



Le Réseau ECOFLUX

Convention entre l'IUEM-UBO et le Conseil Général du
Finistère

**Rapport Annuel
Janvier 2002**

Rémi BUCHET et Paul Tréguer,

Résumé

Au cours de l'année 2001, le réseau ECOFLUX, grâce à la participation des élèves et professeurs de 7 établissements scolaires et de 16 bénévoles, a décrit la variabilité, à l'échelle hebdomadaire, des concentrations en sels nutritifs de 13 fleuves typiques du Finistère. Quatre de ces fleuves (Aulne, Douffine, Kerharo, Lopic) correspondent à des bassins versants à faibles réserves souterraines, deux (Penzé, Elorn) à des bassins versants à réserves souterraines moyennes, et sept (Dourduff, Dossen, Guillec, Flèche, Quillimadec, Ris et St Laurent) à des bassins versants à fortes réserves souterraines.

Pour sept de ces treize fleuves les flux de nitrates, de silicates, et de phosphates ont pu être déterminés.

Les données de sels nutritifs de l'année 2001, mesurées par le Laboratoire départemental Vétérinaire du Finistère (Quimper) et le LEMAR-IUEM (Brest), sont regroupées dans ce document avec celles déjà acquises en 1998, 1999 et 2000.

De la même manière, les données de flux pour l'année 2001, calculées grâce aux débits aimablement communiqués par la DIREN Bretagne, sont associées à celles collectées pendant les trois années de fonctionnement du réseau afin de continuer à édifier une banque de données inédite en Finistère.

Aussi, l'intérêt des données ECOFLUX est de plus en plus reconnu par la communauté scientifique, de nombreuses collaborations vont ou ont été entreprises au cours de cette année.

A travers des rencontres avec les jeunes des établissements scolaires supports du Réseau, des animations de réunions sur des sujets concernant l'environnement au sens large, des visites de l'IUEM et des citations dans la presse, le Réseau ECOFLUX contribue à la sensibilisation du public, et en particulier des futurs agriculteurs, aux perturbations de l'environnement aquatique, du continent vers l'océan.

Plan

1-Rappel des Objectifs

2-Champ d'Observation et Acteurs

3-Action pédagogique

4-Résultats scientifiques

4-1-Année 1999

4-2-Variabilité à l'échelle saisonnière et annuelle

4-3-Dérive à long terme, forçages climatique et anthropique

4-4-Modélisation des impacts anthropiques

Annexes :

A- Données synthétiques

B- Données fleuve par fleuve

1-Rappel des objectifs :

Le Réseau ECOFLUX a pour objectif (article 2 de la Convention) de :

-« connaître les flux de nitrates, de phosphates et de silicates se déversant au débouché de cours d'eau finistériens,

- sensibiliser les élèves de plusieurs établissements de formations finistériens à ce phénomène, et plus particulièrement les élèves en 1ère STAE des lycées agricoles,

- apporter des données complémentaires nécessaires à la compréhension des mécanismes de formation des algues vertes » (recherches poursuivies par l'IFREMER à Brest, le CEVA à Pleubian, et le BRGM à Brest)...

...« La mission de l'IUEM consistera en outre à recueillir les données de nitrates, de phosphates, et de silicates mesurées sur les bassins « Bretagne Eau Pure », et les bassins versants « alimentation en eau potable », ainsi que les données mesurées par le Conseil Général (données à l'estuaire de chaque cours d'eau) ; par ailleurs l'IUEM collectera et, le cas échéant, complétera les données portant sur les débits des cours d'eau étudiés ; pour ce faire il se mettra en relation, notamment avec la DIREN et avec le BRGM (Annexe de Brest-Iroise).

Cette mission comprendra également des actions d'informations, en liaison avec le Conseil Général, auprès des établissements scolaires membres du réseau mis en place.

En fin l'IUEM établira une synthèse de toutes les données recueillies et s'efforcera de dégager les tendances caractéristiques du fonctionnement de chaque bassin versant vis-à-vis des nitrates, phosphates et silicates ».

2-Champ d'Observation et Acteurs

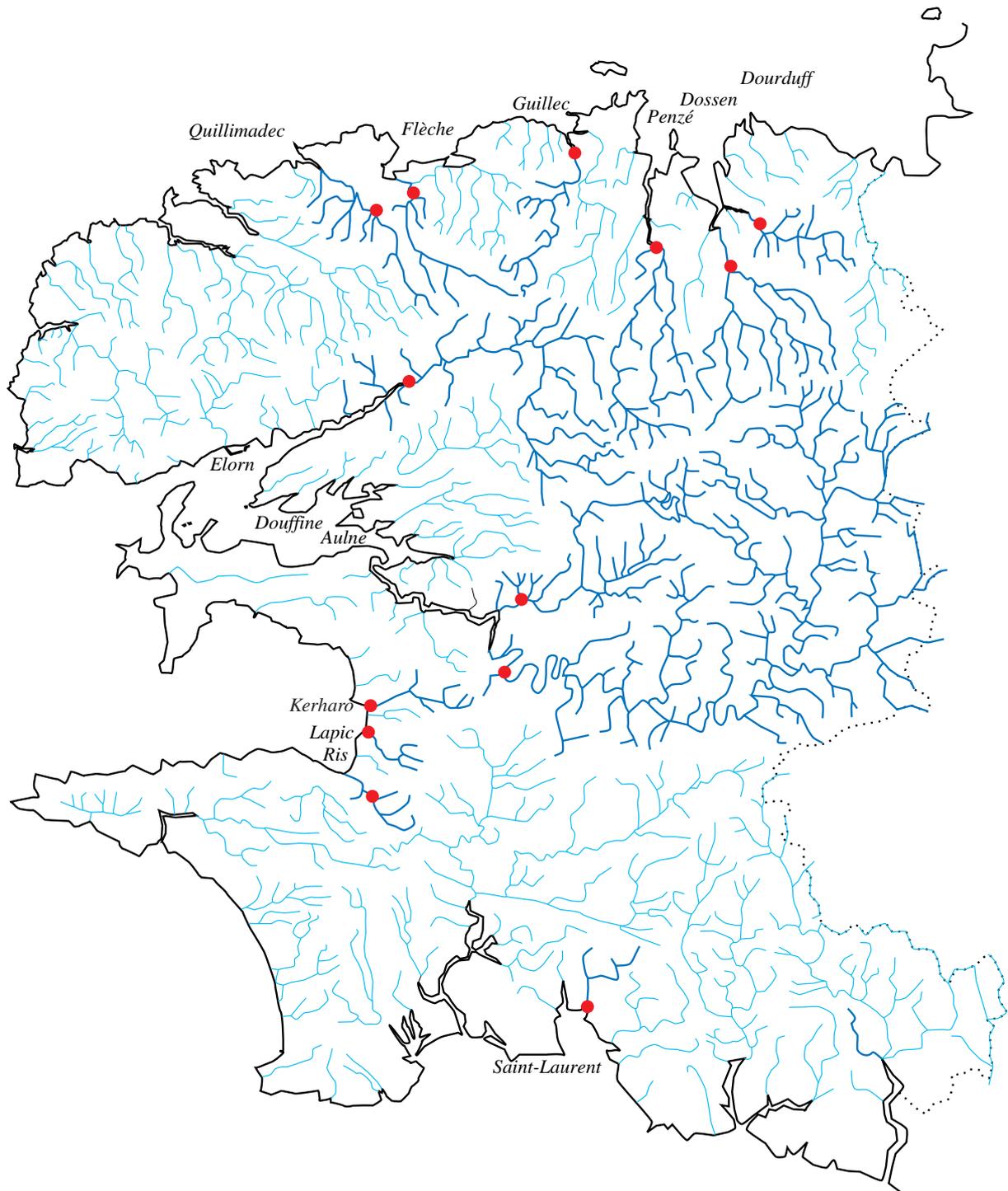


Fig 1. Champ d'observation du Réseau ECOFLUX : fleuves sélectionnés et points de prélèvements

Récapitulatif des établissements scolaires et des rivières ECOFLUX :

L.E.G.T.A. de Suscinio, Morlaix	Le Dourduff (D46)
M.F.R. de Morlaix	Le Dossen (Port de Plaisance, Morlaix)
I.R. de Lesneven	Le Quillimadec (D125, aire de repos)
Collège de Mescoat, Landerneau	L'Elorn, rue des Ecossais, Landerneau)
L.A.P. Le Nivot, Lopérec	La Douffine (D770, Pont neuf)
L.E.G.T.A. de Châteaulin	L'Aulne (Cent. Ville Châteaulin, pont routier)
Lycée public de Douarnenez	Le Ris (entre Kerstrat et Mescalet)

L.A.P. : Lycée Agricole Privé ; M.F.R. : Maison Familiale Rurale ; I.R. : Institut Rural ; L.E.G.T.A. : Lycée d'Enseignement Général et Technologique Agricole et Aquacole ; L.P.T. : Lycée Public Technique

Récapitulatif des bénévoles et des rivières ECOFLUX

Dourduff	Anne BURHIS et J.P. TALLEC 27 route du Dourduff 29252 Plouézoc'h 02 98 67 23 93 Raymond LACHUER 28, rue Beethoven 29600 Plourin-Lès-Morlaix 02 98 88 65 99	Membres d'Eau et Rivières de Bretagne
Dossen	Pierre JALLIFFIER Place de l'ancien lycée 29600 Morlaix 02 98 15 15 17	SIVOM de Morlaix
Penzé	Guy DERRIENIC Kerinec Creis 29600 Carantec 02 98 67 06 02	Membre d'Eau et Rivières de Bretagne
Guillec	Pierre JALLIFFIER	SIVOM de Morlaix
Flèche	Rodolph BRETON 9 rue Tanguy Malmanche 29860 Plabennec 02 98 40 70 67	APPMA du Pays des Abers
Quillimadec	idem	
Elorn	Guy LE MAOUT Moulin Vergraon 29450 Sizun 02 98 68 85 08 Ronald MESCAM 24, Kermalguen 29800 PENCAN 02 98 85 30 34	APPMA de l'Elorn
Douffine	Jean HERVÉ 21, rue de la forge 29590 Pont de Buis 02 98 73 04 88	APPMA de la Douffine
Aulne	Jacques LE DOARE 4 rue de Kerlobret 29150 Châteaulin 02 98 86 00 14 Eric CROGUENNEC Animateur de la passe à poissons de Châteaulin 02 98 86 30 68	APPMA de Châteaulin
Kerharo	Mr ARAN Ty An Quer 29550 Ploéven 02 98 81 28 62	
Lapic	Louis et Marie-Thérèse LE MEUR Trefeuntec 29550 Plonévez-Porzay 02 98 92 52 86	
Ris	Jacques GARREC Gorré Selliou 29580 Rosnoën 06 81 20 95 76	APPMA de Douarnenez
Saint Laurent	Patrick SAIGOT, Pierre MOLLO, Morgane NEDELEC 02 98 94 40 70	CEMPAMA Beg-Meil

3-Actions pédagogiques :

Récapitulatif des interventions réalisées en 2001 dans les établissements scolaires participant au Réseau ECOFLUX :

LEGTA de Suscinio - Morlaix	Présentation du réseau, sortie sur le terrain, 24 septembre 2001
MFR Kerozar - Morlaix	Exposé sur la surfertilisation et ses conséquences, cadre juridique, 20 avril 2001 Présentation du réseau, sortie sur le terrain, 13 septembre 2001
Institut Rural de Lesneven	Présentation du réseau, 14 septembre 2001
Collège St Joseph - Landerneau	Présentation du réseau, sortie sur le terrain, 29 janvier 2001 Visite de l'IUEM, 26 mars 2001 Exposé sur les marées vertes et le phytoplancton toxique, 25 juin 2001
LAP Le Nivot - Lopérec	Présentation du réseau, 11 septembre 2001
Lycée Public JM Le Bris - Douarnenez	Exposé sur les marées vertes, 16 mars 2001 Visite de l'IUEM, 15 juin 2001 Présentation du réseau, sortie sur le terrain, 17 septembre 2001 Visite de M ^r TALBOT à l'IUEM, 17 janvier 2002 Présentation du réseau dans le cadre de l'atelier cinéma du lycée (réalisation d'un film axé sur le bassin versant du Ris), 29 janvier 2002

4-Résultats scientifiques

L'ensemble des données acquises pendant les années 1998, 1999, 2000 et 2001 sont reportées en annexe. Dans ce chapitre nous mettons en évidence les tendances générales et les résultats marquants.

4-1-Année 1999

L'année 1999, pour laquelle nous disposons d'une série complète de mesures, est prise comme référence. Ainsi que nous l'expliquons en 4-3, elle correspond en période hivernale à un régime pluviométrique relativement abondant dû à un système climatique où la zone dépressionnaire centrée sur l'Islande est très étendue vers le sud (contexte à index NAO positif, voir ci-dessous).

4-1-1-Concentrations annuelles moyennes (et écarts-type)

La phase préliminaire d'ECOFLUX (1998-1999) a permis de caractériser les concentrations pour les différents types de rivières finistériennes, puis de sélectionner 13 fleuves choisis en fonction des caractéristiques géologiques des bassins versants, à réserves souterraines plus ou moins importantes.

	NITRATES		PHOSPHATES		SILICATES		N/Si	P/Si*100
	Moyenne mgNO ₃ /L	Ecart-type	Moyenne mgP.L ⁻¹	Ecart-type	Moyenne mgSiO ₂ .L ⁻¹	Ecart-type		
Bassins versants à faibles réserves souterraines								
Aulne	27.1	9.8	0.02	0.01	6.8	3.0	4.0	2.7
Douffine	22.7	5.2	0.01	0.1	5.5	0.8	4.1	19.9
Kerharo	39.0	6.3	0.04	0.03	10.1	1.1	3.9	4.2
Lapic	48.5	9.1	0.15	0.13	11.7	1.9	4.1	12.8
Bassins versants à réserves souterraines moyennes								
Penzé	58.2	12.9	0.16	0.08	12.5	0.9	4.6	12.8
Elorn	39.3	6.4	0.07	0.07	9.2	0.9	4.3	8.4
Bassins versants à fortes réserves souterraines								
Dourduff	44.6	8.8	0.08	0.05	13.4	1.7	3.3	6.2
Dossen	31.1	6.5	0.11	0.07	12.2	1.7	2.6	9.1
Guillec	91.3	21.9	0.12	0.05	13.8	1.8	6.6	8.6
Flèche	71.1	15.3	0.08	0.04	14.1	12.5	5.0	5.7
Quillimadec	58.3	12.2	0.14	0.06	16.0	2.1	3.6	8.7
Ris	39.5	7.4	0.03	0.02	12.6	2.8	3.1	2.5
St Laurent	45.1	7.3	0.01	0.01	12.3	1.2	3.7	1.0

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des concentrations en nitrates, phosphates et silicates dans les rivières du réseau ECOFLUX pour l'année 1999.

Notre sélection de fleuves par bassins versants à faibles, moyennes et fortes réserves souterraines, définie en collaboration avec le BRGM-Brest s'est avérée particulièrement judicieuse. La teneur fluviale en silicates est en général un excellent traceur des processus naturels liés à l'importance des réserves souterraines dans les bassins versants) : effectivement (Tableau 1) les teneurs en silicates présentent des moyennes annuelles faibles (environ 6 mg SiO₂ L⁻¹) dans l'Aulne et la Douffine (centre Finistère), rivières typiques des bassins versants à faibles réserves souterraines, alors qu'elles sont 2 à 3 fois plus élevées dans le Quillimadec et la Flèche (nord Finistère), rivières typiques de bassins versants à réserves souterraines importantes.

De même Aulne et Douffine présentent les plus faibles moyennes annuelles en nitrates (autres composés labiles du système aquatique) : environ 25 mg NO₃ L⁻¹, en contraste avec la Flèche et le Quillimadec, les plus riches en nitrates du Réseau ECOFLUX (respectivement 71,1 et 58,3 mg NO₃ L⁻¹). Les processus qui régulent la concentration en phosphates, très réactifs à l'interface phase liquide-phase solide, dans les eaux fluviales sont plus complexes et la classification des fleuves par importance des réserves souterraines ne s'applique pas (cf. Tableau 1) à cet élément nutritif, ce qui était attendu.

A noter que le rapport massique annuel moyen NO₃/ SiO₂ dans les rivières des bassins versants à faibles réserves souterraines (Aulne, Douffine, Kerharo et Lopic) est remarquablement constant : 4 ± 0,1 en moyenne annuelle. Dans les autres rivières par rapport à cette valeur de référence sont observées des anomalies positives (excédent de nitrates dues à un enrichissement des sols, d'origine anthropique) ou négatives (déficit de nitrates, du à une dénitrification).

Comparaison avec d'autres fleuves mondiaux :

Il est intéressant de comparer les teneurs moyennes annuelles en silicates et nitrates des fleuves finistériens (débits annuels moyens < 50 m³ s⁻¹) à celles de grands fleuves mondiaux (Martin et al., 1981 ; DDE, 1998).

Dans les fleuves tels que l'Amazone ou le Niger considérés comme des fleuves « pristines » (« à l'état originel ») les teneurs moyennes en silicates sont respectivement de 11,2 et 15 mg SiO₂ L⁻¹, soit environ 2 à 3 fois plus élevées que dans l'Aulne ou la Douffine, en relation avec la nature des sols et une température plus élevée en zone équatoriale, qui détermine une plus grande solubilité des roches silicatées. Par contre les teneurs en nitrates y sont 50 à 100 fois plus faibles (respectivement 0,2 et 0,5 mg NO₃ L⁻¹) et des rapports massiques N/Si sont seulement de 0,02 et 0,03. Dans les fleuves européens ou américains, qui ont reçu d'important apports de nitrates depuis des décennies, les rapports moyens annuels en N/Si sont de 1,8 pour le Mississippi, de 3,0 pour le Rhin et de 3,7 pour la Seine, dans la même gamme que celle observée pour les fleuves finistériens.

4-1-2-Flux annuels :

Pour les 7 fleuves pour lesquels la DIREN-Bretagne dispose des débits journaliers les flux de sels nutritifs déversés dans l'océan s'établissent comme suit (Tableau 2). Dans la sélection de fleuves étudiée, de l'Aulne au Dourduff les flux de nutriments varient d'un facteur 30 environ pour les silicates et les nitrates, à un facteur 15 pour les phosphates. A noter que si important soit le flux annuel de nitrates déversé en mer par l'Aulne, il reste cependant 1,5 fois plus faible que celui de la Vilaine (Porhel, 1998) et environ 10 fois

inférieur à celui de la Seine (Cugier, 1999). Les caractéristiques des eaux littorales (<http://www.univ-brest.fr/IUEM/BIOFLUX/somlit.htm>) restent donc largement déterminées par les flux d'eaux atlantiques proprement dits, même si localement les apports fluviaux de flux nutritifs sont importants et jouent un rôle significatif dans le développement de marées vertes.

	ANNÉE 1999 : FLUX TOTAL ANNUEL		
	TNO ₃ / an	TSiO ₂ / an	TP / an
Bassin versant à faibles réserves souterraines			
Aulne	47053	11726	25.6
Douffine	3625	775	7.2
Bassin versant à réserves souterraines moyennes			
Penzé	6484	1350	11.1
Elorn	9240	2161	9.4
Bassin versant à fortes réserves souterraines			
Dourduff	1438	389	1.7
Dossen	4346	1577	10.1
Guillec	3456	572	4.7

Tableau 2 : Estimation des flux totaux annuels charriés par quelques rivières du réseau ECOFLUX

4-2-Variabilité temporelle des concentrations et des flux :

4-2-1-Concentrations moyennes, minimales et maximales :

Rivière	Nombre de prélèvements	Maximum en mgNO ₃ /l	Date	Minimum en mgNO ₃ /l	Date	Moyenne en mgNO ₃ /l
Dourduff	149	57	16/07/01	16	05/07/00	42.7
Dossen	139	86	03/10/01	11	10/10/00	31.0
Penzé	103	112	05/05/01	31	16/11/00	58.8
Guillec	123	125	17/09/01	27	24/10/99	89.6
Flèche	150	91	22/06/99	17	09/12/98	67.3
Quillimadec	143	75	16/09/99	15	12/12/00	56.6
Elorn	108	48	23/06/99	22	31/10/00	37.0
Douffine	154	36	29/04/99	10	30/11/01	21.6
Aulne	148	41	19/10/99	6	15/04/99	24.0
Kerharo	109	52	16/01/01	0	22/07/01	37.7
Lapic	119	62	29/11/00	23	07/06/99	48.0
Ris	109	53	19/03/99	14	06/10/99	37.9
St Laurent	103	55	03/09/99	22	25/02/99	43.9

Tableau 3 : Concentrations en nitrates maximales, minimales et moyennes dans les rivières suivies par le réseau ECOFLUX

Rivière	Nombre de prélèvements	Maximum en mgP/l	Date	Minimum en mgP/l	Date	Moyenne en mgP/l
Dourduff	149	0.24	22/09/99	0.01	15/02/99	0.08
Dossen	139	0.31	29/09/98	0.00	10/05/99	0.12
Penzé	103	0.40	20/09/01	0.04	30/12/99	0.16
Guillec	123	0.30	10/09/01	0.00	22/10/01	0.13
Flèche	150	0.32	14/10/98	0.02	28/05/99	0.10
Quillimadec	143	0.41	18/11/98	0.04	13/02/01	0.15
Elorn	108	0.26	02/08/01	0.00	05/12/99	0.07
Douffine	154	0.40	14/09/01	0.00	15/11/00	0.11
Aulne	148	0.07	07/10/98	0.00	13/01/99	0.02
Kerharo	109	0.11	20/03/01	0.00	22/07/01	0.04
Lapic	119	0.48	13/09/99	0.02	21/04/01	0.11
Ris	109	0.12	02/08/99	0.01	22/01/99	0.03
St Laurent	103	0.06	29/10/98	0.00	05/01/99	0.01

Tableau 4: concentrations en phosphates maximales, minimales et moyennes dans les rivières suivies par le réseau ECOFLUX

Si l'on s'en réfère à la moyenne des concentrations en nitrates relevées par le réseau ECOFLUX depuis sa création, quatre rivières sont gravement touchées par une pollution azotée puisque l'on dépasse de loin le seuil de potabilité de 50 mgNO₃/L fixé pour la consommation humaine. Ce sont dans l'ordre décroissant : le Guillec, la Flèche, la Penzé, le Quillimadec. Lapic, St Laurent et Dourduff sont eux-aussi touchés à un degré moindre mais non négligeable dans un contexte propice aux efflorescences algales.

Lorsque l'on regarde à présent les concentrations moyennes en phosphates, les rivières les plus touchées par la pollution phosphorée sont dans l'ordre la Penzé (dont la moyenne interannuelle égale le seuil de potabilité de 0.16 mgP/L), le Quillimadec, le Guillec, le Dossen, le Lapic et la Douffine...

Rivière	Nombre de prélèvements	Maximum en mgSiO ₂ /l	Date	Minimum en mgSiO ₂ /l	Date	Moyenne en mgSiO ₂ /l
Dourduff	149	21.6	20/08/01	8.7	05/07/00	13.3
Dossen	139	17.0	24/11/01	5.8	13/10/98	12.4
Penzé	103	16.5	09/08/01	10.2	03/03/01	12.6
Guillec	123	20.3	02/07/01	8.3	13/12/00	14.0
Flèche	150	19.7	30/10/01	6.6	09/12/98	14.2
Quillimadec	143	20.9	23/10/01	7.8	08/02/01	15.7
Elorn	108	14.5	11/12/00	5.8	20/04/00	9.5
Douffine	154	7.1	14/10/99	3.1	20/04/99	5.6
Aulne	148	10.5	16/11/99	0	20/09/01	6.7
Kerharo	109	12.51	09/10/01	1.08	22/07/01	9.4
Lapic	119	13.6	04/10/99	4.2	05/07/99	11.4
Ris	109	20.9	26/08/00	4.0	06/10/99	14.3
St Laurent	103	14.1	28/10/99	8.5	20/04/99	12.3

Tableau 5 : Concentrations en silicates maximales, minimales et moyennes dans les rivières suivies par le réseau ECOFLUX

4-2-2-Variations des concentrations en sels nutritifs

Par rapport aux moyennes annuelles calculées dans le Tableau 1 pour l'année 1999, les concentrations en sels nutritifs peuvent présenter des variations à l'échelle hebdomadaire ou saisonnière (voir ci-dessous) et ceci pour les trois années étudiées.

Variabilité à l'échelle hebdomadaire :

A titre d'exemple la Figure 2 représente la variation à l'échelle hebdomadaire des teneurs en nitrates pour l'ensemble des fleuves finistériens échantillonnés sur l'ensemble de la période d'étude. En été, selon les fleuves, en raison à la fois d'une activité photosynthétique croissante et de la réduction du lessivage des sols, les concentrations en sels nutritifs sont divisées par un facteur 2 à 3 par rapport aux maxima hivernaux.

Des variations rapides (hebdomadaires) des concentrations sont enregistrées en période de fortes crues (avec une dilution des teneurs, cf. diagrammes caractéristiques ci-dessous).

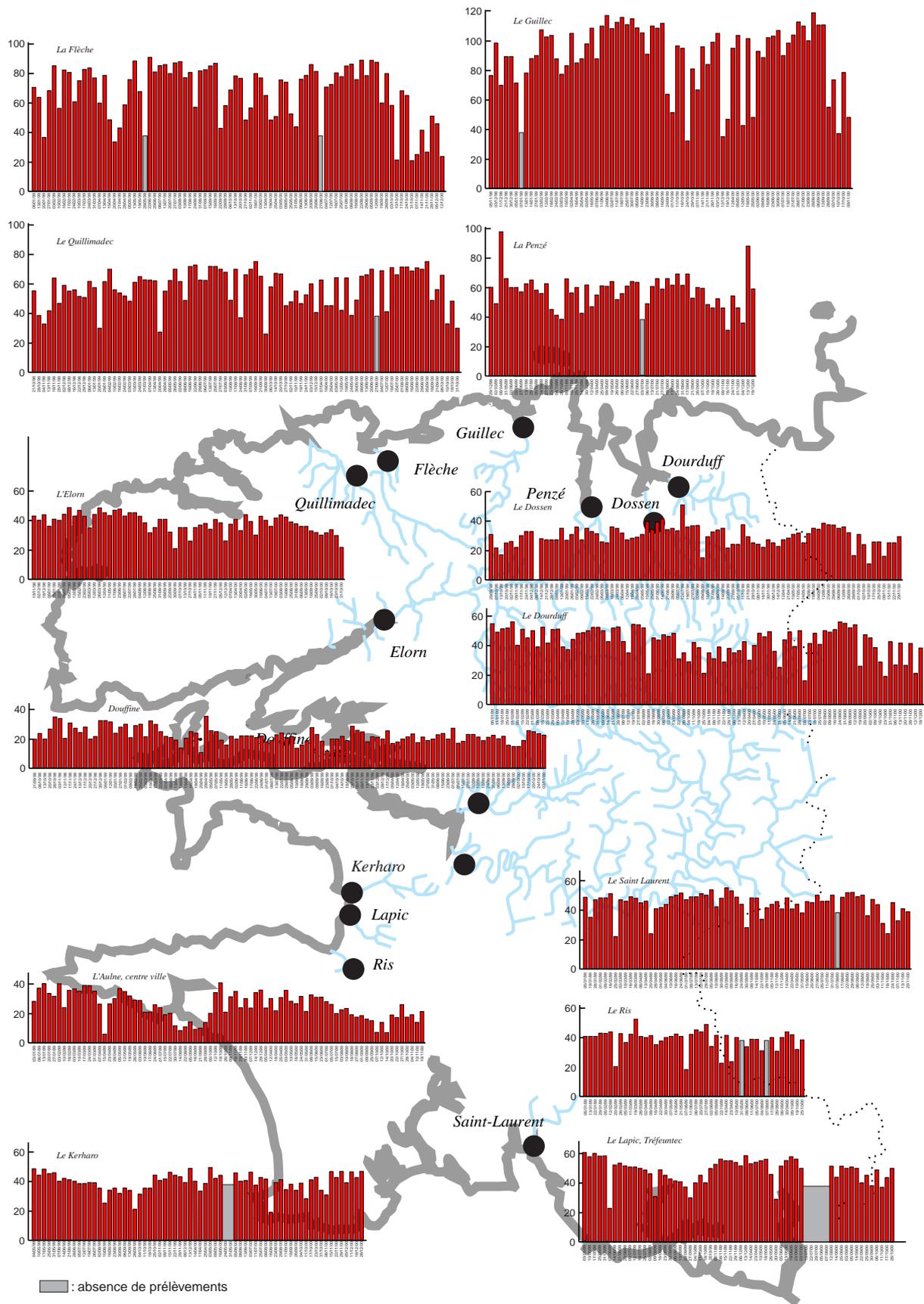


Figure 2. Réseau ECOFLUX : variation des teneurs en nitrates (mg NO₃ L⁻¹) pour les différents fleuves sur la période d'étude (1998, 1999, 2000, 2001)

Variabilité à l'échelle saisonnière :

Sur la période d'étude, nous disposons de données (Tableau 3, 4, 5) permettant de quantifier la variabilité pour **4 automnes** (1998, 1999, 2000, 2001), pour **2 hivers** (1999 et 2000), **3 printemps** et **3 étés** (1999, 2000 et 2001). A titre d'exemple nous commenterons ici les variabilités automnales et printanières.

	AUTOMNE				HIVER		PRINTEMPS			ÉTÉ		
	1998	1999	2000	2001	1999	2000	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bassins versants à faibles réserves souterraines												
Aulne	28.2	28.1	16.1	14.8	34.7	31.3	28.2	28.6	25.9	15.3	22.2	14.6
Douffine	26.5	21.5	21.0	14.8	28.1	23.1	21.7	20.6	19.8	20.6	20.9	18.9
Kerharo	#	39.2	39.7	30.6	#	40.9	44.3	41.4	40.0	37.9	35.8	29.2
Lapic	41.7	49.0	43.3	38.8	#	54.9	53.0	50.9	52.6	45.9	49.9	46.0
Bassins versants à réserves souterraines moyennes												
Penzé	#	49.9	52.2	53.2	#	60.1	68.3	57.1	65.2	60.3	61.9	63.2
Elorn	42.3	33.3	30.0		42.1	36.7	45.8	43.0	36.7	40.3	38.7	39.5
Bassins versants à fortes réserves souterraines												
Dourduff	43.1	48.5	34.8	38.3	49.3	37.4	47.6	40.8	45.4	44.6	44.6	50.6
Dossen	26.7	26.0	27.3	29.8	30.8	33.1	33.7	30.0	36.2	33.2	36.2	34.1
Guillec	83.5	72.9	63.8	98.5	89.0	72.9	97.4	84.6	84.7	109.6	106.2	109.2
Flèche	56.9	61.6	45.7	64.9	69.6	56.5	65.2	64.7	72.5	79.1	79.6	82.4
Quillimadec	50.0	51.5	46.6	55.8	55.2	46.1	59.3	55.6	57.6	65.2	67.6	69.8
Ris	39.1	#	39.0	36.0	40.8	37.3	38.3	35.8	37.4	41.2	36.2	39.0
St Laurent	43.4	41.7	38.0	42.1	44.2	45.2	43.2	43.7	39.9	49.9	48.0	45.0

Tableau n°6- Comparaison des teneurs moyennes saisonnières en nitrates ($\text{mgNO}_3 \text{ L}^{-1}$) dans les rivières du réseau ECOFLUX

Les teneurs moyennes en nitrates obtenues dans les différents fleuves pour l'automne 2001 reflètent le contexte pluviométrique relativement sec de cet automne : si l'on se focalise sur les rivières à faibles réserves souterraines, le rapport des teneurs en nitrates par rapport à notre année référence 1999 varie de 47 % pour l'Aulne à 22 % pour le Kerharo, vers une baisse des concentrations.

En revanche, pour les fleuves à fortes réserves souterraines, cette baisse n'est pas du tout évidente, ce qui est évidemment à relier à la contribution des réserves souterraines largement polluées par les intrants azotés.

Nous constatons également la relative constance des teneurs printanières en nitrates et silicates sur les 3 printemps 1999, 2000 et 2001.

Pour l'Aulne pris comme exemple, cette variabilité est au maximum de 8% pour les nitrates et 10% pour les silicates, toujours en prenant comme référence l'année 1999.

	AUTOMNE				HIVER		PRINTEMPS			ÉTÉ		
	1998	1999	2000	2001	1999	2000	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bassins versants à faibles réserves souterraines												
Aulne	0.034	0.032	0.019	0.028	0.012	0.022	0.014	0.017	0.017	0.015	0.013	0.012
Douffine	0.062	0.075	0.032	0.090	0.035	0.030	0.099	0.050	0.126	0.205	0.152	0.288
Kerharo	#	0.033	0.029	0.034	#	0.032	0.020	0.025	0.025	0.060	0.036	0.051
Lapic	0.104	0.072	0.074	0.130	#	0.032	0.062	0.063	0.038	0.262	0.114	0.217
Bassins versants à réserves souterraines moyennes												
Penzé	#	0.152	0.123	0.220	0.050	0.060	0.093	0.085	0.105	0.220	0.197	0.325
Elorn	0.018	0.050	0.052	0.066	0.025	0.024	0.058	0.039	0.057	0.181	0.108	0.147
Bassins versants à fortes réserves souterraines												
Dourduff	0.062	0.096	0.065	0.097	0.036	0.051	0.049	0.060	0.059	0.132	0.092	0.144
Dossen	0.134	0.165	0.097	0.150	0.049	0.049	0.064	0.125	0.099	0.165	0.208	0.195
Guillec	#	0.139	0.158	0.111	0.067	0.079	0.111	0.141	0.085	0.159	0.204	0.188
Flèche	0.147	0.127	0.136	0.102	0.079	0.082	0.072	0.176	0.083	0.079	0.103	0.081
Quillimadec	0.280	0.177	0.160	0.176	0.091	0.087	0.123	0.111	0.077	0.164	0.127	0.166
Ris	0.036	0.060	0.083	0.038	0.023	0.034	0.021	0.016	0.025	0.045	0.024	0.026
St Laurent	0.028	0.014	0.014	0.008	0.010	0.018	0.012	0.009	0.010	0.014	0.010	0.012

Tableau n°7- Comparaison des teneurs moyennes saisonnières en phosphates (mgP/L) dans les fleuves du réseau ECOFLUX

	AUTOMNE				HIVER		PRINTEMPS			ÉTÉ		
	1998	1999	2000	2001	1999	2000	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Bassins versants à faibles réserves souterraines												
Aulne	9.0	9.2	8.2	6.5	8.1	8.1	7.3	7.5	6.6	2.0	4.9	2.7
Douffine	5.7	6.6	6.1	6.2	5.2	5.1	5.1	5.2	5.0	5.8	6.2	5.8
Kerharo	#	11.2	9.5	10.9	#	8.3	9.5	8.5	8.6	9.4	9.8	7.7
Lapic	11.5	12.5	11.5	12.0	#	10.5	10.6	10.8	10.8	11.5	11.9	10.8
Bassins versants à réserves souterraines moyennes												
Penzé	#	12.8	12.5	13.6	10.8	11.5	12.5	11.4	11.8	12.8	13.6	14.0
Elorn	9.3	8.9	9.5	10.2	8.8	8.7	9.4	8.5	9.1	9.8	10.0	10.9
Bassins versants à fortes réserves souterraines												
Dourduff	14.0	15.0	13.0	14.7	11.6	11.3	12.3	12.1	12.1	14.6	13.8	14.7
Dossen	11.8	13.6	12.3	13.8	10.3	11.1	11.5	11.2	11.9	13.5	14.1	14.2
Guillec	#	14.8	11.9	15.4	12.7	12.1	13.3	12.6	13.2	14.1	14.7	16.1
Flèche	15.0	16.1	12.6	17.2	13.5	11.8	12.4	13.8	13.6	15.1	15.7	16.0
Quillimadec	16.1	17.8	15.6	17.8	14.7	12.8	15.0	14.8	13.8	16.6	16.6	16.8
Ris	14.5	8.8	13.8	17.3	12.3	12.9	11.7	14.1	13.8	15.5	16.9	16.5
St Laurent	12.2	13.5	12.4	13.5	11.4	11.3	12.3	11.7	11.5	12.9	12.5	12.6

Tableau n°8- Comparaison des teneurs moyennes saisonnières en silicates (mgSiO₂/L) dans les fleuves du réseau ECOFLUX

Diagrammes caractéristiques :

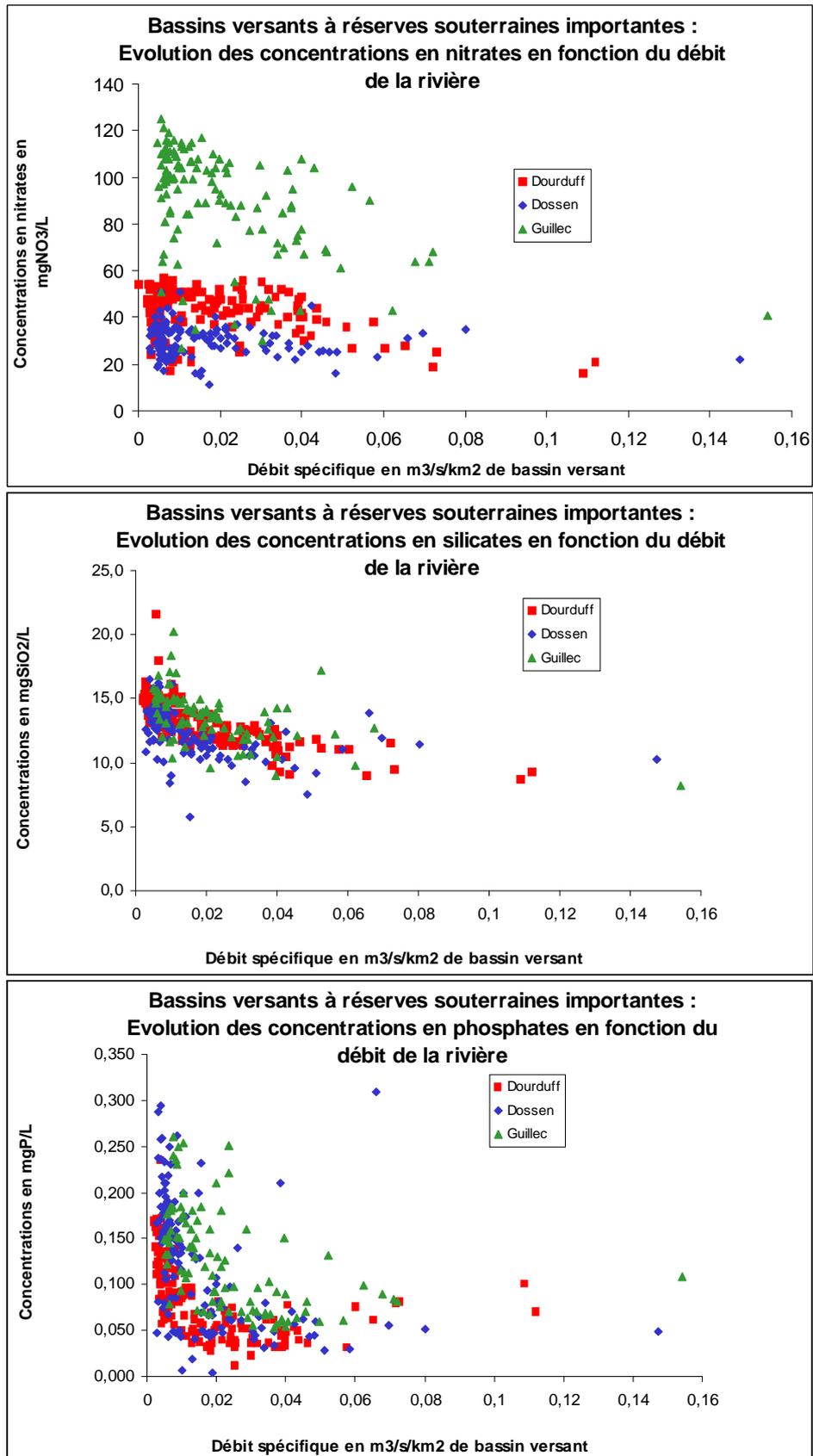


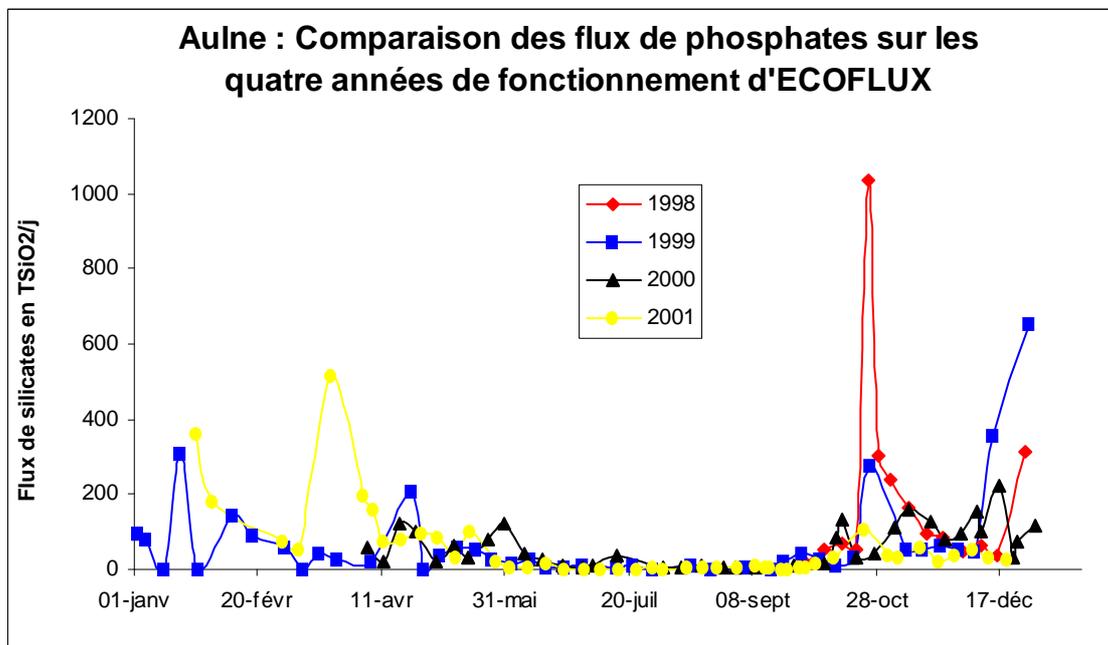
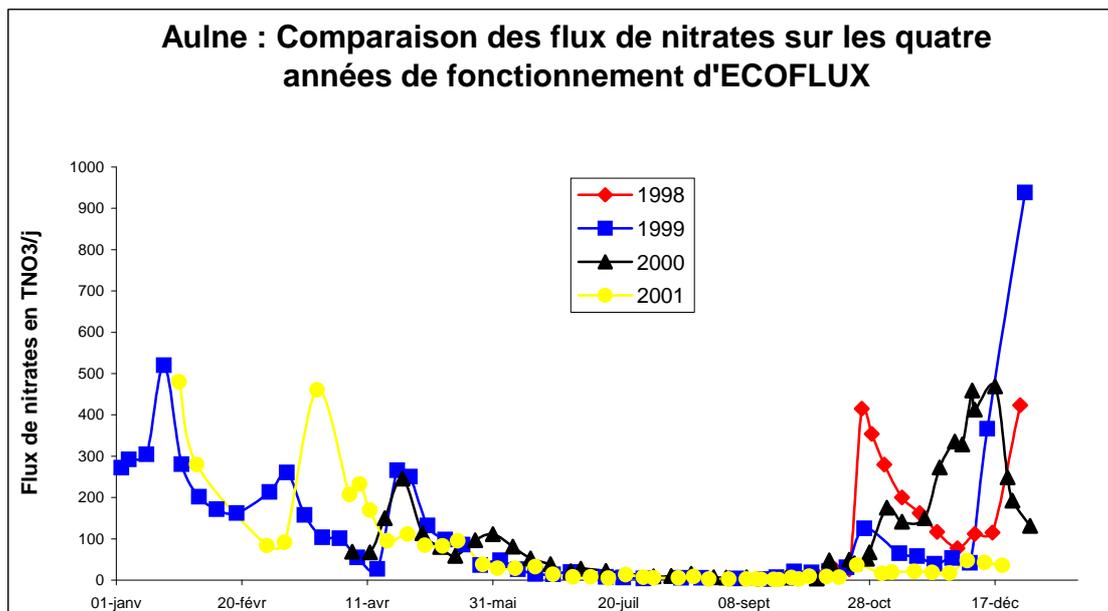
Figure 3. Réseau ECOFLUX : diagrammes caractéristiques des fleuves (concentrations vs. débits spécifiques) : nitrates, silicates, phosphates.

Sont présentés ci-dessus les diagrammes caractéristiques dans le cas des bassins à réserves souterraines importantes. Les diagrammes de la figure 3 illustrent à la fois l'effet de la dilution aux forts débits (silicates par exemple) et celui d'apports anthropiques croissants pour les nitrates d'un bassin versant à l'autre (comparaison entre le Guillec et le Dossen par exemple). La figure 3 inférieure illustre plus particulièrement l'élimination des phosphates de la phase dissoute aux forts débits, par adsorption sur de la matière particulaire (argiles, hydroxydes de fer) dont les eaux fluviales deviennent très chargées en période de crues.

4-2-3-Variabilité des flux :

Pour les 3 catégories de bassins versants (à fortes, moyennes et faibles réserves souterraines), par rapport aux flux moyens annuels (Tableau 2) d'importants écarts sont enregistrés pour les flux saisonniers de sels nutritifs (voir Annexe).

Ceci est illustré dans le cas de l'Aulne (Figure 4) : en période de crue exceptionnelle hivernale 1999-2000 les flux journaliers atteignent des maxima respectivement de 900 tonnes de nitrates, 210 tonnes de silicates, et 600 tonnes de phosphore inorganique dissous, plus de 100 fois supérieures aux valeurs typiques des périodes d'étiage.



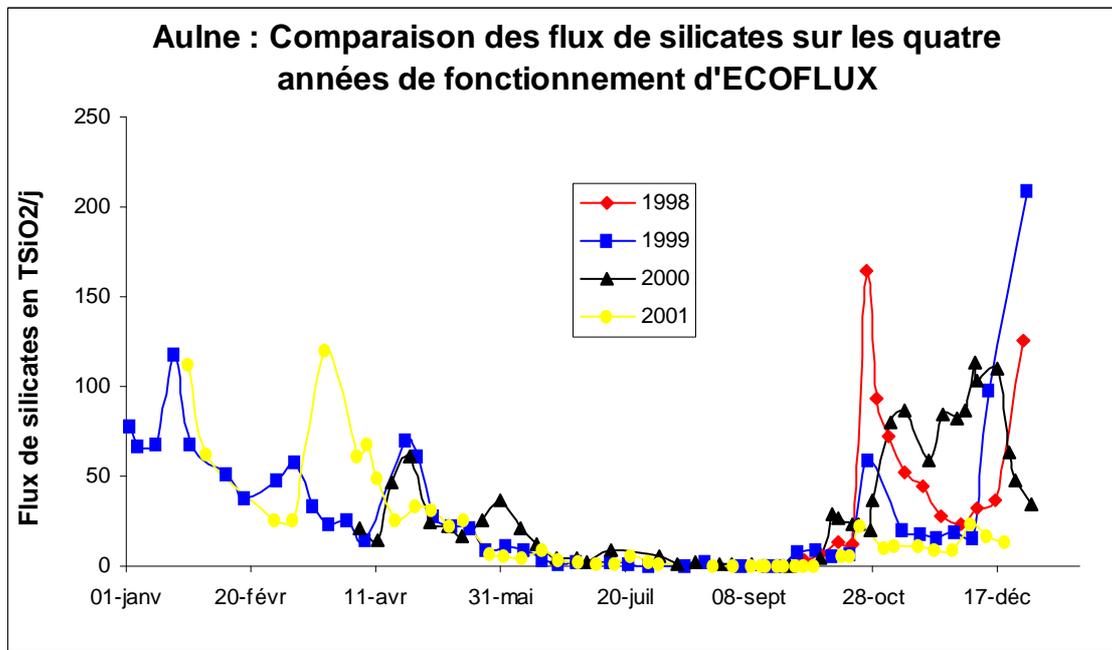


Figure 4 : Comparaison des flux de sels nutritifs rejetés par le fleuve Aulne en 1998, 1999, 2000 et 2001

4-3-Dérive à long terme, les forçages climatique et anthropique :

Les variations des flux fluviaux de sels nutritifs observées par le Réseau ECOFLUX sont-elles d'origine climatique et/ou anthropique ?

Il s'agit d'une question importante pour tous ceux qui ont en charge la gestion de l'environnement.

Les nitrates, phosphates et silicates présents dans les sols sont entraînés vers les fleuves, soit directement soit indirectement, par des processus naturels : lessivage ou percolation. Indépendamment des apports anthropiques directs les teneurs et les flux d'éléments nutritifs dans les eaux fluviales dépendent donc d'abord de phénomènes naturels et de l'abondance ou non des précipitations.

Depuis 1998 le Réseau ECOFLUX a montré que les teneurs et les flux fluviaux de nitrates, phosphates et silicates subissent d'importantes fluctuations à l'échelle hebdomadaire, saisonnière et annuelles. Quand de telles fluctuations sont observées, avant d'impliquer une origine anthropique (variations dans l'utilisation de l'usage de sols) il faut vérifier si la variabilité observée aux différentes échelles de temps ne résulte pas de processus naturels, c'est à dire si elle n'a pas une origine climatique.

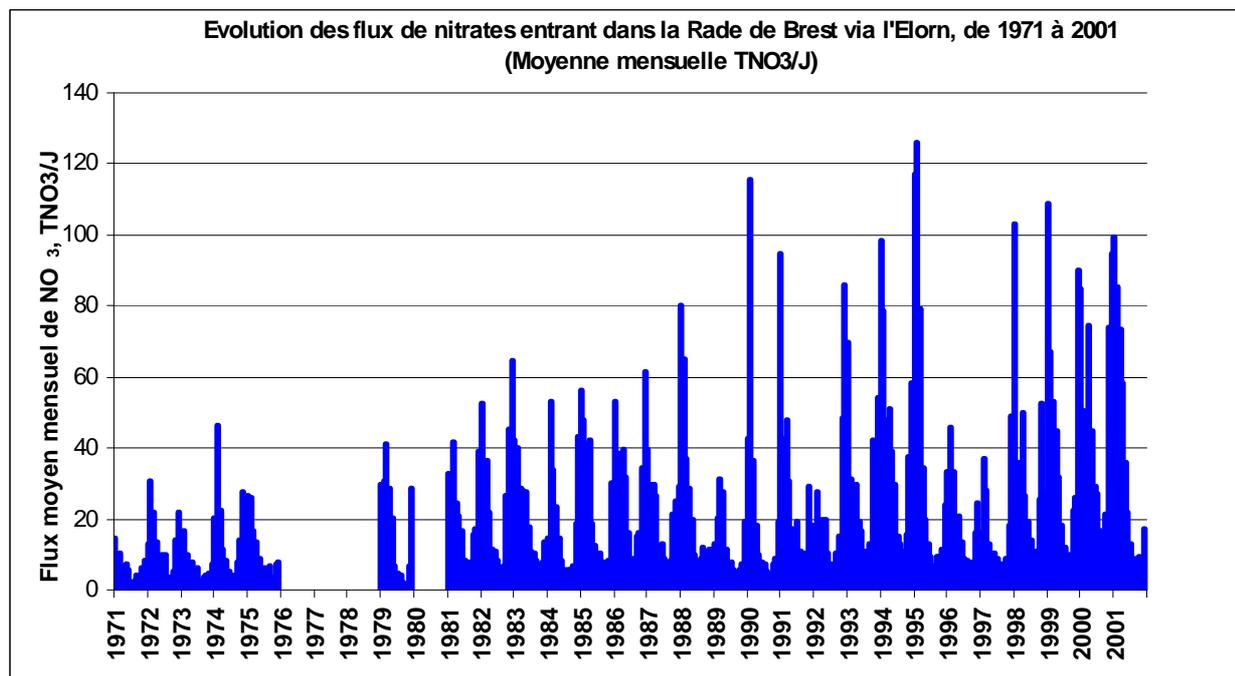


Figure 5 : Fleuve Elorn : variabilité des flux de nitrates de 1971 à 2001 (sources : DIREN, DDE, CEO, LEMAR, ECOFLUX).

S'agissant des fleuves finistériens nous ne disposons jusqu'à présent que d'une seule série à long terme (environ 30 ans) qui permet d'établir, au moins partiellement, un diagnostic. Ainsi (Figure 5) les fluctuations des flux de nitrates dans l'Elorn, depuis les années 1971 révèlent:

(1) une tendance croissante de la moyenne annuelle, d'origine anthropique : apports accrus d'engrais et épandages de lisiers sur les sols des bassin versants, induisant une augmentation par un facteur 2 au moins de la teneur moyenne en nitrates sur la période d'étude.

(2) une périodicité pluriannuelle, dont nous savons aujourd'hui (Guenno, 2000) qu'elle est liée à une fluctuation climatique à l'échelle de l'Atlantique nord (www.met.rdg.ac.uk/cag/NAO/index.html), Figure 6, dont on caractérise la variabilité par un index (index NAO, Figure 7).

Il est essentiel de noter que pour établir ce diagnostic il faut disposer de suivis à long terme, ce qui implique de poursuivre l'effort à une échelle au moins décennale.

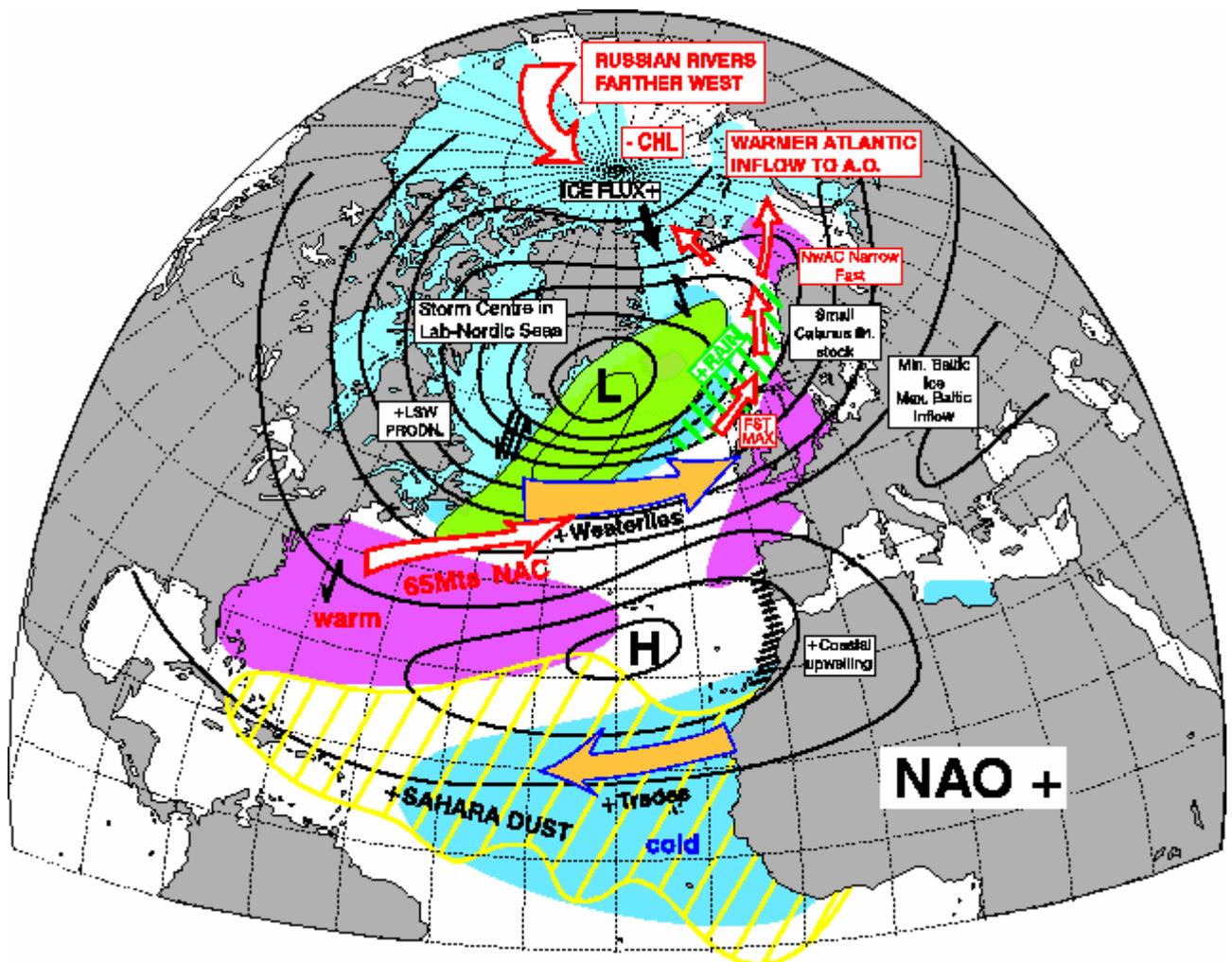


Figure 6. L'Oscillation nord-atlantique détermine le climat de l'ouest de l'Europe. Scénario d'hiver pluvieux (cf situation observée par exemple en hiver 2000-2001), à index NAO positif.

A cet égard on notera avec intérêt que la fin du 20^{ème} siècle se caractérise pour l'ouest de l'Europe en général et pour les littoraux du Finistère en particulier par une période où

automne et hivers sont particulièrement pluvieux (scénarios correspondant au scénario climatique du type de la Figure 6, index NAO positif, Figure 7). Pendant ces saisons les précipitations abondantes déterminent des flux de sels nutritifs particulièrement élevés, dont la cause est d'abord d'origine naturelle avant d'être d'origine anthropique.

Il est essentiel pour les responsables des Collectivités Territoriales, soumis à la fois à la pression des agents économiques (agriculture notamment) et à la pression de mouvements écologistes (qui les accusent d'immobilisme, exemple : opération NENUPHAR de l'Association Agir pour l'Environnement Durable, A2ED) de connaître cet aspect fondamental s'il veulent correctement gérer dans le temps le dossier de la qualité de l'eau.

On notera au passage (Figure 7) la situation exceptionnelle de l'hiver 1995-1996, qui correspond à un hiver plus sec (scénario à index NAO négatif) et donc à des flux plus réduits en nitrates dans les fleuves finistériens (Elorn par exemple, Figure 1). Imaginons un instant que le Réseau ECOFLUX ait démarré en 1995-1996 : nous aurions enregistré une baisse considérable des nitrates (Figure 1) par rapport aux années précédentes. Si nous n'avions pas à notre disposition de séries temporelles de longues périodes nous ne pourrions relier cette décroissance à un phénomène naturel, c'est à dire non anthropique !

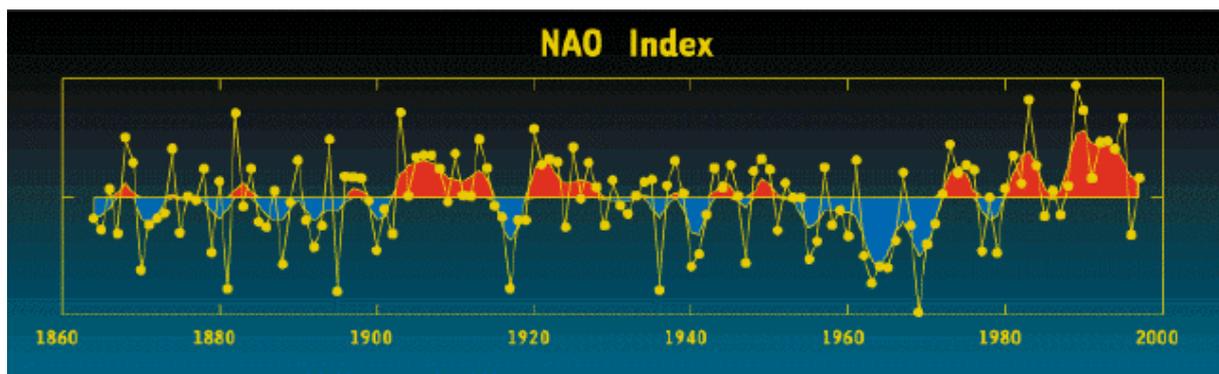


Figure 7 : L'index de l'oscillation nord-atlantique (dit NAO index) cf. Figure 2.

4-4- Modélisation des impacts anthropiques

Au sein de l'IUEM, le laboratoire **Géosystèmes** a mis en œuvre le **simulateur DAHU (Dynamique des Activités HUmaines)**, en collaboration avec le laboratoire LR3I de La Rochelle, dans le cadre du projet du Comité Motive du PENVS et du programme SIG (CNRS/IGN).

L'objectif de ce projet est, concernant les épandages de lisier, d'être en mesure d'estimer les flux au regard du fonctionnement des structures d'élevage, de l'occupation du sol utilisé à des fins agricoles et des dispositifs de réglementation en application.

Le choix de l'élevage porcin comme point d'entrée du modèle DAHU ne s'est pas fait au hasard mais en fonction de paramètres techniques, économiques, écologiques et sociaux qui lui sont associés en Bretagne. Au cours des 20 dernières années, ce secteur d'activité a en effet subi une série de mutations favorisées par des avancées techniques importantes dans le système d'élevage hors-sol. La présence d'industries de transformation agro-alimentaire a également favorisé l'instauration d'un modèle productiviste.

Il en résulte un fonctionnement basé sur des cycles de production très cloisonné (cf figure 6). C'est ce phénomène qui est décomposé dans la simulation, en analysant les conditions initiales à la mise en place des épandages pour mieux comprendre leur **distribution dans l'espace et dans le temps**.

Ainsi, les sorties de ce modèle fournissent actuellement un état de la pression d'épandage dans les communes simulées avec un pas journalier.

La vraisemblance de la simulation sera vérifiée à partir d'une comparaison avec les échantillonnages de terrain réalisés dans le cadre du réseau ECOFLUX.

On sera ainsi en mesure de **clarifier le rôle de chaque facteur dans les transferts d'azote aux masses d'eau (relation entre pluviométrie, exercice de l'activité et contexte réglementaire)**, et donc de proposer un outil décisionnel majeur dans l'optique du développement durable de l'agriculture finistérienne.

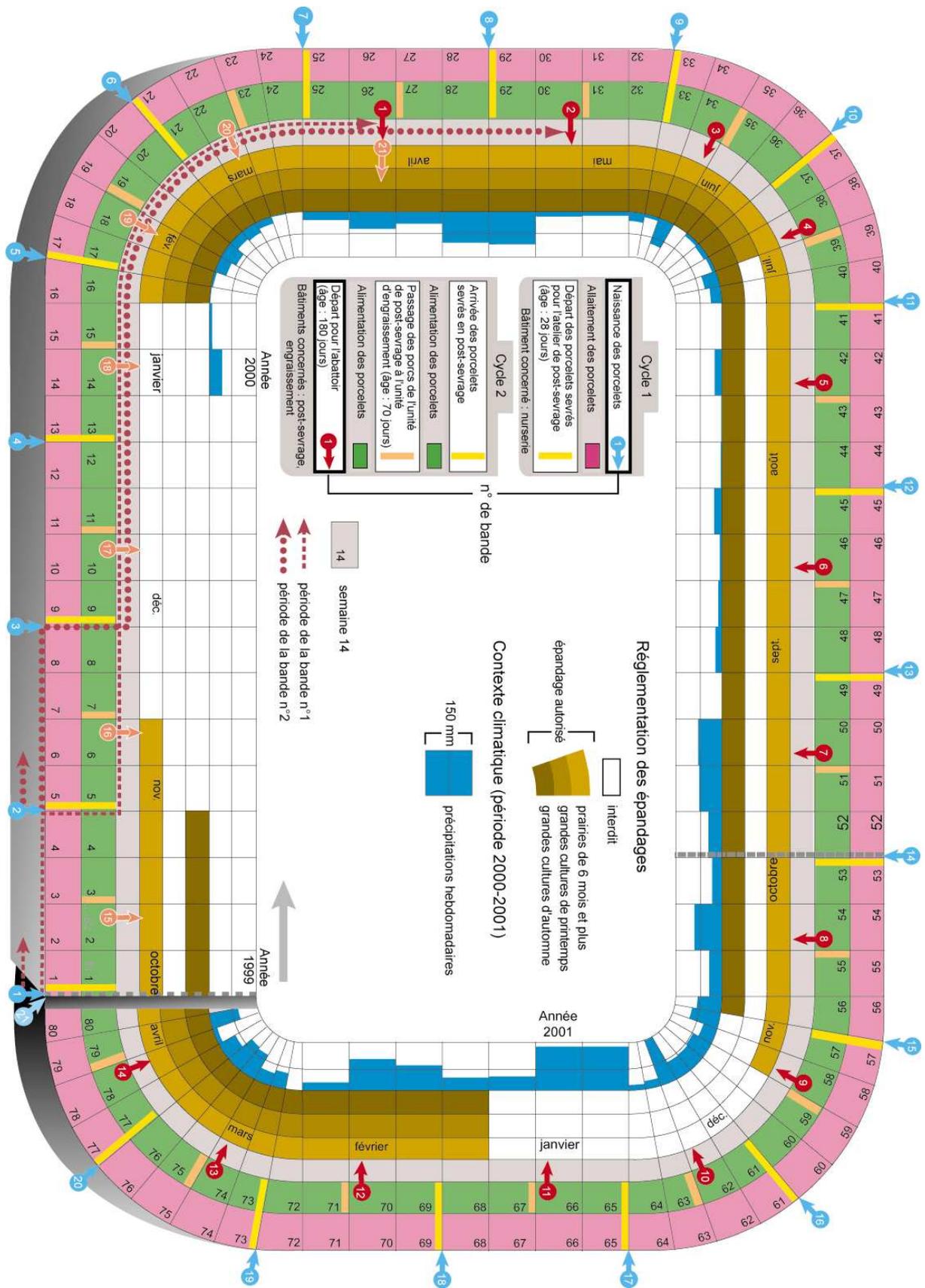


Figure 8 : le cycle porcin

Conclusion générale :

Le réseau ECOFLUX a sans conteste atteint ses objectifs en matière d'animation pédagogique et de sensibilisation du public, et en particulier des jeunes ruraux, aux problèmes de l'environnement et à la nécessité de s'orienter vers un mode de développement durable, gérant de façon plus rationnelle les rejets à la mer de nitrates et de phosphates.

Malgré les interruptions partielles dues à la transition entre le renouvellement du contrat entre 1999 et 2000 le Réseau ECOFLUX est en train de constituer une base de données unique sur la variabilité des nitrates, des phosphates et de silicates dans l'eau de fleuves typiques du Finistère. Ceci devrait permettre aux Collectivités Territoriales de mieux gérer, à terme, l'environnement aquatique (terrestre et marin) en faisant la part dans la variabilité observée en concentrations et en flux, du climatique et de l'anthropique.

Références :

P. Cugier, 1999. Modélisation du devenir à moyen terme dans l'eau et le sédiment des éléments majeurs (N, P, Si) rejetés par la Seine en Baie de Seine, Thèse de doctorat, Université de Caen, 249 pp.

DDE, 1998. Données du Fleuve Seine 1976-1997.

M. Guenno, 2000. Rapport de maîtrise de Mikaël Guenno, juin 2000, encadré par Sabrina Speich, MC, LPO-UBO)

J.M. Martin, J.D. Burton & D. Eisma, 198. River inputs to ocean systems.

S. Porhel, 1998. Les apports de nitrates dans les eaux littorales bretonnes, Conseil Scientifique Régional de l'Environnement (Région Bretagne), Rapport, 1998, 250 pp.

C. Tissot, M. Rouan & F. Croisé, 2001. Modélisation du cycle d'élevage porcin hors-sol : étude du modèle breton.

ANNEXES