

# Flux à la mer : trop d'azote, mais moins de phosphore



**ifen**

Les fleuves français transportent chaque année en moyenne 646 000 tonnes d'azote (à 71% sous forme nitrate) et 43 800 tonnes de phosphore ainsi que 9,8 millions de tonnes de sédiments.

Les apports dus aux rejets urbains et industriels décroissent très significativement depuis une décennie. Seuls les flux de nitrates restent stables ou augmentent. L'obligation, au titre d'OSPAR, de réduction de 50% des apports ne pourra ainsi être atteinte pour les nitrates.

Philippe Crouzet (Ifen), Guillaume Le Gall (Beture-Cerec),  
Michel Meybeck (Université Paris VI)

## La problématique

Les réseaux de mesure fournissent pour chaque station des résultats instantanés dont l'exploitation la plus fréquente consiste à les comparer avec des normes, lorsqu'elles existent. Par exemple, et en simplifiant, il n'est pas permis de produire de l'eau potable à partir d'une eau de surface contenant plus de 50 mg/l de nitrate.

Le calcul des flux vise, à partir de ces résultats, à fournir les quantités de substances transportées par les cours d'eau durant une certaine période. Les résultats s'expriment en tonnes par an (t/an).

Dans un premier temps, le calcul des flux vise seulement les nutriments (azote et phosphore) et les matières en suspension. Les micropolluants, notamment ceux fortement liés aux matières en suspension, seront calculés ultérieurement.

## Les résultats obtenus

Les résultats présentés ici ont été calculés sur 90 rivières débouchant en mer ou transfrontalières, en provenance de France et sur le Rhin. La superficie totale couvre 507 300 km<sup>2</sup> et se trouve peuplée de 53,3 millions d'habitants. Des superficies et des habitants de pays limitrophes, (essentiellement des bassins du Rhin et Rhône) sont pris en compte ici (cf. tableau ci-contre), ce qui n'est pas le cas d'un certain nombre de

bassins versants pour lesquels les données manquent. Par ailleurs, les effets des marées et les aménagements portuaires et pour la navigation fluviale rendent les mesures techniquement impossibles à l'aval des fleuves.

Ces lacunes englobent plusieurs zones industrielles et des grandes villes qui totalisent 7% de la population métropolitaine.

De ce fait, les flux apportés par les cours d'eau ne sont que l'une des composantes, toutefois majoritaire, des émissions telluriques à la mer. Pour le Rhin, les flux sont présentés à part car il n'est pas possible de distinguer la fraction qui provient de France.

Les flux annuels moyens des 10 dernières années allant directement vers les mers métropolitaines atteignent 607 000 tonnes d'azote, dont 433 000 tonnes sous forme de nitrate. Les apports de phosphore total représentent 41 600 tonnes dont les 2/3 environ sous forme soluble. Les flux allant vers les pays limitrophes

### OSPAR

La Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est a été ratifiée par toutes les parties contractantes entre 1992 et son entrée en vigueur en 1998, remplaçant ainsi les Conventions d'Oslo et de Paris (d'où son nom), sans en abroger les anciennes obligations. Les parties contractantes se sont engagées en 1987 à réduire de 50% leurs apports de nutriments et de substances dangereuses au milieu marin entre 1985 et 1995.

La connaissance des apports au milieu marin est un des points clés de plusieurs commissions spécialisées : INPUT (apports au sens strict), ETG (eutrophisation), PDS (sources ponctuelles et diffuses) et accessoirement SIME (teneurs et tendances). Tout particulièrement le projet RID (riverine input discharge) harmonise les informations produites par les parties contractantes en vue de leur comparaison.

La comparabilité entre les productions des parties contractantes est une préoccupation constante. Un groupe de travail HARP (harmonisation of procedures), d'initiative norvégienne définit, avec l'aide de nombreux experts, dont l'Ifen, des recommandations pour atteindre cet objectif. ([www.ospar.org](http://www.ospar.org))

par les rivières transfrontalières sont de 39 700 tonnes d'azote par an (dont 28 900 tonnes sous forme de nitrate), portant l'ensemble des flux à environ 646 700 tonnes d'azote, dont 461 900 tonnes sous forme de nitrate. Le total en phosphore atteint 44 000 tonnes.

Ces chiffres sont une première estimation car les séries de mesures sont incomplètes. Le détail des apports par façade montre toutefois que les petits fleuves ont une contribution globalement importante, et localement déterminante, à l'eutrophisation du milieu marin côtier.

### Couverture territoriale des calculs de flux

	Mer du Nord et transfrontalières	Manche	Atlantique	Méditerranée	Ensemble
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	91 277*	107 417	250 075	120 379	569 149
Aire calculée (km <sup>2</sup> )	73 424	95 033	221 197	118 334	507 988
<i>dont grands fleuves</i>	75,1%	74,6%	81,6%	82%	79,5%
Nb de cours d'eau pris en compte	11	39	23	18	91
Population totale (millions d'habitants)	16,3*	18,2	17,2	14,6	66,2
Population prise en compte (millions hab)	13,1	16,3	12,7	11,2	53,3
<i>dont sur bassins versants grands fleuves</i>	76%	89,2%	80%	79,4%	81,7%

(\*) dont Rhin : 55 155 km<sup>2</sup> et 9 982 515 habitants

Source : Ifen, banque Hydro, BNDE, calculs Beture-Cerec

**QUELQUES CHIFFRES DE RÉFÉRENCE**

L'interprétation des résultats fait appel à quelques ratios simples. En faisant l'hypothèse généralement acceptée que la fraction nitrate de l'azote provient majoritairement des pertes agricoles, on a exprimé les flux correspondants en kg par hectare et par an, dont l'ordre de grandeur en grandes cultures est 10-15 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an. Les cultures apportent très peu de phosphore, ce qui n'est pas le cas si les animaux sont nombreux.

Le phosphore provient principalement des rejets urbains et industriels, et un ratio aux alentours de 2-3 g P/habitant et par jour donne une indication d'une origine vraisemblablement domestique. Ces rejets apportent aussi de l'azote organique.

On peut donc cibler rapidement les origines en considérant à la fois les quantités unitaires et les ratios N-total/P. Par exemple, celui-ci est d'autant plus élevé et éloigné de celui des effluents domestiques (4 à 8) que l'azote a davantage pour origine les pertes des grandes cultures.

Les ratios d'émission moyens par façade maritime se situent entre 2 et 3,9 g de phosphore par habitant et par jour. Les pertes d'azote (calculées seulement sur la fraction nitrate) varient dans une gamme de 8,4 à 14,3 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an. Le bassin du Rhin se distingue par des valeurs plus basses.

**Façade de la Manche**

Le littoral de la Manche s'étend de Calais au nord de Brest. Le flux du bassin de la Seine est calculé à partir de deux points (Seine à l'écluse de Poses et Eure).

Les apports en azote du bassin de la Seine (129 000 t/an) constituent l'essentiel des apports de cette façade (72%), mais seulement 64% du flux de nitrate. Le flux de phosphore, 10 100 t/an (85% du total) correspond à la forte urbanisation du bassin. La faible fraction soluble du phosphore (44%) indique qu'une importante partie a été stockée dans les sédiments des cours d'eau. L'azote nitrique (11,6 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an), le phosphore (1,9 g par habitant et par jour) et le ratio N/P de 13 sont cohérents avec un bassin de grandes cultures où vit aussi une population nombreuse.

En revanche, pour la Bretagne nord et la Normandie, on trouve des apports à l'hectare respectivement de 33,0 et 17,7 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an. Les flux de phosphore y sont faibles dans l'absolu, mais les valeurs par habitant, respectivement de 2,5 et 4,0 g/hab/jour, ainsi que les ratios N/P de 48 à 25 indiquent nettement la superposition d'apports urbains, agricoles et d'élevage.

**Golfe de Gascogne**

Entre Brest et la frontière espagnole, les deux grands systèmes fluviaux, la Loire et la Gironde (cette dernière estimée à partir de trois points de calcul) apportent respectivement 128 000 et 75 300 tonnes d'azote, soit ensemble 71% du total de la façade. Les pourcentages d'azote nitrique, respectivement 73% et 74%, suggèrent une prépondérance agricole de type grande culture. La Loire, avec 8,3 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an, est légèrement plus chargée que la Gironde, avec seulement 8,1 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an.

Le flux de phosphore des deux fleuves est estimé à 15 600 t/an, avec une proportion sous forme soluble de 67% pour la Loire (3,1 g/hab/jour) et seulement 48% pour la Gironde. Pour ce dernier fleuve, le ratio de 6,4 g/hab/j devra être confirmé par des calculs sur les rejets polluants. Les données disponibles y sont peu nombreuses. La forte fraction particulaire devra également y être précisée, en raison notamment de la forte turbidité des eaux.

**Méditerranée**

Les données obtenues pour cette façade comportent de nombreuses lacunes, tant en ce qui concerne la chimie que les débits. Par ailleurs, les événements de crue, qui peuvent charrier en quelques jours une charge équivalente au total de plusieurs années d'apports, sont particulièrement mal documentés. Les résultats sont donc à considérer comme des premières indications, susceptibles d'être largement affinées dans les calculs qui seront réalisés au cours des prochaines années.

Le Rhône apporte 91% des 153 190 tonnes d'azote, à 64% sous forme de nitrate. La charge à l'hectare est également notable, avec 9,3 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an pour le Rhône, ce qui la met néanmoins largement en dessous des chiffres des bassins où se font des grandes cultures.

Dans les autres bassins, Languedoc, Provence et surtout Corse, les apports

**Flux d'azote et de phosphore par façade maritime et ratios d'émissions**

	Nombre de cours d'eau	Azote total		Phosphore total	Ratios	
		t/an	dont nitrate t/an		t/an	gP/hab/j
Manche	39	179 100	125 000	11 942	2,0	13,2
Atlantique	23	266 800	203 500	17 175	3,9	9,7
Méditerranée	18	153 190	98 820	11 940	2,9	8,4
Mer du Nord française	6	7 680	5 600	500	3,1	23,5
Ensemble	86	606 770	432 920	41 557	2,8	9,9
Transfrontaliers (sauf Rhin)	4	39 700	28 900	2 400	2,4	13,3
Rhin	1		11 962	944	0,3	2,2

Source : Ifen, banque Hydro, BNDE, calculs Bature-Cerec

Les autres fleuves de la façade atlantique contribuent notablement aux tonnages émis.

L'azote nitrique est prépondérant là où l'activité agricole est marquée. Les fleuves côtiers de la Bretagne sud et les autres rivières du Golfe de Gascogne (Adour exclu) apportent ensemble 63 500 t/an d'azote, à 85% sous forme de nitrate, soit une charge presque aussi élevée que la Gironde, pour une superficie drainée bien moindre.

De ce fait, les pertes à l'hectare, dans une fourchette de 13,7 à 26,7 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an, avec des ratios N/P très élevés, de 35 à 43, prouvent sans équivoque l'origine majoritairement agricole des flux correspondants.

s'approchent des valeurs naturelles, avec en moyenne 2,3 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an.

S'agissant enfin du phosphore, la contribution du Rhône devient moins importante. Sur les 11 940 tonnes annuelles, il n'en apporte que 68%, le reste provenant des rivières à l'ouest de son embouchure.

Les rivières provençales et de la Corse apportent à peine 450 t/an.

L'origine des flux des rivières languedociennes est obscur ; le flux rapporté aux habitants est en effet de 8,8 g/hab/jour, mais le ratio N/P est seulement de 3. Cette relative discordance peut provenir d'une origine non domestique prépondérante ou plus simplement de l'insuffisance des données.

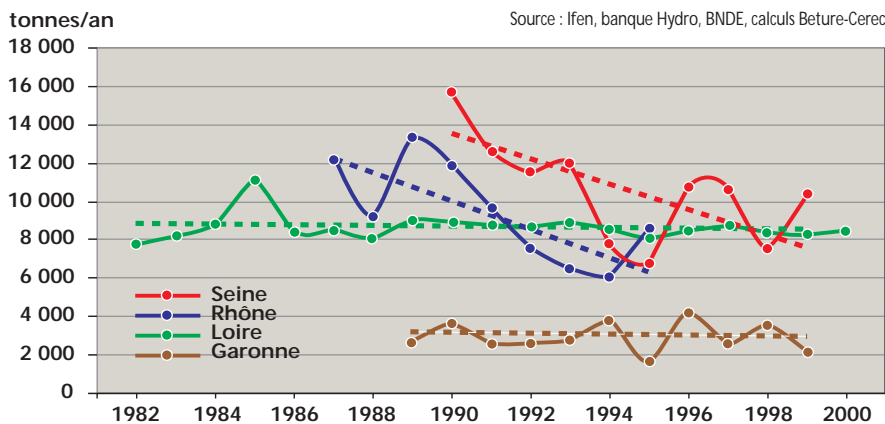
## Mer du Nord, Rhin et transfrontaliers

La façade de mer du Nord proprement dite s'étend de Calais à la frontière belge, mais les autres rivières transfrontalières y aboutissent également, après avoir d'abord traversé la Belgique ou l'Allemagne. Le Rhin est compté à part car son flux ne pro-

nitrique a pu être évaluée à une moyenne de 12 000 t/an, soit 13,3 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an. Les flux de phosphore sont en revanche nettement inférieurs : 944 t/an, ce qui donne un ratio par habitant de 0,3 g/jour. La qualité des données semblant très correcte, ce ratio très bas ne peut qu'être imputé aux faibles apports domestiques en phosphore (il est absent des détergents ménagers) et à

diminution ou en stagnation, alors que ceux majoritairement agricoles sont en stagnation ou en augmentation marquée. Les flux, même normalisés, présentent des variations considérables d'une année sur l'autre. Cette variabilité, expliquée par l'hydrologie et le mode d'alimentation des cours d'eau, complique l'estimation de l'atteinte des objectifs de réduction des pollutions : elle peut être largement supérieure au changement à moyen terme. Les séries incomplètes, comme l'absence de débits sur le Rhône depuis 1995, interdisent un calcul national d'évolution.

### Flux de phosphore total



vient pas que de France, loin s'en faut. Les apports directs en mer sont faibles en valeur absolue car l'aire drainée calculée est seulement de 2 379 km<sup>2</sup>. Toutefois, les concentrations sont élevées. Ces rivières apportent 7 680 t/an d'azote dont 5 600 d'azote nitrique à raison de 23,5 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an. Les apports de phosphore, de l'ordre de 500 t/an, présentent des ratios par habitant particulièrement hétérogènes. Les rivières transfrontalières apportent, de leur côté, 39 700 t/an d'azote, à 73% sous forme de nitrate. Alors que les apports de nitrate à l'hectare sont dans une fourchette assez étroite, en moyenne de 13,3 kg N-NO<sub>3</sub>/ha/an, les flux de phosphore sont étroitement centrés sur 2,4 g/habitant/jour, pour un total de 2 400 t/an. Le Rhin, dont le débit est très élevé, dans la gamme de 1 000 à 1 500 m<sup>3</sup>/s en moyenne, apporte un flux d'azote dont seule la forme

la déphosphatation des effluents en Suisse et en Allemagne.

### Les tendances

Les tendances ne peuvent être calculées que sur des cours d'eau suivis depuis longtemps et sur les flux normalisés (cf. p 4). Les quatre grands fleuves français montrent des comportements très différents. Alors que la Loire et la Seine ont des flux d'azote nitrique qui croissent de 1 400 t/an chacun, les flux du Rhône et de la Garonne sont relativement stables.

La Loire et la Garonne présentent des flux de phosphore total stables, alors que la Seine et le Rhône connaissent des flux décroissants respectivement de 560 et 680 t/an. La diminution des flux en phosphore s'accompagne d'une baisse parfois spectaculaire des flux d'azote ammoniacal. Sur la Seine, ils sont passés de 30 000 à 10 000 t/an entre 1990 et 2000 soit une diminution de flux de 2 500 t/an. Le Rhône et la Garonne ont également des diminutions plus modestes, respectivement de 360 et 160 t/an et par année, ramenant les émissions annuelles de ces deux rivières à 6 000 et 1 500 t/an. Seule la Loire, paradoxalement, présente des flux d'ammonium stables à hauteur de 2 200 t/an, représentant peut-être un plancher : les flux majoritairement d'origine urbaine sont en

diminution ou en stagnation, alors que ceux majoritairement agricoles sont en stagnation ou en augmentation marquée. Les flux, même normalisés, présentent des variations considérables d'une année sur l'autre. Cette variabilité, expliquée par l'hydrologie et le mode d'alimentation des cours d'eau, complique l'estimation de l'atteinte des objectifs de réduction des pollutions : elle peut être largement supérieure au changement à moyen terme. Les séries incomplètes, comme l'absence de débits sur le Rhône depuis 1995, interdisent un calcul national d'évolution. L'objectif de réduction des apports dans la zone OSPAR est de 50% entre 1985 et 1995. Bien que la période de référence, 1985, soit mal documentée et donc sous-évaluée, il a été possible de l'approcher pour les façades relevant de la Convention OSPAR à une valeur maximale de 200 000 t/an. Il faut constater que le total des émissions en 1999 (environ 375 000 t) est plus proche du double de la référence estimée que de sa moitié. La tendance encore observée à l'accroissement des flux normalisés sur les bassins de la Seine et de la Loire ne permet pas de donner une échéance envisageable pour l'atteinte de l'objectif.

### Les perspectives

Les méthodes développées par l'Ifen permettent désormais d'appréhender les flux annuels de nutriments. Le calcul des flux de micropolluants métalliques et organiques requiert une évaluation précise du flux des sédiments qui constituent un piège pour les micropolluants. Les premiers calculs de flux de sédiments réalisés parallèlement à ceux des nutriments montrent que 9,5 millions de t/an de matières en suspension sont évacuées en mer. En ajoutant les cours d'eau transfrontaliers, le total atteint 10 millions de t/an, avec des apports allant de 3,5 t/km<sup>2</sup>/an (Rhin) à 56,6 t/km<sup>2</sup>/an (côtières languedociennes). L'Ifen participe à l'étude européenne EUROSION, lancée en 2002, afin d'améliorer la connaissance des flux sédimentaires pour une meilleure compréhension de l'érosion du littoral. Ces travaux devraient également permettre une évaluation correcte des flux de micropolluants.

### Flux de matières en suspension évacuées en mer

Moyennes sur 10 ans par façade	Nombre de cours d'eau	MES t/an	Ratios t/km <sup>2</sup> /an
Manche	39	1 040 000	10,9
Atlantique	23	5 240 000	16,5
Méditerranée	18	3 250 000	44,3
Mer du Nord française	3	17 900	9,6
<b>Ensemble</b>	<b>83</b>	<b>9 547 900</b>	<b>15,4</b>
Transfrontaliers (hors Rhin)	4	335 000	15,4
Rhin	1	193 000	3,5

Source : Ifen, banque Hydro, BNDE, calculs Bature-Cerac

#### POURQUOI CALCULER DES FLUX ?

- L'eutrophisation du milieu marin est due aux apports continentaux d'azote et accessoirement de phosphore, dont l'essentiel des tonnages est véhiculé par les fleuves. Il est donc primordial de connaître les quantités et leur évolution. La connaissance de ces quantités, et surtout de leurs différentes composantes, va permettre :
- d'évaluer l'étendue du problème (qu'est-ce qui provient de la terre ?),
  - de partager les responsabilités (agriculture, industrie, urbanisation, etc.) en relation avec les calculs des émissions polluantes,
  - de savoir si les politiques de réduction des apports mises en place sont efficaces.

## Riverine fluxes : too much nitrogen, but less phosphorus

Riverine fluxes of nutrients and suspended solids have been computed for the first time over 90 rivers discharging into the seas or transboundary and the river Rhine. Average yearly outputs from French rivers are 646,000 tons of nitrogen (71% as nitrate), 43,800 tons of phosphorus and 9.8 million tons of suspended solids.

The analysis of results shows good consistency between yearly averages and reference ratios (p capita-1 day-1, n ha-1 y-1 and N/P). Detailed discussion is presented per maritime district. Ammonia-N and phosphorus inputs that principally come from urban and industrial discharges significantly

decreased over the past ten years. By contrast, nitrate inputs from two major catchments (the Seine and the Loire) are still increasing. Hence, it is unlikely that the OSPAR goal of 50% reduction with respect to 1985 standardized discharge could be achieved in the short term for nitrate in these catchments. ■

## Méthodologie

### Définitions

Un flux est la quantité de matière émise par une rivière pendant un temps donné. On calcule donc un flux en multipliant le débit liquide (m<sup>3</sup>/s) par la concentration de la substance dans la colonne d'eau (mg/l).

### Gestion des données

Le calcul des flux devient rapidement complexe dans sa réalisation par suite des manques de données. Les valeurs de débit sont en principe journalières, ce qui est parfois insuffisant pour de petits cours d'eau méditerranéens. Par ailleurs, les séries peuvent être discontinues ou incomplètes : aucune chronique postérieure à 1995 n'est disponible sur le Rhône aval.

Pour calculer les flux avec précision, il faudrait disposer de données chimiques nombreuses pendant les périodes de fort débit, car c'est à ces moments que le tonnage transitant est maximum. Toutefois, la plupart des réseaux de mesure privilégient les périodes d'étiage car c'est à ces périodes que le risque de concentration élevée, signe de mauvaise qualité, est le plus grand.

Dans la plupart des cas, seule une mesure mensuelle est réalisée en un point qui n'est pas nécessairement le point de mesure du débit. De ce fait, la méthode de calcul doit pallier les manques de données et gérer des localisations différentes. La précision des résultats dépend de la fréquence des mesures. Elle est bonne là où la fréquence de mesure est doublée en hiver, les résultats sont plus erratiques là où les mesures hivernales ne sont faites qu'un mois sur deux.

Les séries présentant des données manquantes sont complétées par corrélation avec des stations proches et avec le débit ou, à défaut, par interpolation. Ensuite, la saisonnalité des concentrations mesurées est testée de manière à obtenir par interpolation des couples débit-concentration au pas de temps journalier. Les résultats sont ensuite agrégés mensuellement et annuellement. Si cette méthode s'avère inapplicable, un

calcul dégradé par corrélation flux-débit est appliqué. Dans ce cas, on ne peut calculer qu'un flux moyen sur la période de corrélation. Dans certains cas enfin, aucun calcul ne peut être conduit.

### Réalisation

Les calculs ont été effectués par la Sté Beture-Cerec. Sur un total de 140 cours d'eau examinés, 79,5% ont pu être traités avec les données des 10 dernières années pour le cortège azoté (nitrate, ammonium, nitrite, azote organique), le phosphore dissous et particulaire et les matières en suspension. Compte tenu des années non calculables par manque de mesures, on dispose finalement de 875 années-stations de résultats mensuels pour lesquelles un ou deux paramètres peuvent manquer, dont 721 années-stations complètes, sur un maximum possible de 910 années-stations.

### Interprétation

Les moyennes interannuelles ont été calculées sur les années communes au plus grand nombre de cours d'eau.

Pour évaluer l'évolution dans le temps, on a utilisé les flux annuels normalisés, c'est-à-dire corrigés des variations interannuelles du débit, selon la procédure définie dans les "lignes directrices" d'OSPAR.

### Sources

Les débits proviennent de la banque "Hydro", les concentrations ont été fournies par la BNDE (réseaux nationaux de bassin), complétées de données spécifiques recueillies par le chargé d'étude. Les chiffres de population proviennent du recensement de 1999, cumulées par bassin versant, selon la méthodologie EuroWaternet développée par l'Ifen.

### Bibliographie

Ærtebjerg, G., Carstensen, J., Dahl, K., et coll., 2001. Eutrophication in Europe's coastal waters. Topic Report n° 7/2001. Luxembourg. European Environment Agency. 120 pages.

## VIENT DE PARAÎTRE

- "Les chiffres-clés de l'environnement".

Edition Ifen, janvier 2002. Gratuit, s'adresser au service des éditions de l'Ifen (diffusion@ifen.fr).

- "Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1969-2000" - Environmental issue Report n°22. Edition Agence européenne pour l'environnement (2001).

## A PARAÎTRE

- "10 ans de flux de nutriments des fleuves de France" - Texte et CD-rom interactif de l'ensemble des résultats. Etudes et travaux de l'Ifen (parution prévue au printemps 2002).

**L'ifen** élabore et diffuse documentations et informations scientifiques et statistiques sur l'environnement. Pour remplir sa mission, il s'appuie sur un important réseau de partenaires : services statistiques de l'Etat, établissements publics scientifiques et organismes spécialistes de l'environnement.

## Les données de l'environnement

La lettre thématique mensuelle de l'Institut français de l'environnement  
Abonnement : 8 numéros, 100 F (15,24 €)

61, boulevard Alexandre Martin

45058 Orléans Cedex 1

Tél : 02 38 79 78 78 Fax : 02 38 79 78 70

E-mail : ifen@ifen.fr Web : http://www.ifen.fr

Directeur de la publication

Vincent Jacques le Seigneur

Rédactrice en chef

Marie-Paule Maillet (service des éditions)

Auteurs

Philippe Crouzet (Ifen) Guillaume Le Gall (Beture-Cerec), Michel Meybeck (Université Paris VI)

Equipe de rédaction

Pascale Babilot, Jacques Thorette, Bernard Nanot (Ifen), Philippe Maire (MATE/DE)

Traduction

Philippe Crouzet

Maquette-Réalisation

BL Communication

Dépôt légal

ISSN 1250-8616

N° CPPAP 8-3086