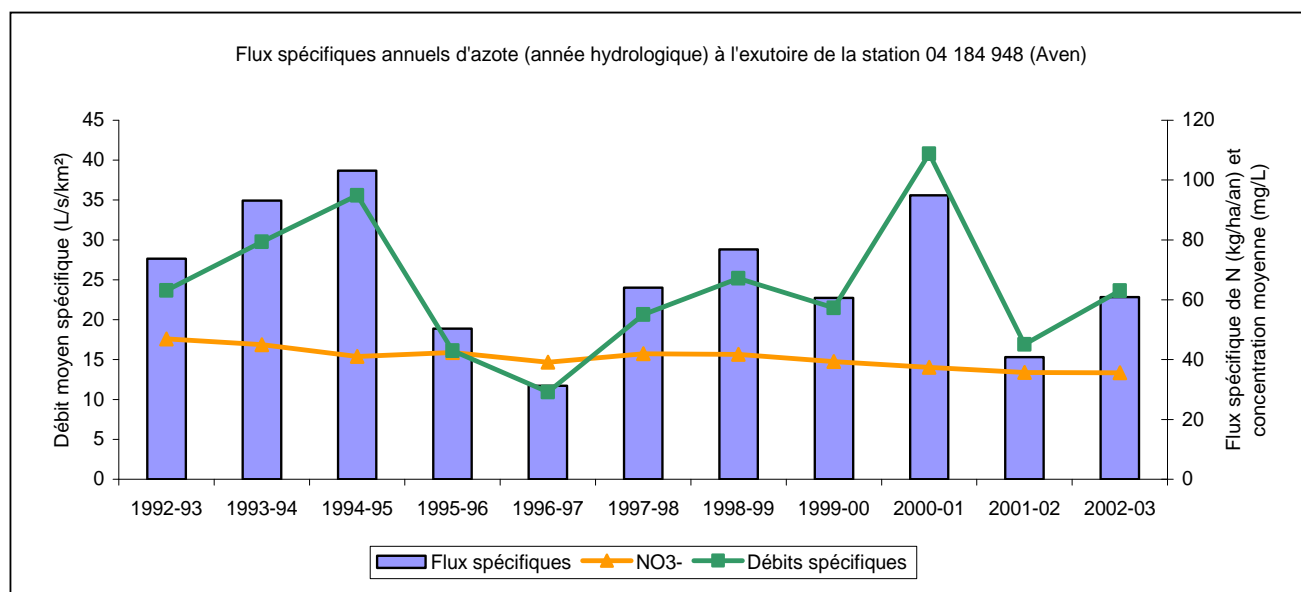
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	\bar{s} (kg/ha/an) =	-
96/97 - 01/02	F (T/an) =	925	\bar{s} (kg/ha/an) =	55

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	-	\bar{s} (kg/ha/an) =	-	Surface BV :	22 294
96/97 - 01/02	F (T/an) =	1369	\bar{s} (kg/ha/an) =	61	(ha)	

Stations

suivi : **04 187 200**
 jaugeage : **J 471 201 0**
 nombre de surfaces : 1)

Cours d'eau : **Elle**

Années : **1990/91 à 2000/01**

11 ans

Au point de suivi

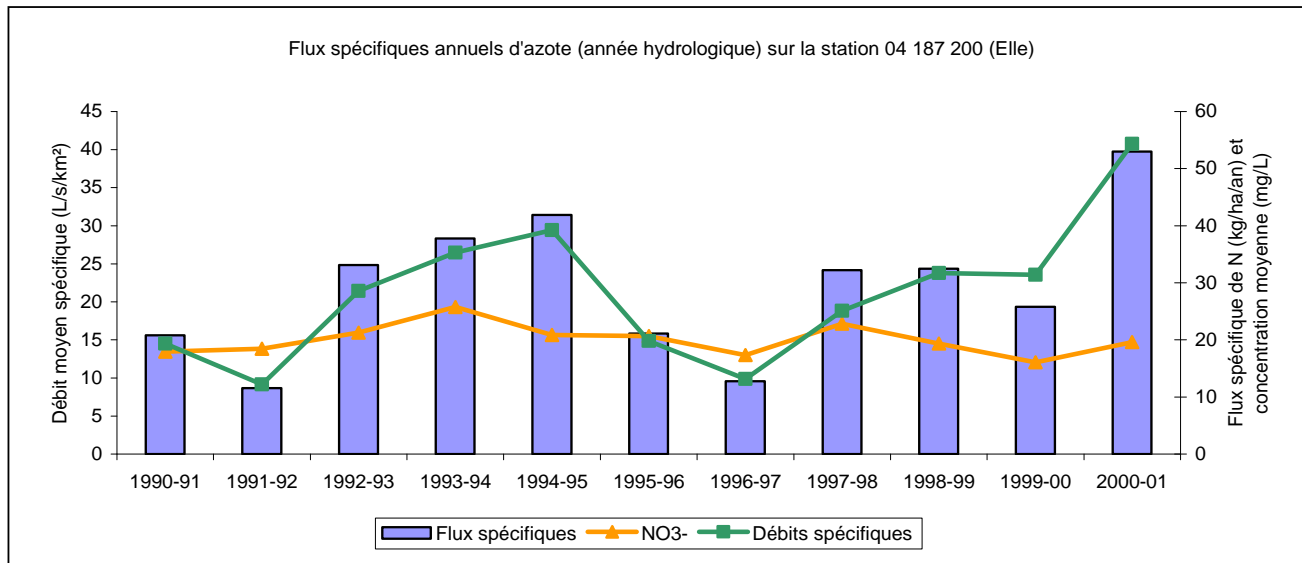
Données manquantes

Surface BV : **14 531** ha
 Débit moyen : **21,2** L/s/km²
 débit moyen : **97,0** m³/an
 [NO₃-] moyen : **20,0** mg/L
 [NO₃-] min : **2,0** mg/L
 [NO₃-] max : **80,8** mg/L

[NO₃-] : **12/90; 8/91; 8/92; 11/92**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **383** F_s (kg/ha/an) = **26**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = - F_s (kg/ha/an) = -

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 189 200

Stations

suivi : **04 189 200**
jaugeage : **J 4902011**
sort surfaces : 1,01)

Cours d'eau : **Laïta**

Années : **1991/92 à 2002/03**

12 ans

Au point de suivi

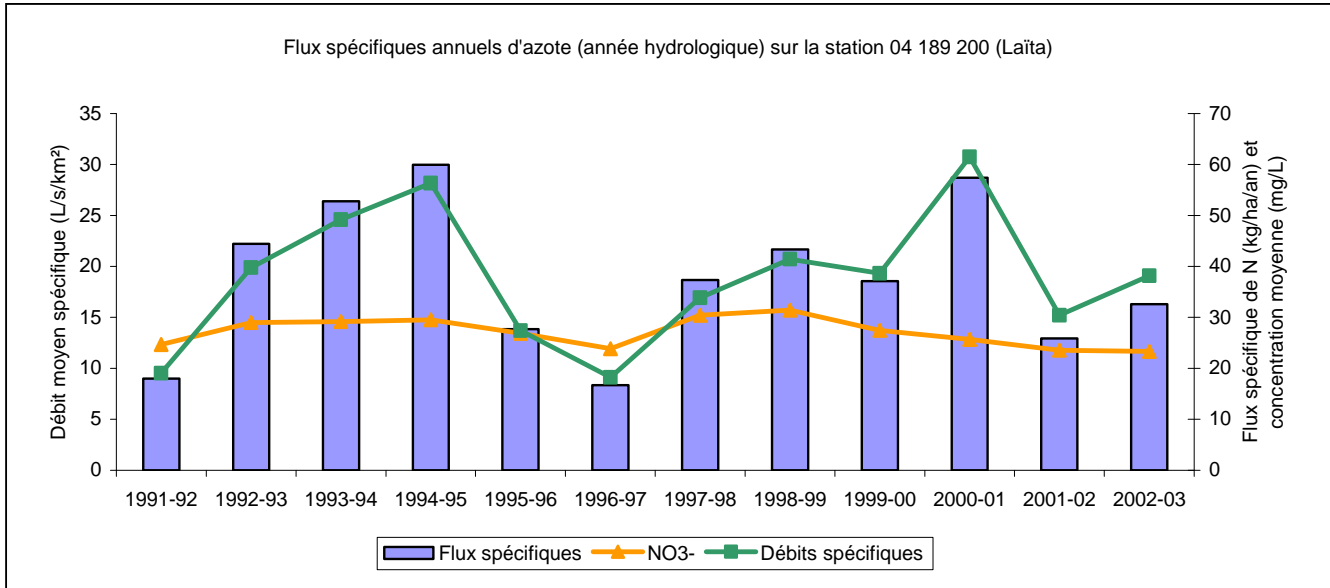
Surface BV : **86 519** ha
Débit moyen : **18,9** L/s/km²
Débit moyen : **516,3** m³/an
[NO₃-] moyen : **27,1** mg/L
[NO₃-] min : **10,9** mg/L
[NO₃-] max : **55,5** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91**

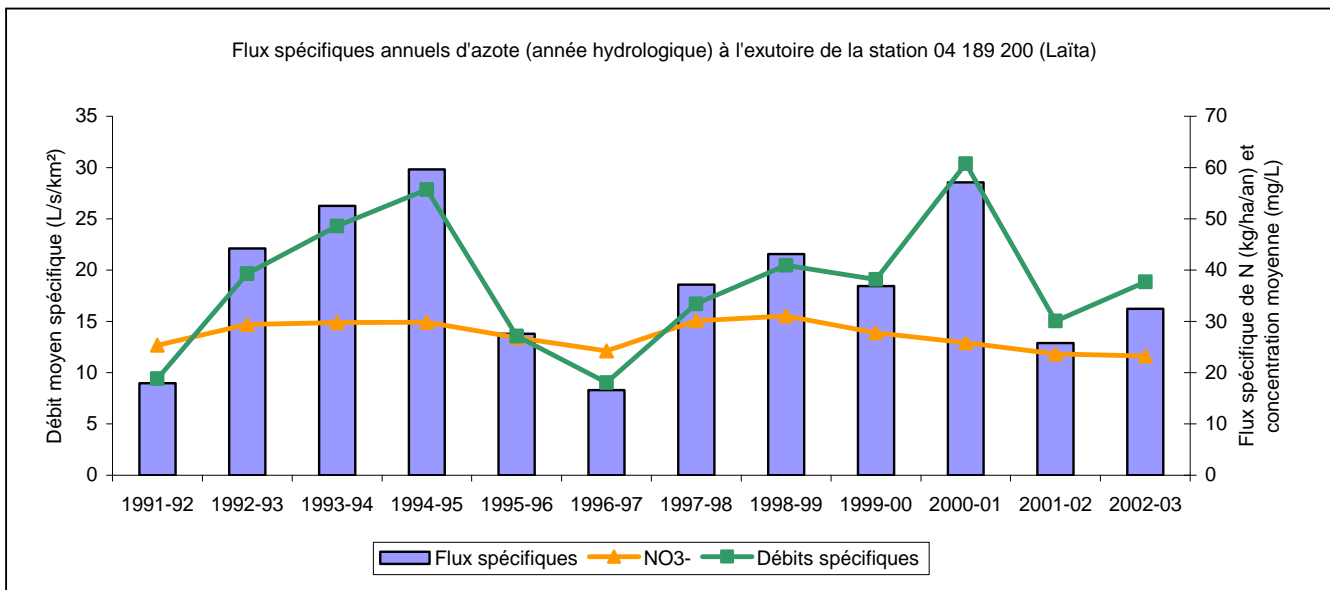
Débits : **du 11 au 20 décembre 2000**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **3165** \bar{s} (kg/ha/an) = **37**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **3139** \bar{s} (kg/ha/an) = **36**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **3340** \bar{s} (kg/ha/an) = **36** Surface BV : **91 725**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **3312** \bar{s} (kg/ha/an) = **36** (ha)

Stations

suivi : **04 190 550**
 jaugeage : **J 510 221 0**
 sort surfaces : 1,3)

Cours d'eau : **Scorff**

Années : **1991/92 à 2002/03**

12 ans

Au point de suivi

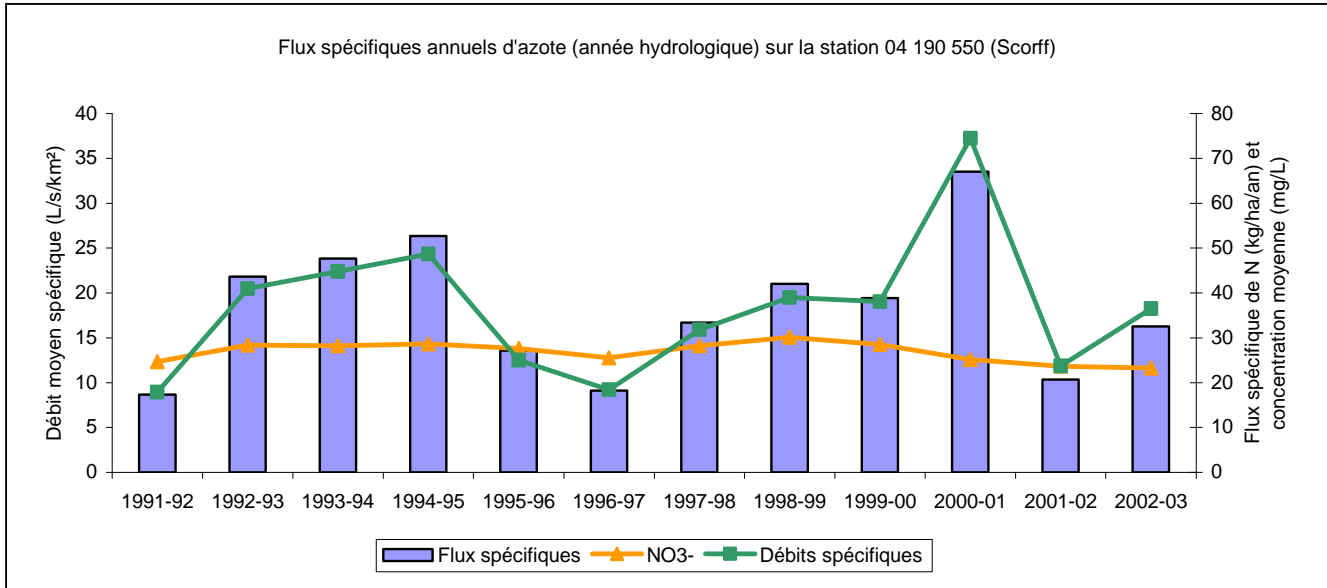
Surface BV : **37 925** ha
 Débit moyen : **18,3** L/s/km²
 débit moyen : **219,0** m³/an
 [NO₃-] moyen : **26,8** mg/L
 [NO₃-] min : **10,2** mg/L
 [NO₃-] max : **48,6** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91; 12/91; 11/95**

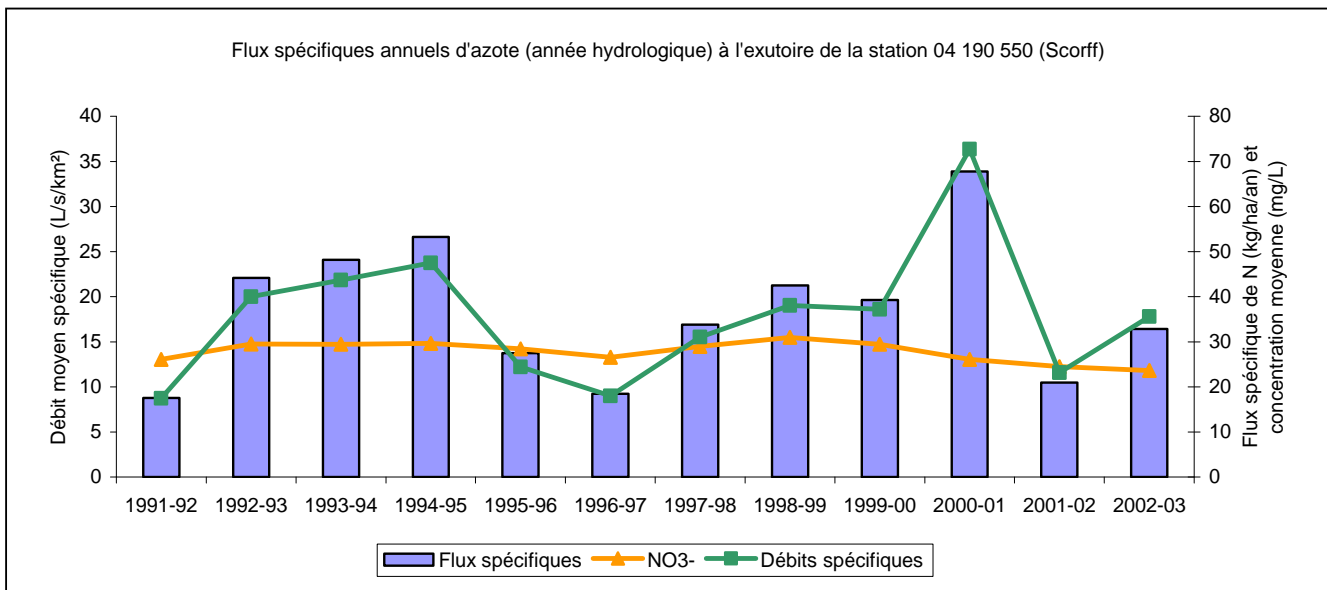
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **1307** \bar{s} (kg/ha/an) = **34**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **1392** \bar{s} (kg/ha/an) = **37**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **1619** \bar{s} (kg/ha/an) = **35** Surface BV : **46 494**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = **1725** \bar{s} (kg/ha/an) = **37** (ha)

Stations

suivi : **04 192 100**
jaugeage : **J 543 211 0**
port surfaces : 1,2)

Cours d'eau : **Blavet**

Années : **1991/92 à 2002/03**

12 ans

Au point de suivi

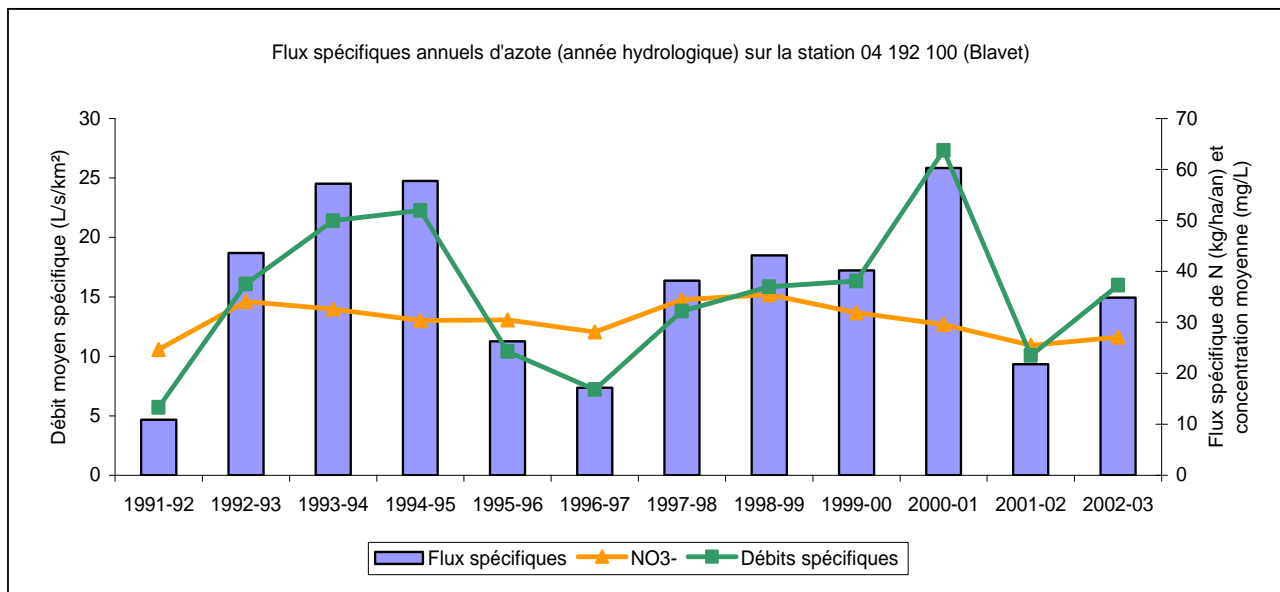
Surface BV : **101 900** ha
Débit moyen : **15,2** L/s/km²
Débit moyen : **488,6** m³/an
[NO₃-] moyen : **30,4** mg/L
[NO₃-] min : **3,7** mg/L
[NO₃-] max : **57,8** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91; 12/91**

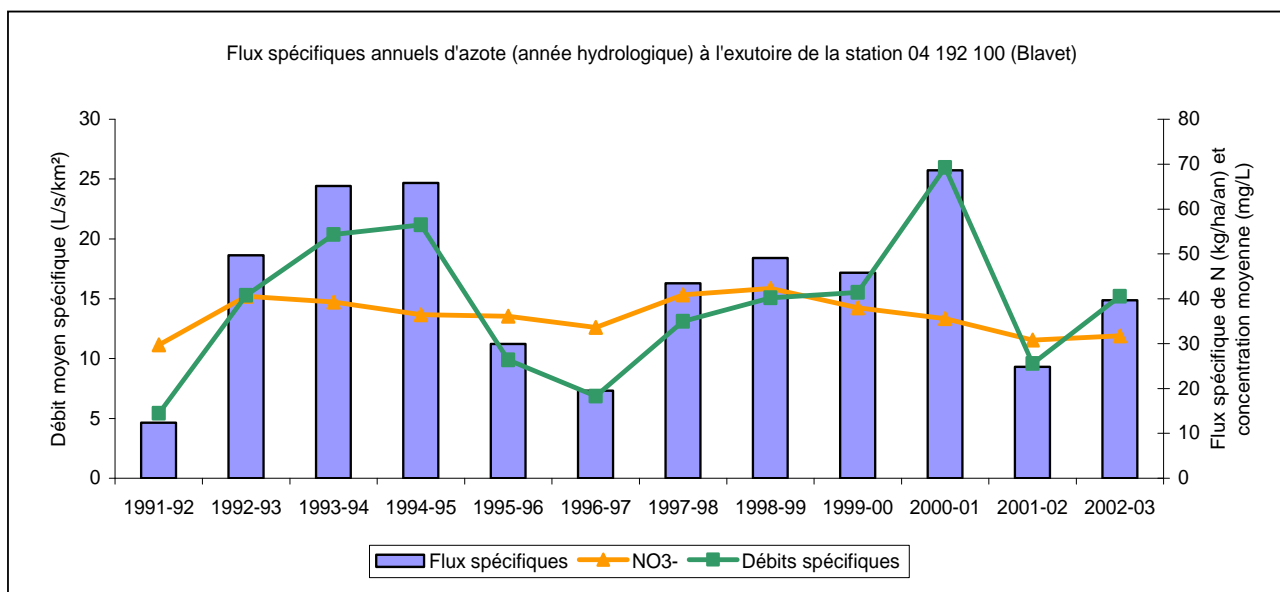
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **3616** \bar{s} (kg/ha/an) = **35**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **3748** \bar{s} (kg/ha/an) = **37**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **8325** \bar{s} (kg/ha/an) = **40** Surface BV : **206 019**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **8629** \bar{s} (kg/ha/an) = **42** (ha)

Stations

suivi : **04 196 000**
jaugeage : **J820 231 0**
port surfaces : 0,4)

Cours d'eau : **Oust**

Années : **1991/92 à 2001/02**

11 ans

Au point de suivi

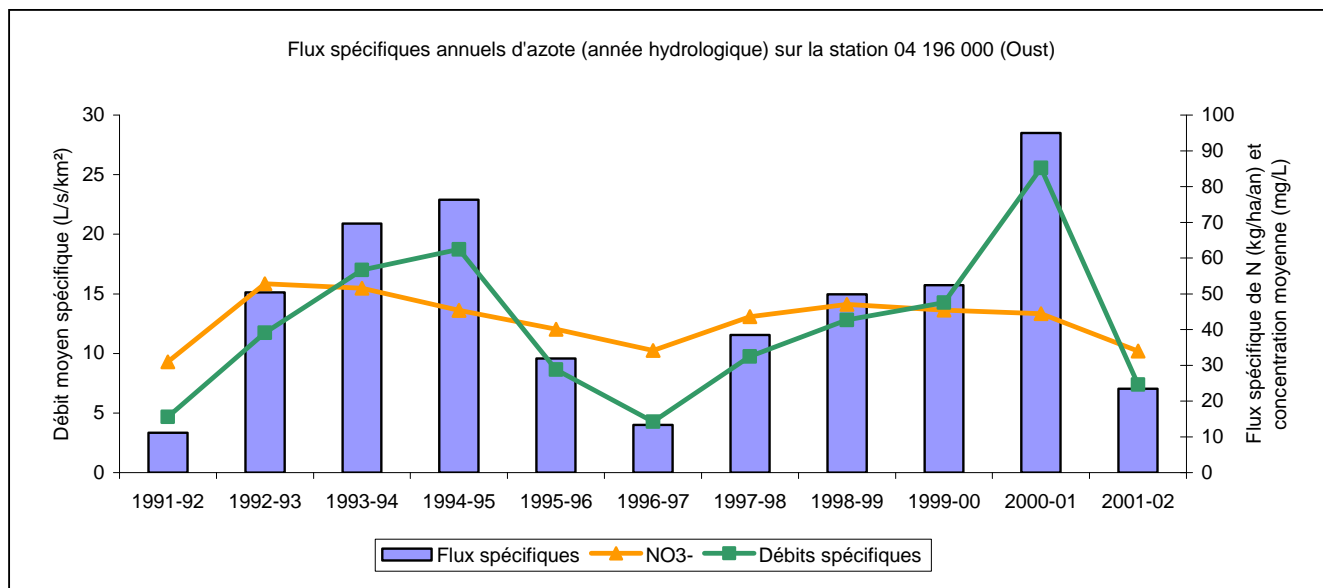
Surface BV : **37 575** ha
Débit moyen : **12,3** L/s/km²
Débit moyen : **145,3** m³/an
[NO₃-] moyen : **42,7** mg/L
[NO₃-] min : **8,9** mg/L
[NO₃-] max : **75,3** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91; 12/91**

Débits : **3/08/01 au 10/8/01**
(comblé par régression linéaire)

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **1582** \bar{s} (kg/ha/an) = **42**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **1706** \bar{s} (kg/ha/an) = **45**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 216 000

Stations

suivi : **04 199 200**
jaugeage : **J 850 231 0**
port surfaces : 0,99)

Cours d'eau : **Oust**

Années : **1979/80 à 2001/02**

23 ans

Au point de suivi

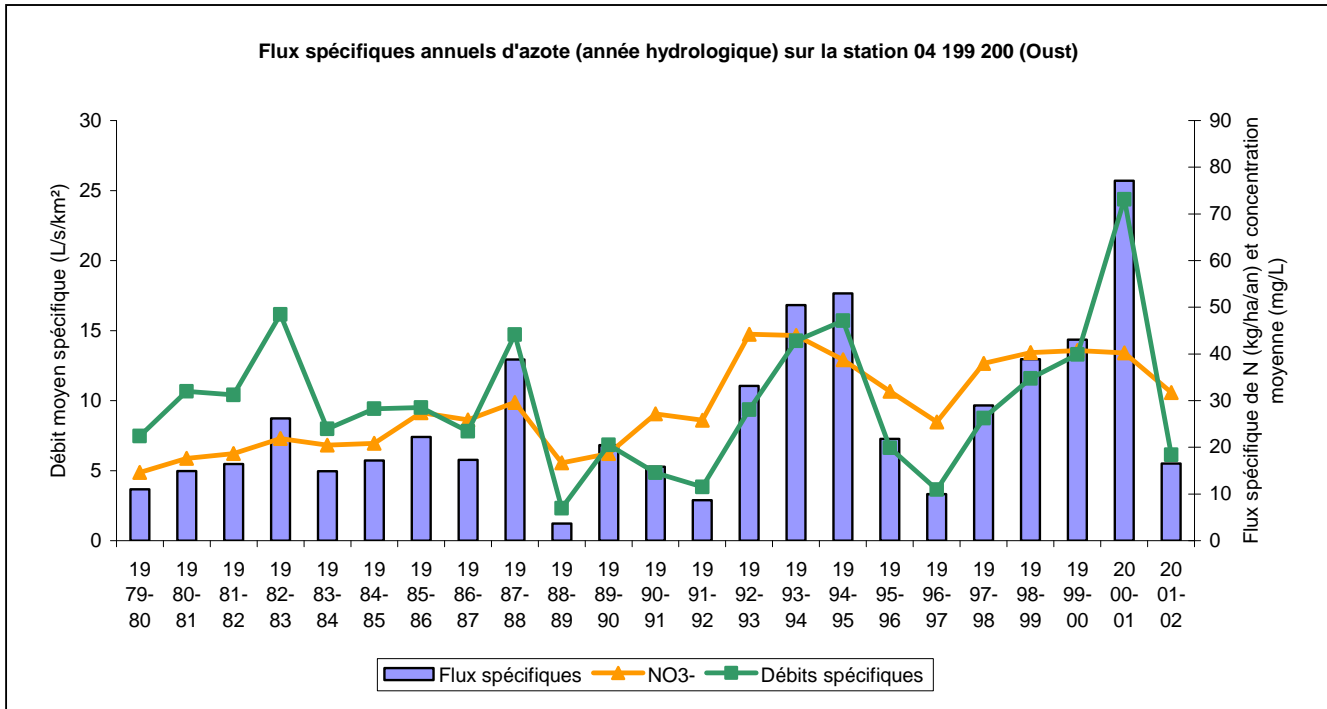
Surface BV : **245 675** ha
Débit moyen : **9,8** L/s/km²
Débit moyen : **760,5** m³/an
[NO₃-] moyen : **28,7** mg/L
[NO₃-] min : **0,5** mg/L
[NO₃-] max : **62,7** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **2/79;6/79;2/80;01/81; 11/85; 01/02**

Débits : **du 15/9/79 au 10/12/79**
du 26/9/80 au 26/10/80

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **7 250** \bar{s} (kg/ha/an) = **30**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **8 781** \bar{s} (kg/ha/an) = **36**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 216 000

Stations

suivi : **04 201 000**
jaugeage : **J 701 061 0**
port surfaces : 1,02)

Cours d'eau : **Vilaine**

Années : **1991/92 à 2001/02**

11 ans

Au point de suivi

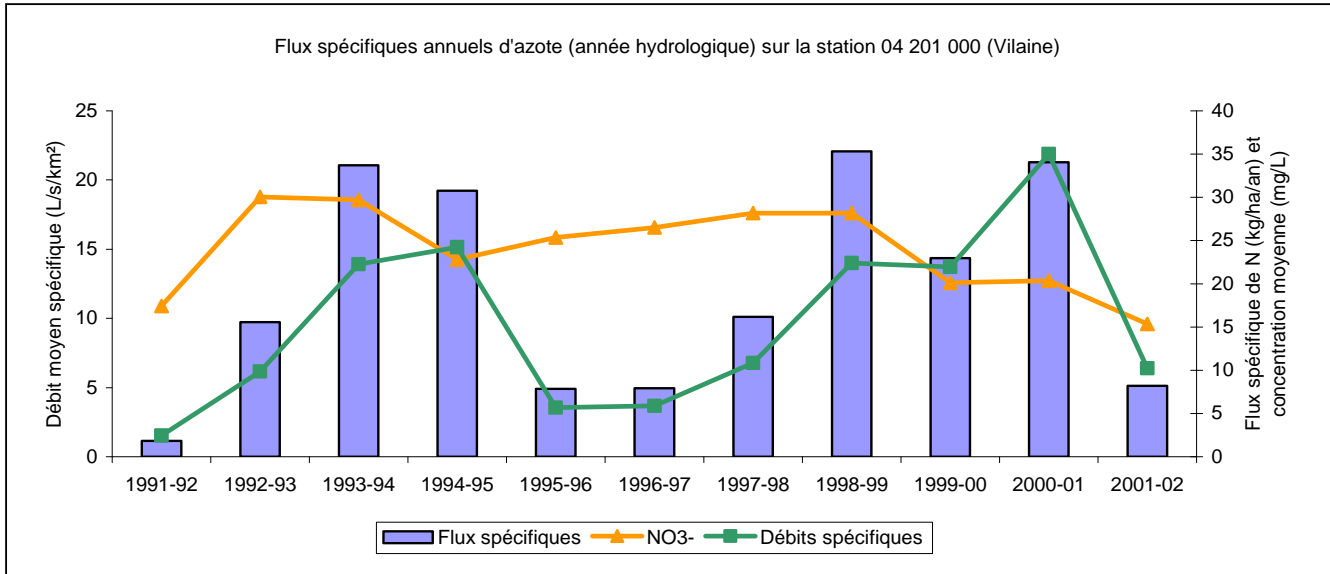
Surface BV : **15 025** ha
Débit moyen : **9,7** L/s/km²
Débit moyen : **46,0** m³/an
[NO₃-] moyen : **24,0** mg/L
[NO₃-] min : **5,1** mg/L
[NO₃-] max : **49,5** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91; 12/91**

Débits : **30/11/95 au 14/12/95**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	244	\bar{s} (kg/ha/an) =	16
96/97 - 01/02	F (T/an) =	312	\bar{s} (kg/ha/an) =	21

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf.point 04 216 000

Stations

suivi : **04 207 000**
jaugeage : **J 720 061 0**
port surfaces : (1,1)
(extrapolation)

Cours d'eau : **Vilaine**

Années : **1991/92 à 2001/02**

11 ans

Au point de suivi

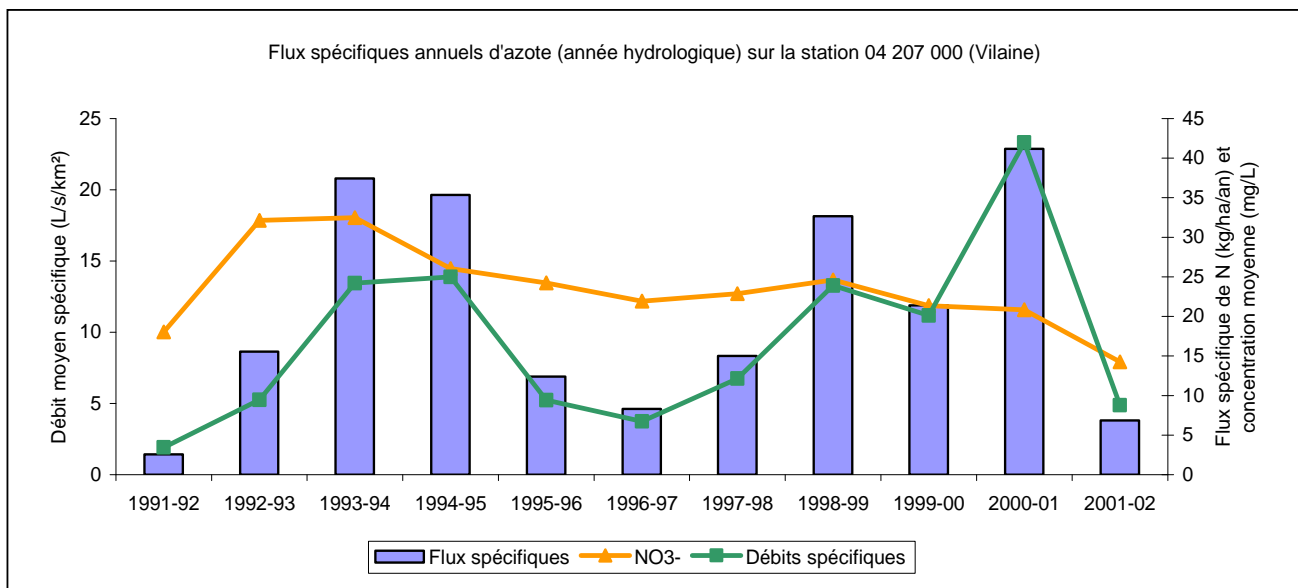
Données manquantes

Surface BV : **160 194** ha
Débit moyen : **9,3** L/s/km²
Débit moyen : **472,5** m³/an
[NO₃-] moyen : **23,5** mg/L
[NO₃-] min : **1,0** mg/L
[NO₃-] max : **62,8** mg/L

[NO₃-] : **01/02**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **2979** \bar{c}_s (kg/ha/an) = **19**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **3349** \bar{c}_s (kg/ha/an) = **21**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 216 000

Stations

suivi : **04 208 530**
jaugeage : **J 735 301 0**
sort surfaces : 1)

Cours d'eau : **Meu**

Années : **1988/89 à 2000/01**

13 ans

Au point de suivi

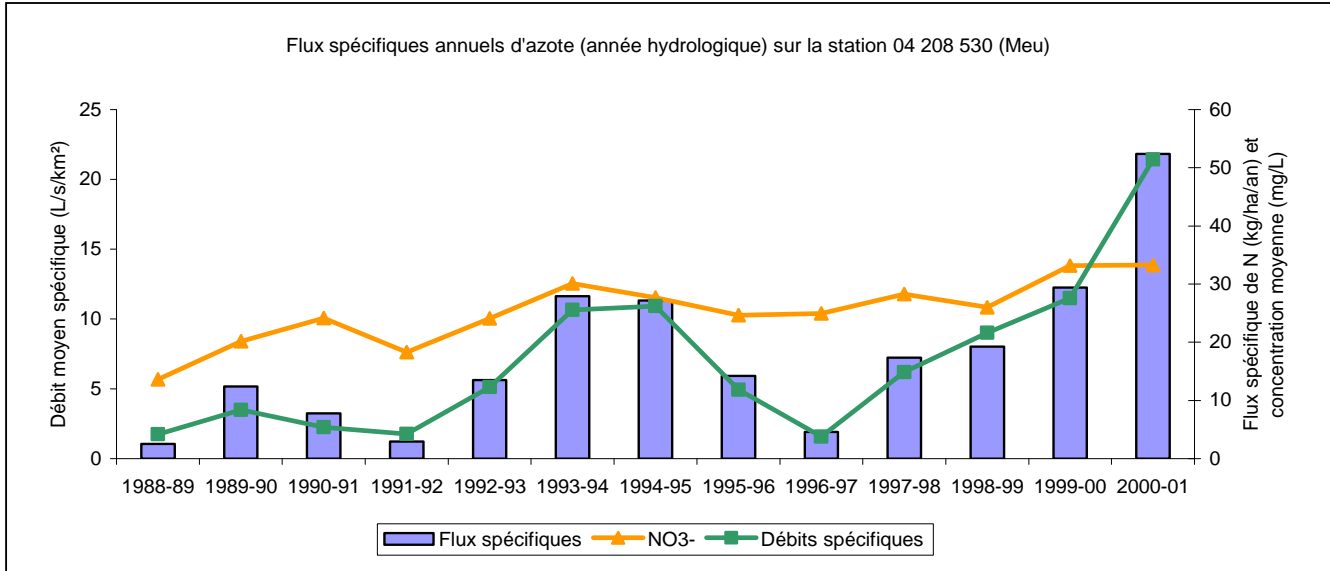
Surface BV : **47 313** ha
Débit moyen : **7,0** L/s/km²
Débit moyen : **103,9** m³/an
[NO₃-] moyen : **25,3** mg/L
[NO₃-] min : **0,01** mg/L
[NO₃-] max : **87,7** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **10/88; 02/00**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **713** \bar{s} (kg/ha/an) = **15**
96/97 - 01/02 F (T/an) = **-** \bar{s} (kg/ha/an) = **-**

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 216 000

Stations

suivi : **04 211 000**
jaugeage : **J 748 301 0**
port surfaces : 0,99)

Cours d'eau : **Seiche**

Années : **71/72 à 79/80**
et **91/92 à 02/03**

9+12 ans

Au point de suivi

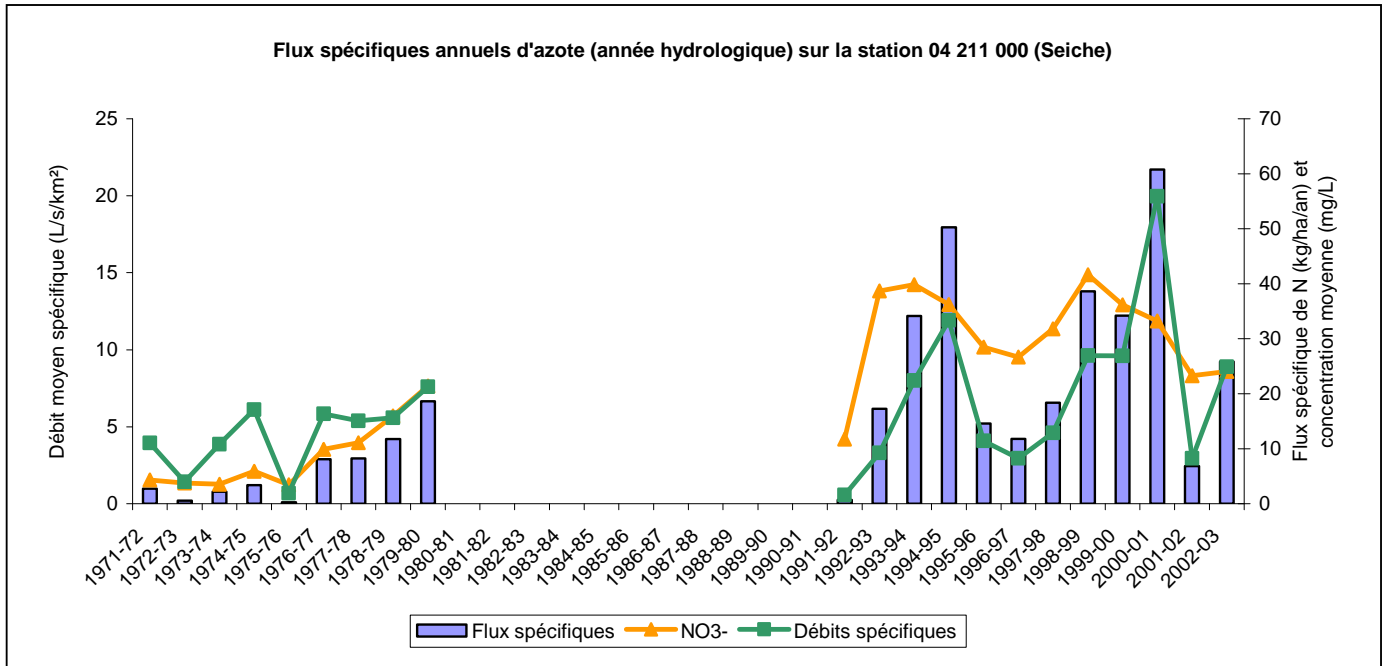
Données manquantes

Surface BV : **80 469** ha
Débit moyen : **6,0** L/s/km²
Débit moyen : **153,4** m³/an
[NO₃-] moyen : **21,5** mg/L
[NO₃-] min : **0,2** mg/L
[NO₃-] max : **104,4** mg/L

[NO₃-] : **10/72; 11/91; 12/91; 01/02**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97	F (T/an) =	1728	\bar{s} (kg/ha/an) =	21
96/97 - 01/02	F (T/an) =	2287	\bar{s} (kg/ha/an) =	28

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 216 000

Stations

suivi : **04 213 000**
jaugeage : **J 770 061 0**
port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Vilaine**

Années : **1991/92 à 1999/00**

9 ans

Au point de suivi

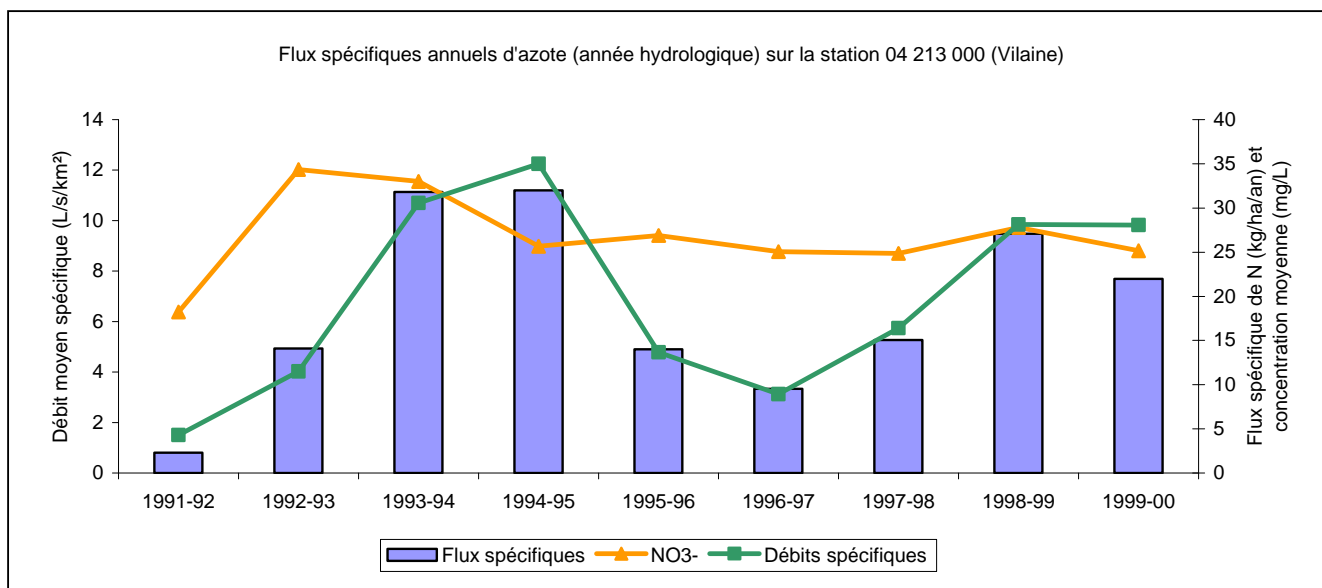
Surface BV : **416 631** ha
Débit moyen : **6,9** L/s/km²
Débit moyen : **902,9** m³/an
[NO₃-] moyen : **26,8** mg/L
[NO₃-] min : **0,5** mg/L
[NO₃-] max : **74,9** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **11/91; 12/91**

Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **7202** \bar{s} (kg/ha/an) = **17**
96/97 - 01/02 F (T/an) = - \bar{s} (kg/ha/an) = -

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique

cf. point 04 216 000

Stations

suivi : **04 216 000**
 jaugeage : **J 510 221 0**
 port surfaces : 1)

Cours d'eau : **Vilaine**

Années : **1976/77 à 1999/00**

24 ans

Au point de suivi

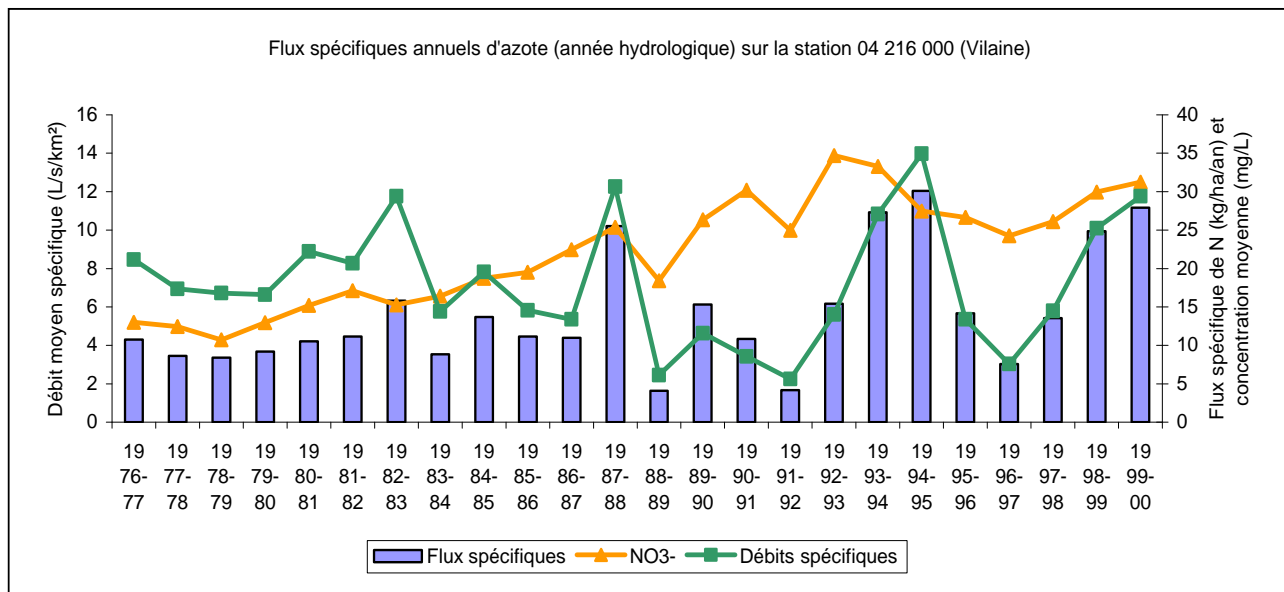
Surface BV : **1 016 444** ha
 Débit moyen : **7,2** L/s/km²
 débit moyen : **2 324,3** m³/an
 [NO₃-] moyen : **22,2** mg/L
 [NO₃-] min : **1,0** mg/L
 [NO₃-] max : **66,9** mg/L

Données manquantes

[NO₃-] : **8/76;4/83;6/96;9/96**

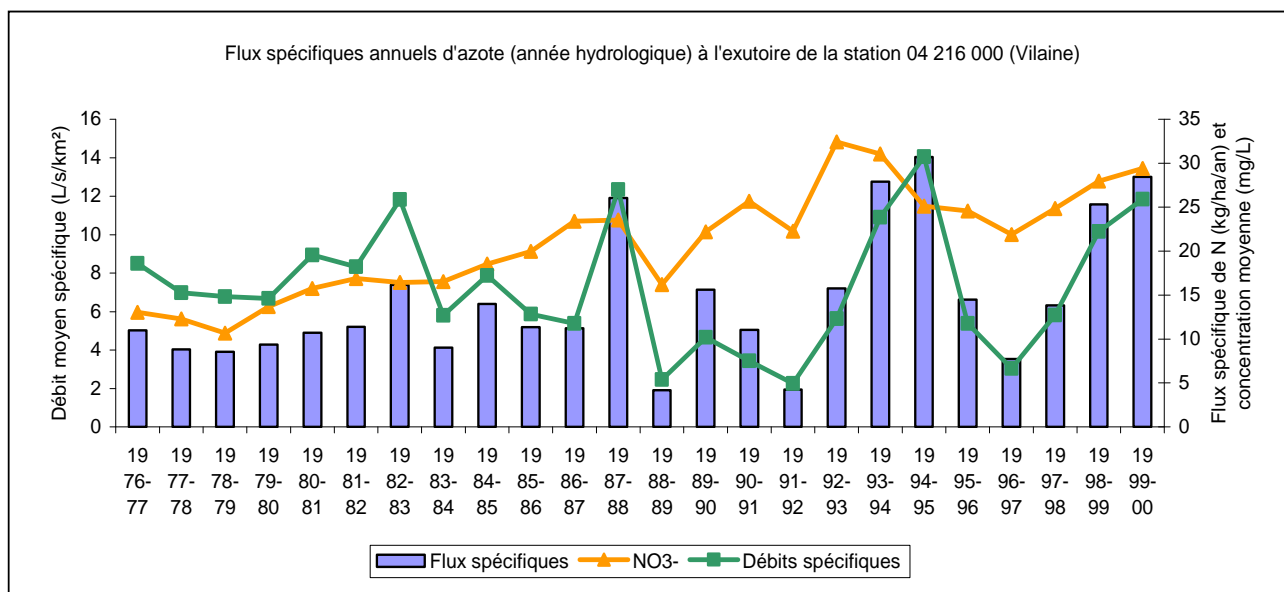
Débits : **aucun**

Flux d'azote au point de suivi, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **16740** \bar{s} (kg/ha/an) = **16**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = - \bar{s} (kg/ha/an) = -

Flux d'azote à l'exutoire, par année hydrologique



91/92 - 96/97 F (T/an) = **17483** \bar{s} (kg/ha/an) = **17** Surface BV : **1 040 500**
 96/97 - 01/02 F (T/an) = - \bar{s} (kg/ha/an) = - (ha)