PRESSIONS ET IMPACTS

MANCHE - MER DU NORD

PRESSIONS ET IMPACTS

MANCHE - MER DU NORD

JUIN 2012

PRESSIONS CHIMIQUES ET IMPACTS ASSOCIÉS

Enrichissement en nutriments et en matière organique

Apports fluviaux en nutriments et en matière organique

Aurélie Dubois (Medde/CGDD/SOeS, Orléans),
Xavier Bourrain (Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans),
Claude Brannellec
avec les contributions internes de
Jacques Lesavre,
François Lamy,
Olivier Blot,
Franck Bruchon
et A. Lequien (Agence de l'eau Seine-Normandie, Honfleur).

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
Agence des aires marines protégées
Ifremer

Il n'existe pas de réseau de surveillance dédié spécifiquement à l'évaluation des flux ; par conséquent l'évaluation des flux se fait de manière détournée, en croisant les données de débit des réseaux hydrométriques et les données qualité du Réseau National de Bassin (RNB) puis de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

Cela engendre des disparités dans les données (données manquantes, localisations différentes des stations de débit et de qualité etc.), ce qui rend difficile l'analyse comparative des apports fluviaux entre bassins.

Dans cette synthèse, les apports fluviaux en nutriments et matière organique sont estimés selon deux méthodes :

- Partie I : des flux évalués selon le protocole adopté par la convention internationale OSPAR[1] et exploités par le SOeS (Service de l'Observation et des Statistiques) ; le protocole permet également d'estimer les apports fluviaux en matières en suspension (MES) ;

- Partie II : des flux évalués selon les modèles SENEQUE et PEGASE et entrepris par les Agences de l'eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne ; ces modèles permettent également d'estimer les flux en carbone total. Pour le bassin Artois-Picardie, les flux seront prochainement mesurés par des stations automatiques ou estimés à partir de mesures de débit et de concentration aux estuaires.

Les deux approches sont sensiblement différentes mais complémentaires. Pour OSPAR, les apports fluviaux sont évalués sur la base d'un découpage de la façade en zones hydrographiquement homogènes. Les apports de chacune de ces zones sont sommés pour évaluer le flux total sur la sous-région marine (Partie I). Les estimations des flux issues des simulations numériques sont réalisées à l'échelle des bassins versants (Partie II).

Les deux méthodes sont comparées à la fin de cette synthèse (Partie III).

1 Site de la commission OSPAR : http://www.ospar.org

1. PARTIE I – ESTIMATION DES FLUX À LA MER D'APRÈS LA MÉTHODE OSPAR

1.1. MÉTHODOLOGIE

1.1.1. Méthode d'évaluation des apports fluviaux

Ce document dresse un état des estimations faites à ce jour des flux véhiculés par les cours d'eau, à la mer, en Manche-mer du Nord [1]. Ces flux sont évalués tous les ans dans le cadre de la convention internationale OSPAR. Celle-ci prévoit en effet d'« évaluer avec autant de précision que possible l'ensemble des apports fluviaux et directs annuels de polluants sélectionnés aux eaux de la Convention » dans le cadre de son programme « Riverine Inputs and Direct Discharges (RID) ».

Conformément aux principes édictés par OSPAR [2], l'évaluation des apports fluviaux en Manche-mer du Nord, correspondant à la région II d'OSPAR, est basée sur un découpage en 22 zones d'étude (Tableau 1). Ces zones ont été définies sur la base de critères hydrographiques à l'aide de la BD Carthage[2] : ce sont des zones homogènes, hydrologiquement indépendantes les unes des autres. Les cours d'eau de ces zones sont ensuite classés selon l'importance des flux qu'ils représentent. On distingue ainsi :

- les rivières principales, cours d'eau dont les flux sont importants et qui nécessitent un suivi détaillé ;
- les cours d'eau secondaires, dits « tributaires » ;
- les zones d'apport diffus, sans cours d'eau prépondérant.

Sur chacun des cours d'eau identifiés, des stations de qualité et de débit ont été choisies de manière à disposer des chroniques les plus longues possibles, tout en respectant les principes édictés par OSPAR [2], à savoir de disposer de stations le plus en aval possible, non influencées par la marée. En cas d'indisponibilité, des stations de remplacement peuvent être choisies, sur la base des mêmes critères.

Les flux sont calculés à l'aide du logiciel RTrend© fourni par la Commission, à partir des données de débit des DREAL (centralisées par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations, SCHAPI[3]) et des données de qualité collectées auprès des agences de l'Eau[4]. Pour cela, les débits sont extrapolés si nécessaire à la station qualité, *via* les surfaces de bassins versants associés. Les flux massiques sont ensuite calculés à la station qualité, selon des formules adaptées au nombre d'analyses disponibles. Concernant les analyses non quantifiées, la commission OSPAR propose de calculer les flux de deux façons : soit en considérant ces analyses comme nulles, estimation basse, soit en considérant ces analyses comme égales aux limites de quantifications associées, estimation haute. Le flux « réel » se situe alors entre ces deux estimations.

Les contributions des zones « d'apport diffus » sont estimées par rapprochement avec des zones drainées par un cours d'eau significatif, comparables sur des critères d'occupation des sols.

1.1.2. Présentation du découpage de la sous-région marine Manche-mer du Nord

La sous-région marine Manche-mer du Nord correspond en France à un bassin de 119 120 km², soit 20 % environ du territoire métropolitain. 20 millions de personnes y vivent. L'occupation des sols selon Corine Land Cover[5] est marquée par une forte activité agricole mais également par des zones urbaines densément peuplées. La part des espaces naturels y est faible.

22 zones d'apport y ont été identifiées, avec des surfaces de bassins versants variables, comme le montre la figure 1. La plus importante correspond à la Seine, considérée comme le seul fleuve principal de cette sous-région. La Seine draine à elle seule un peu plus de la moitié de la surface du bassin de cette sous-région – 54 % – et 70 % de la population vit dans son bassin versant.

2 Base de Données sur la Cartographie Thématique des Agences de l'Eau et du ministère de l'environnement.
3 Portail de la banque de données hydrologiques : http://www.hydro.eaufrance.fr
4 Portail des agences de l'eau : http://lesagencesdeleau.fr
5 http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/li/1825.html

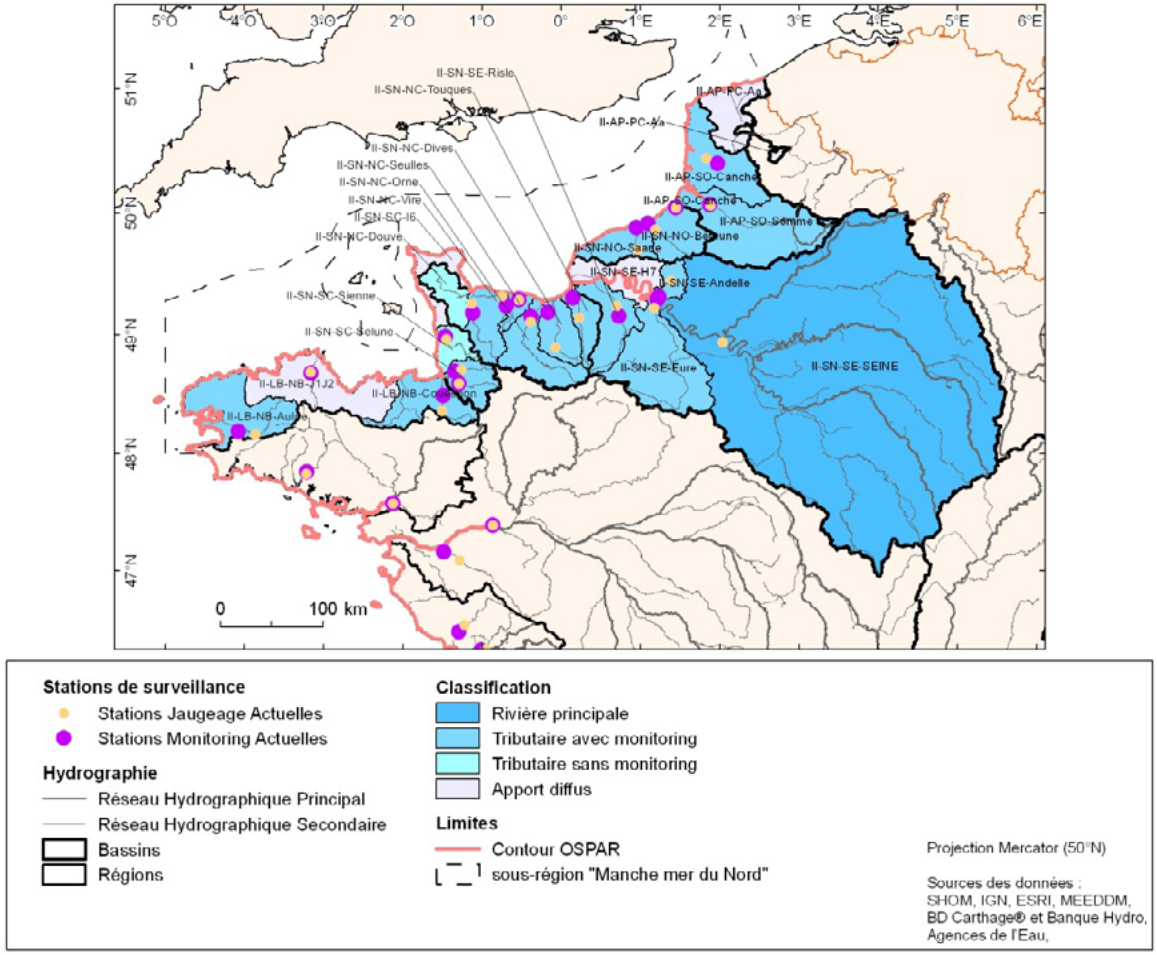

Figure 1 : Découpage des zones d'apport à la sous-région marine Manche-mer du Nord (Sources : SHOM, IGN, ESRI, Ministère en charge de l'environnement, BDCarthage, Banque Hydro, Agences de l'eau, SOeS, 2010).

Les flux de ces 22 zones d'apport sont calculés et estimés à l'aide de 21 stations de débit et de surveillance physico-chimique (Tableau 1).

Nom de la zone	Typologie de la zone	Surface de la zone (km^2)	% suivi	Débit en 2009 ($1000\ m^3 \cdot j^{-1}$)
II-AP-PC-Aa	Apport diffus	2 308	0 %	2 430
II-AP-SO-Canche	Tributaire	3 895	24 %	4 101
II-AP-SO-Somme	Tributaire	5 916	95 %	3 209
II-SN-NO-Bethune	Tributaire	2 153	84 %	3 774
II-SN-NO-Saane	Tributaire	1 718	18 %	1 293
II-SN-SE-SEINE	Rivière principale	64 953	100 %	27 246
II-SN-SE-Andelle	Tributaire	789	96 %	598
II-SN-SE-Eure	Tributaire	6 023	100 %	1 380
II-SN-SE-H7	Apport diffus	2 439	0 %	1 023
II-SN-SE-Risle	Tributaire	2 545	55 %	1 111
II-SN-NC-Dives	Tributaire	1 815	7 %	646
II-SN-NC-Douve	Tributaire sans surveillance	1 474	56 %	525
II-SN-NC-Orne	Tributaire	2 976	84 %	2 054
II-SN-NC-Seulles	Tributaire	547	49 %	391
II-SN-NC-Touques	Tributaire	1 311	92 %	774
II-SN-NC-Vire	Tributaire	2 077	56 %	6 543
II-SN-SC-I6	Apport diffus	1 302	0 %	899
II-SN-SC-Selune	Tributaire	1 623	71 %	578
II-SN-SC-Sienne	Tributaire	1 135	47 %	3 575
II-LB-NB-Aulne	Tributaire	4 312	35 %	7 418
II-LB-NB-Couesnon	Tributaire	2 848	33 %	1 970
II-LB-NB-J1J2	Apport diffus	4 961	9 %	3 432

Tableau 1 : Typologie des zones de la sous-région Manche-mer du Nord, du nord au sud.

1.2. ÉVOLUTION DES APPORTS FLUVIAUX DE NUTRIMENTS

1.2.1. Apports fluviaux d'azote

Les apports en matières azotées d'origine agricole sont prédominants par rapport aux autres sources d'apports (industries, collectivités) dans la sous-région Manche-mer du Nord (voir la contribution thématique « Analyse des sources directes et chroniques en nutriments et matière organique »). La mise en conformité des stations d'épuration au titre de la Directive ERU[6] a permis et va permettre de réduire encore les apports d'azote issus des rejets urbains.

La disponibilité des données de l'azote total ne permet pas de présenter la série des flux correspondants depuis 1999. Mais ils sont principalement liés aux nitrates : en 2009 ces derniers représentaient sur cette zone 87 % du flux d'azote total qui s'élevait à 166 kt·an^{-1} en estimation haute. Les flux d'azote seront donc étudiés *via* les flux liés aux nitrates, principalement d'origine agricole, complétés par ceux liés à l'ammonium.

1.2.1.1. Apports fluviaux d'azote liés aux nitrates

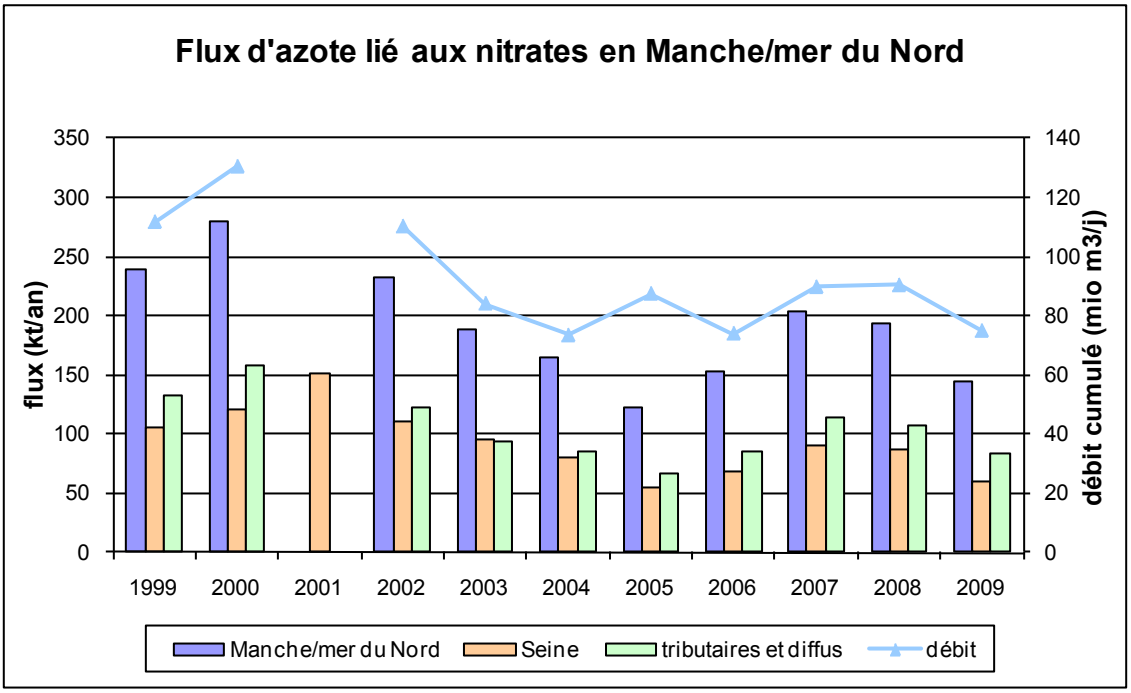

Figure 2 : Évolution des apports fluviaux d'azote dû aux nitrates en Manche-mer du Nord depuis 1999 (Sources : Banque Hydro, Agences de l'eau, SOeS, 2010).

L'apport d'azote lié aux nitrates est très sensible aux variations de débit (figure 2). Ainsi, 75 % de l'évolution des flux est explicable par celle des débits. On observe entre 2000 et 2005 une baisse des flux liée à la baisse de pluviométrie sur la même période. Les flux augmentent de nouveau à partir de 2005, puis diminuent depuis 2008 en lien avec une pluviométrie moindre pour s'établir dans la sous-région Manche-mer du Nord entre 150 et 200 kt·an^{-1} (figure 2).

Alors que les apports des bassins versants ne sont pas tous « connus », les « tributaires » cumulés aux zones d'apport diffus contribuent un peu plus que la Seine au flux d'azote lié aux nitrates. Pourtant, les surfaces agricoles, telles que définies par la base Corine land Cover, sont du même ordre de grandeur dans leurs bassins versants respectifs (44 000 km² pour la Seine, 45 000 km² pour les tributaires et diffus). La part de la Seine au flux total d'azote lié aux nitrates est d'ailleurs en légère diminution depuis 2003, passant de 51 à 42 %. Ces évolutions peuvent toutefois être également liées aux variations interannuelles du régime des eaux et au phénomène delessivage des sols.

6 Directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.

1.2.1.2. Apports fluviaux d'azote liés à l'ammonium

Les apports d'azote liés à l'ammonium sont 35 fois inférieurs en moyenne à ceux liés aux nitrates (4,1 kt contre 145,1 kt en 2009).

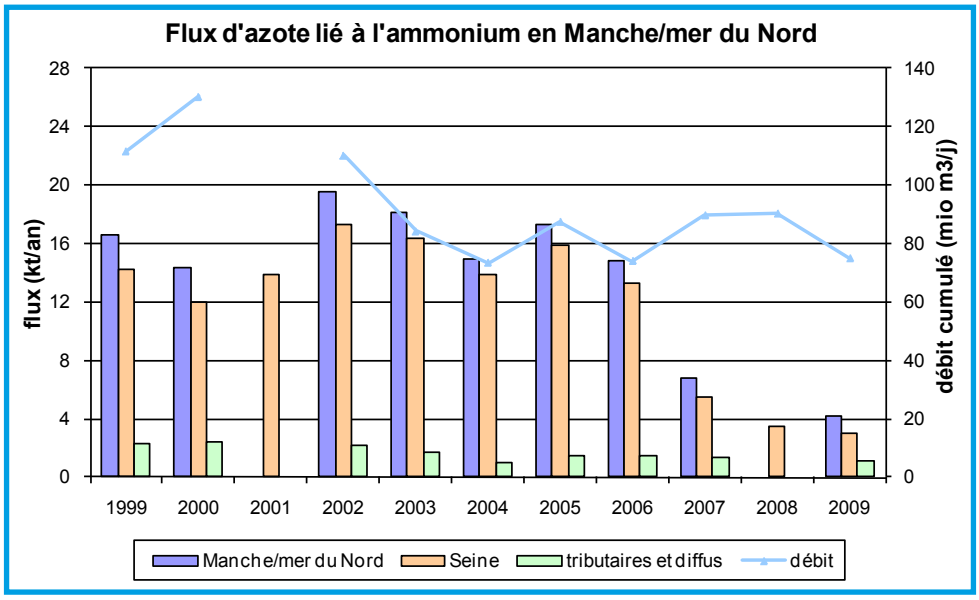

Figure 3 : Évolution des apports fluviaux d'azote dû à l'ammonium en Manche-mer du Nord depuis 1999 (Sources : Banque Hydro, Agences de l'eau, SOeS, 2010).

Le flux d'ammonium, plutôt d'origine urbaine, est en nette baisse depuis 2005, mais cette baisse concerne majoritairement la Seine, qui est largement prédominante sur le flux d'azote lié à l'ammonium : 80 à 90 % du flux total (figure 3). Son bassin versant est en effet densément peuplé : 215 habitants·km^{-2} contre 169 en moyenne sur l'ensemble de la sous-région Manche-mer du Nord, soit 14 millions d'habitants sur 20 millions au total. Cette diminution, sans rapport avec celle des débits, peut s'expliquer par une amélioration du dispositif de traitement des eaux des agglomérations parisienne et rouennaise (STEP Emeraude). La mise en service du traitement complet de l'azote sur la station de traitement des eaux usées Seine aval du SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne) va permettre de réduire de manière significative les flux d'ammonium de la Seine d'ici 2012. En zone rurale, les actions du programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole ont pu également contribuer à la baisse des apports fluviaux liés à l'ammonium, par une meilleure gestion des rejets en zone d'élevage.

1.2.2. Apports fluviaux de phosphore

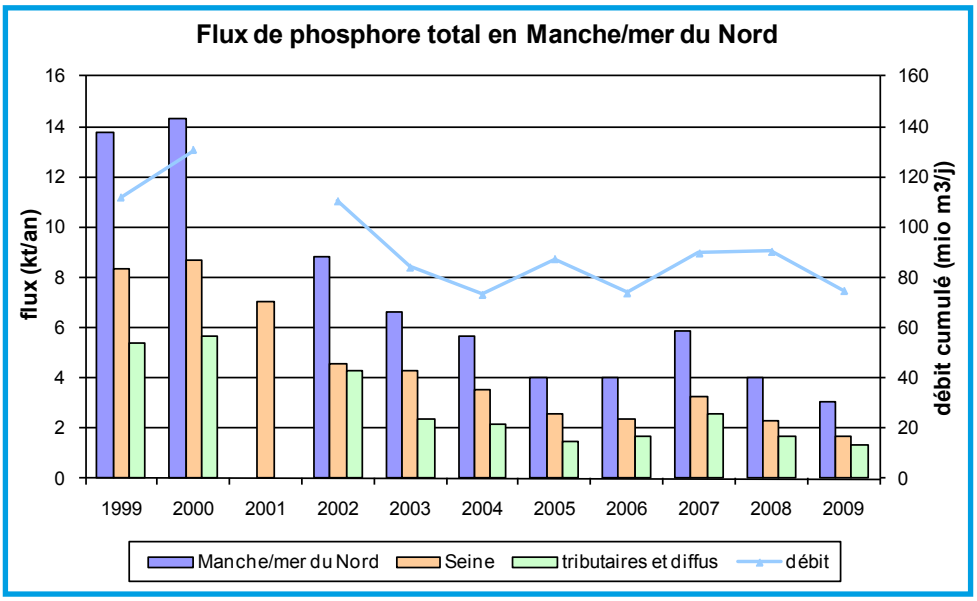

Figure 4 : Évolution des apports fluviaux de phosphore total en Manche-mer du Nord depuis 1999 (Sources : Banque Hydro, Agences de l'eau, SOeS, 2010).

Les flux de phosphore ont nettement chuté depuis 1999 : de l'ordre de - 80 % pour le phosphore total (figure 4). Le flux de phosphore total de la Seine a ainsi diminué de moitié entre 2000 et 2002, puis a été divisé par trois ensuite, principalement en raison de la mise en service d'une unité de traitement du phosphore sur la station d'épuration Seine aval (qui couvre une part importante de l'agglomération parisienne) et sur celle de Rouen (STEP Emeraude). L'interdiction de la commercialisation et de l'utilisation des phosphates dans les lessives domestiques explique également cette diminution. Cette mesure permet en effet de diminuer d'un peu plus de 20 % la charge en phosphore à traiter par les stations d'épuration. Par ailleurs, la réduction d'utilisation d'engrais phosphatés initiée depuis les années 1980 sur la majorité des surfaces drainées de cette zone pourrait également expliquer dans une moindre mesure cette baisse.

Ces quatre dernières années, le flux de phosphore total est de 4 $kt \cdot an^{-1}$ en moyenne. La Seine et les tributaires contribuent pour ce paramètre dans des proportions comparables aux surfaces de leurs bassins versants respectifs.

1.3. ÉVOLUTION DES APPORTS FLUVIAUX DE MATIÈRES EN SUSPENSION

Les flux de matières en suspension (MES) montrent de fortes variations interannuelles (figure 5), dépendantes des débits, les plus fortes valeurs étant observées en années humides, marquées par des pluies et des crues érosives importantes. Les résultats des réseaux de mesures ponctuelles utilisés pour la présente évaluation ne rendent compte que de manière partielle de ce transit particulaire. De plus, à l'interface terre-mer, le flux est fortement influencé par les marées en zone estuarienne, d'autant plus que ces zones sont par ailleurs souvent très artificialisées, entraînant sédimentation, piégeage dans le bouchon vaseux, aménagement hydraulique, dragage... Cette incidence porte peu ou prou sur tous les paramètres et en premier lieu sur ceux associés aux MES.

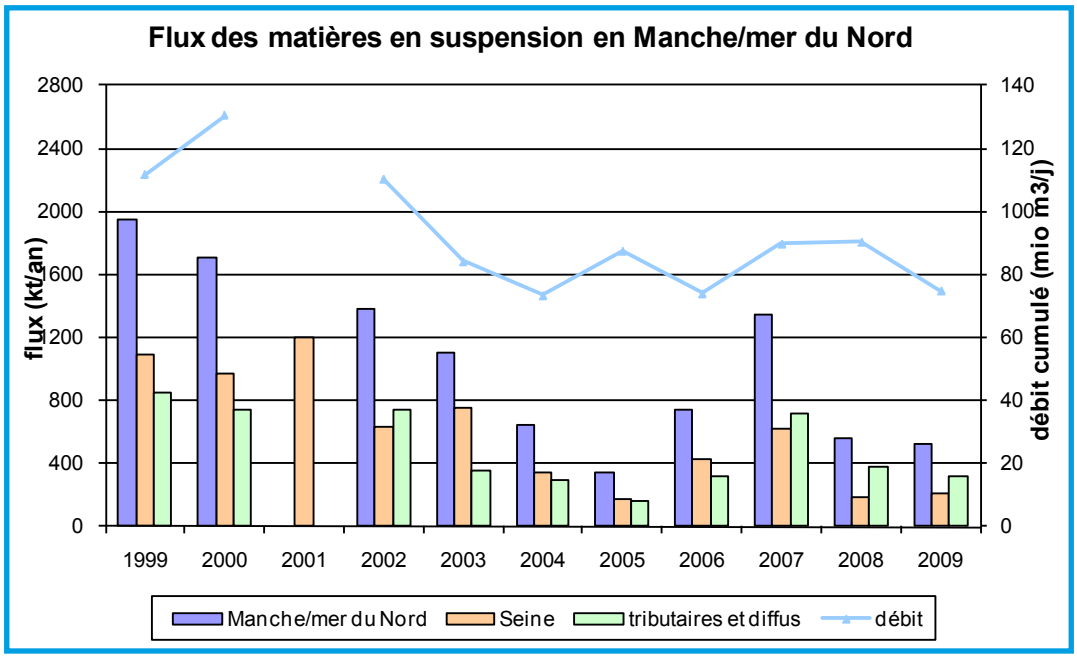

Figure 5 : Évolution des apports fluviaux de matières en suspension en Manche-mer du Nord depuis 1999 (Sources : Banque Hydro, Agences de l'eau, SOeS, 2010).

Les flux de matières en suspension ont baissé de 70 % entre 1999 et 2009, avec toutefois un pic notable en 2007 (figure 5). Le flux de la Seine représente en moyenne un peu plus de la moitié du flux total de la région II OSPAR. Depuis 2007 cependant, le flux de la Seine est inférieur à celui lié aux « tributaires ».

1.4. CONCLUSION

En résumé, dans la sous-région marine Manche-mer du Nord en 2009, l'apport d'azote s'élève à 166 kt, celui de phosphore à 3kt (estimation haute). Les flux de phosphore ont baissé de plus de 75 % sur la période 1999-2009. Cette diminution est bien plus marquée que celle amorcée sur l'azote, dont les flux sont par ailleurs fortement corrélés aux débits.

Les apports de chaque type de cours d'eau au flux total sont proportionnels aux surfaces de bassin versant pour les flux de phosphore total. Pour l'azote lié aux nitrates, les « tributaires » contribuent en proportion un peu plus que la surface qu'ils drainent. La Seine est par contre prépondérante dans les apports liés à l'ammonium, du fait de l'origine plus urbaine de ce polluant. Ces dernières années, le flux d'ammonium diminue et reste largement inférieur à celui lié aux nitrates.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] CGDD/SOeS, 2011. Évolution des flux polluants à la mer – Synthèse des évaluations réalisées dans le cadre des conventions Ospar et Medpol., Études & Documents n°34.

[2] Commission OSPAR, 1998. Principes de l'étude exhaustive des apports fluviaux et des rejets directs (RID). Numéro de référence 1998-05. 17p.

2. PARTIE II - ESTIMATION DES FLUX À LA MER PAR BASSIN VERSANT

2.1. MÉTHODOLOGIE

Les estimations des flux à la mer pour le **bassin Seine-Normandie** sont réalisées à partir du modèle Sénèque[7]. Ce modèle, développé sur le bassin de la Seine dans le cadre du PIREN[8] Seine et déployé ensuite par l'Agence de l'eau Seine-Normandie sur l'ensemble des bassins versants côtiers de Basse et Haute-Normandie, permet d'évaluer les contributions relatives des bassins versants continentaux aux flux de nutriments à la mer : nitrate (N/NO_3), azote total (Nt), orthophosphate (P/PO_4) et phosphore total (Pt).

Pour tenir compte de la configuration du littoral normand et de l'impact important de la Seine sur sa baie, les flux globaux sont évalués à des échelles jugées pertinentes vis-à-vis des relations pressions-impacts et des problématiques marines. On retient les échelles des sous-ensembles suivants :

- les côtiers ouest et nord Cotentin, en lien avec le golfe Normano-Breton ;
- ouest baie de Seine, de la Seulles à la Saire en passant par la baie des Veys ;
- est baie de Seine, directement sous l'influence des apports de la Seine et allant du cap d'Antifer à l'estuaire de l'Orne. Cet ensemble regroupe les côtiers est bas normands et le bassin de la Seine, lui-même sous-découpé en 2 parties, le bassin en amont de l'estuaire qui intègre notamment la région parisienne, et la partie estuarienne, de l'amont de Rouen jusqu'au Havre, soumis aux marées ;
- enfin les côtiers haut-normands, en lien avec les côtiers picards.

Les pressions sont quantifiées sur chaque zone en distinguant la contribution des pollutions diffuses estimées à partir de l'occupation du sol (Corine Land Cover 2000) et des pollutions ponctuelles établies d'après les fichiers de redevances de l'Agence de l'eau Seine-Normandie pour les collectivités (année 2007) et les industries (année 2005). L'hydrologie choisie est celle de l'année 2003, qui a été plutôt sèche (condition intéressante pour apprécier l'impact des rejets ponctuels), ce dont il faudra tenir compte dans l'interprétation des résultats. Autre précision : Sénèque simule la qualité des rivières ; on a donc considéré l'estuaire de Seine comme le prolongement de l'axe amont, sans prendre en compte la spécificité de ces milieux (eaux saumâtres, marées, bouchon vaseux) et les processus qui s'y déroulent, ce qui constitue à l'évidence une source d'incertitude supplémentaire. Cela conduit à une surévaluation des flux, car la dénitrification qui se produit dans le bouchon vaseux n'est pas prise en compte (cf. programme Seine-aval).

Pour le **bassin Loire-Bretagne**, la simulation de la qualité des eaux des cours d'eau est faite à partir du modèle PEGASE. Celui-ci est constitué de deux parties concernant deux problématiques :

- l'eutrophisation et la production primaire d'une part,
- l'estimation des rejets urbains et industriels d'autre part.

Ceci a pour objectif d'orienter les choix en matière de gestion des eaux de surface, par le calcul prévisionnel de la qualité des eaux en fonction des apports et rejets polluants et des conditions hydrologiques.

PEGASE[9] est un modèle intégré bassin hydrographique / rivières qui permet de calculer de façon déterministe la qualité des eaux des rivières en fonction des rejets et apports de polluants, pour différentes situations hydrologiques. Il permet également de calculer de façon prévisionnelle les améliorations de la qualité de l'eau qui résultent d'actions d'épuration ou de réduction des rejets.

Pour ce faire, le modèle prend en compte l'ensemble des phénomènes de transfert et de transformation des éléments : sédimentation, assimilation, production primaire, biodégradation et respiration.

Les données utilisées au niveau des rejets des collectivités et des industries sont celles calculées pour les redevances des agences de l'eau. Pour l'agriculture le modèle prend en compte l'occupation des sols des bassins versants ainsi que la charge en cheptel.

Les évaluations de flux sont calculées à l'entrée des estuaires pour l'azote, le phosphore et le carbone total.

7 http://www.sisyphe.upmc.fr/piren/?q=seneque
8 Piren Seine : Programme interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement de la Seine.
9 http://www.eau-loire-bretagne.fr/espace_documentaire/documents_en_ligne/fiches_de_synthese/annee_2004/IIB1286_1.pdf

2.2. BILAN DES FLUX EN NUTRIMENTS ET EN MATIÈRE ORGANIQUE

2.2.1. Bassin Seine-Normandie

Le tableau 2 résume les résultats des flux d'azote et de phosphore pour chacun des sous-bassins.

		PHOSPHORE				AZOTE			
Sous bassin	superficie en km²	P/P04 diffus + ponctuel	P/P04 diffus	Pt diffus + ponctuel	Pt diffus	N/N03 diffus + ponctuel	N/N03 diffus	Nt diffus + ponctuel	Nt diffus
Ouest cotentin	3,6	0,2	0,1	0,3	0,1	6	5,8	6,8	6,1
Ouest baie de Seine	4,4	0,01	0,1	0,2	0,1	6,5	6,2	7,2	6,6
Côtier Est bas-normands	6,1	0,02	0,1	0,3	0,2	7,8	6,6	8,8	7
Côtier haut-normands	3,8	0,02	0,1	0,3	0,2	5,8	5,2	6,3	5,5
Seine amont poses	64,9	3	1	5,4	2,5	67,2	67,2	102,4	73,7
Seine + estuaire	76,7	3,6	1,1	6,4	3	94	76,1	115,4	84,1
Total Seine Normandie	94,6	4,3	1,5	7,5	3,6	120,1	99,9	144,5	109,4

Tableau 1 : Bilan des flux en kt·an^{-1} calculés par Sénèque au niveau des différents sous bassins de Seine-Normandie.

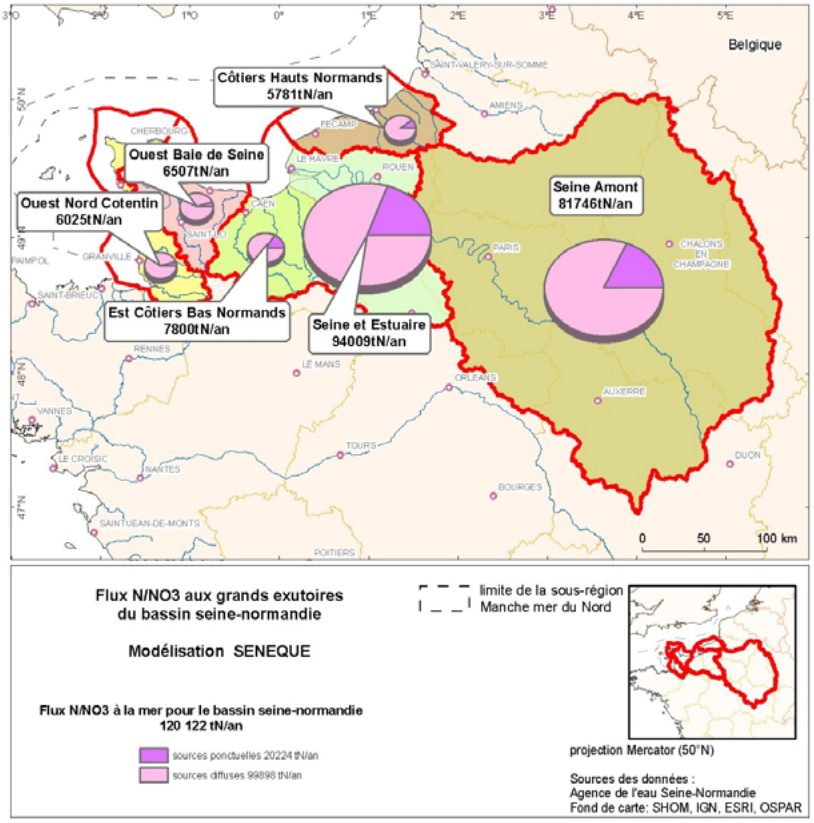

Figure 6 : Flux de nitrates aux grands exutoires du bassin Seine-Normandie (calcul Sénèque) (Sources : Agence de l'eau Seine-Normandie, 2010).

Pour le phosphore total (Pt), le flux estimé est de 7,5 kt·an^{-1} en sortie du bassin SN (Tableau 1). Globalement, les orthophosphates (P/PO_4) représentent 58 % du flux de Pt, qui intègre en plus le phosphore organique de la matière vivante ou morte et le phosphore particulaire associé aux MES. Les sources ponctuelles dominent, surtout pour PO_4 (65 %) et dans une moindre mesure pour Pt (52 %), et ce en raison du poids du bassin de la Seine, dont les pressions urbaines, quoiqu'en baisse, pèsent lourdement dans le bilan. Sur les autres sous-bassins côtiers, les sources diffuses sont majoritaires, ce qui souligne l'importance des apports liés à l'érosion des sols, combinée à la diminution du phosphore dans les effluents urbains et industriels.

Pour l'azote, les flux du bassin sont estimés à 144,5 kt·an^{-1} pour l'azote total (Nt) et 120 kt·an^{-1} pour les nitrates (N/NO_3 ; Tableau 1). Globalement, les nitrates représentent 83 % du flux de Nt. Les sources diffuses d'origines agricole et rurale dominent largement, 83 % pour N/NO_3 et 76 % pour Nt. Ces ratios sont plus élevés sur les sous-bassins côtiers, autres que celui de la Seine, plus marqué par les pressions urbaines.

En ce qui concerne la répartition géographique, pour tous les paramètres, les apports de la Seine à la mer sont largement dominants et proviennent pour l'essentiel de la région parisienne en amont de l'estuaire (respectivement 76 et 68 % pour N/NO_3, 81 et 71 % pour Nt, 85 et 72 % pour Pt, 83 et 68 % pour P/PO_4). Le bassin versant de l'estuaire contribue aux apports globaux de manière non négligeable avec des ratios respectivement autour de 10 % et 14 % pour les formes azotées et phosphatées. La part des autres sous-bassins varie suivant les paramètres entre 3 et 6,5 %.

À ces flux, il convient de rajouter les apports littoraux situés hors des sous-bassins côtiers intégrés dans les calculs précédents, dont certains rejets ponctuels directs importants : rejets de l'usine de retraitement de la Hague (environ 500 tonnes $N\text{-}NO_3$ par an en 2007) sur l'ouest et nord Cotentin, et apports diffus de 600 tonne $N\text{-}N0_3$ par an sur les côtiers hauts-normands.

Zoom sur le bassin de la Seine – grande tendance

Ce paragraphe reprend en particulier les résultats des travaux du GIP Seine-aval[10].

À l'interface entre les milieux d'eau douce et la baie de Seine, l'estuaire constitue une zone de stockage, de transfert et de transformation des matières polluantes, notamment des sels nutritifs en excès. De ce point de vue, le rôle de filtre du bouchon vaseux a une importance significative pour réguler les apports en sels nutritifs à la baie de Seine et y réduire les risques liés à l'eutrophisation. En fonction de l'hydrologie et de leur affinité pour les particules, les différents sels nutritifs y sont plus ou moins dégradés : jusqu'à 40 % du flux d'azote en situation hydrologique sèche, contre 12 % en situation humide. Les flux de phosphore sont quant à eux très faiblement réduits, quelle que soit l'hydrologie (rétention inférieure à 10 %).

10 Le GIP assure, par son pôle scientifique, la maîtrise d'ouvrage des actions de recherche du programme Seine Aval et par son pôle opérationnel, la maîtrise d'ouvrage des applications de la recherche et le transfert des résultats de cette recherche. http://seine-aval.crihan.fr/web/

L'évolution des flux spécifiques mesurés à la sortie de l'estuaire (mais en amont du bouchon vaseux), nous renseigne sur l'historique des apports (figure 7) :

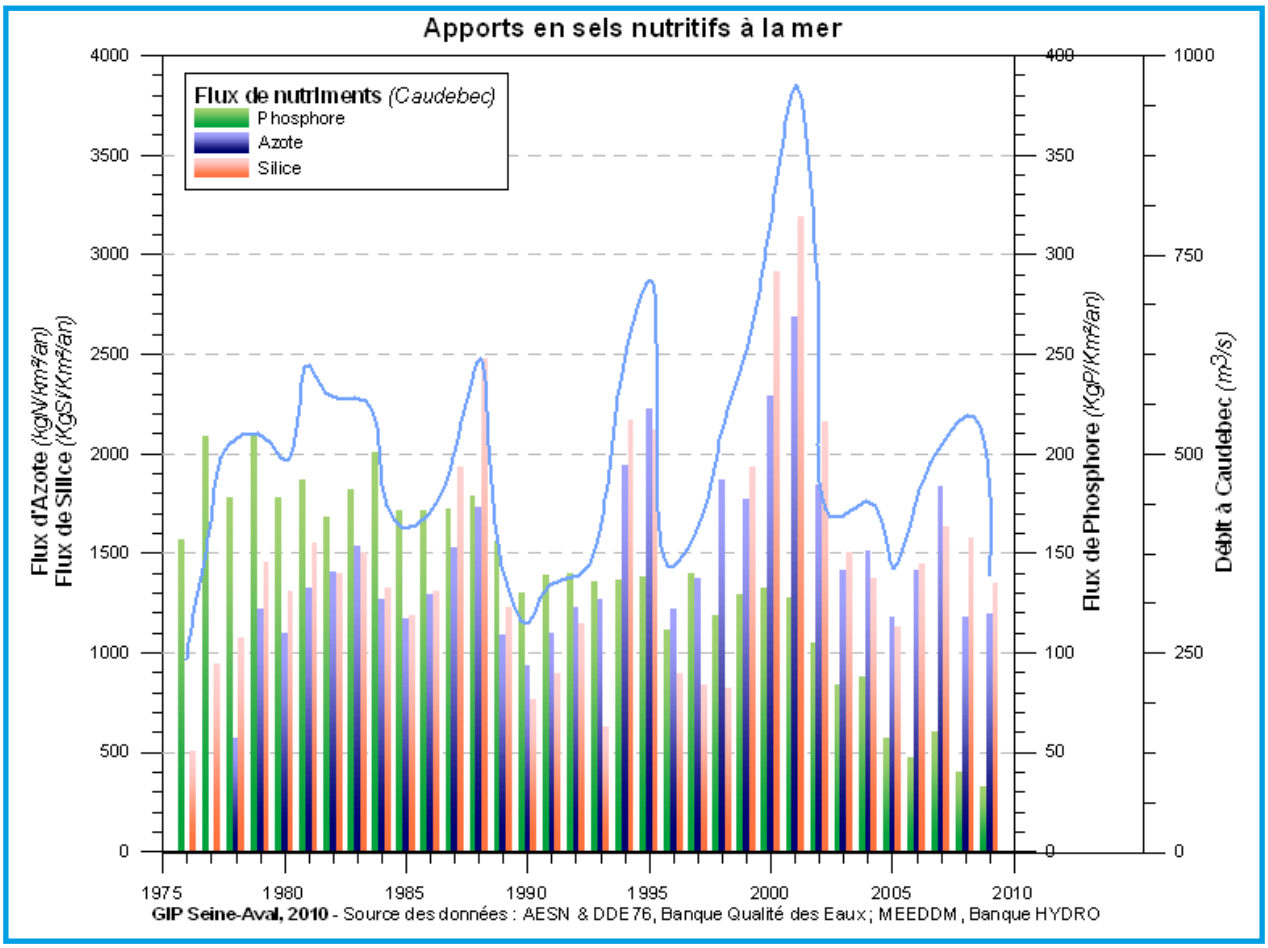

Figure 7 : Moyenne annuelle des flux de nutriments à Caudebec en entrée de l'estuaire de Seine.
La courbe bleue représente les débits journaliers cumulés de la Seine à Poses (entrée estuaire) et de ses affluents (Sources : GIP Seine aval, 2010).

• à l'échelle saisonnière et annuelle, la concentration en PO_4 varie notablement en fonction du débit suivant une loi de dilution, les sources étant principalement ponctuelles (industrielle et urbaine) et les flux globalement constants. L'échelle pluriannuelle permet de visualiser les améliorations du traitement des effluents et l'utilisation moindre des lessives phosphatées. Ainsi, la tendance à la baisse entamée depuis les années 1990 a contribué à diminuer le risque potentiel d'eutrophisation des milieux d'eau douce.

• les teneurs en azote varient sur la période 2003-2009 dans une fourchette en cohérence avec le flux calculé par Sénèque, égal à environ 1500 kg $Nt \cdot km^{-2} \cdot an^{-1}$ sur le bassin de la Seine. Ces teneurs montrent une évolution caractéristique des variables issues du lessivage des sols et des sources diffuses avec des concentrations élevées par fort débit. Depuis le début des années 1990, la tendance observée est à l'accroissement continu des concentrations mesurées. Deux facteurs pour expliquer cette tendance :

- l'amélioration du traitement des effluents, notamment de la région parisienne, qui a contribué à une meilleure oxygénation du milieu (figure 8) et a réduit en contrepartie la dénitrification (élimination naturelle des nitrates) au sein des masses d'eaux fluviales. Après la finalisation des mises aux normes DERU fin 2011, notamment de dénitrification des effluents au sein des stations d'épuration, ces apports urbains de nitrates devraient décroître.
- l'augmentation quasi-continue des apports diffus d'origine agricole, qui devrait encore se poursuivre en raison de l'inertie importante au niveau des aquifères (estimée supérieure à 30 ans pour certains d'entre eux) par où transitent l'essentiel des nitrates.

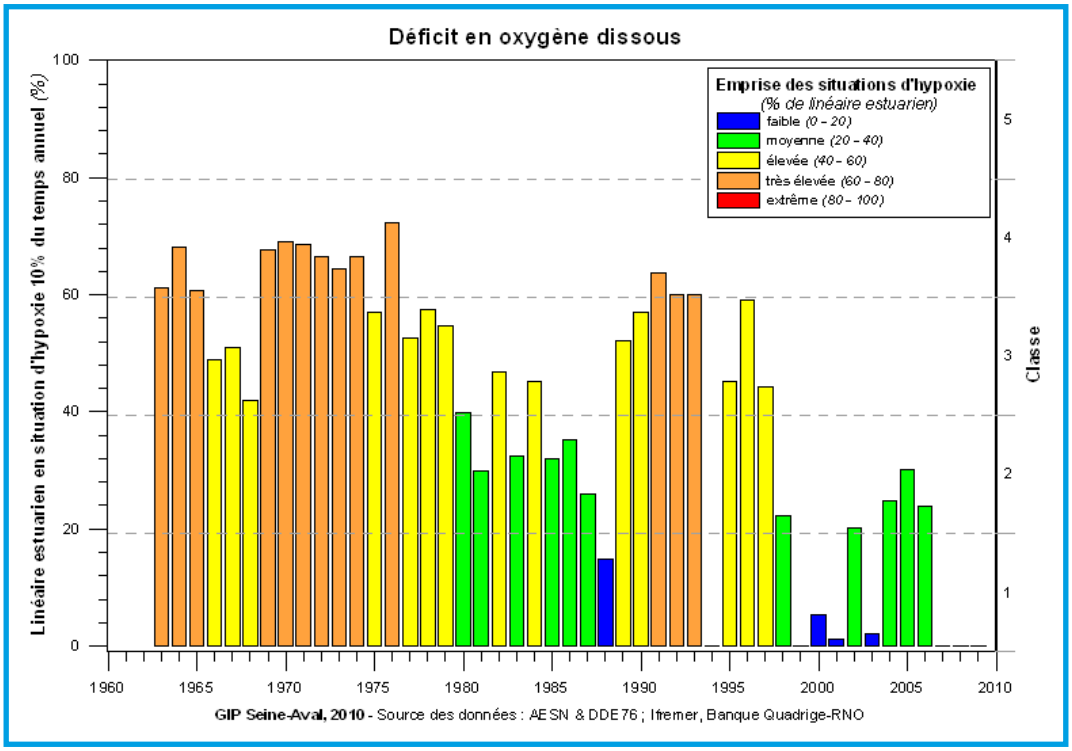

Figure 8 : Évolution du déficit en oxygène dissous sur l'estuaire de la Seine (Sources : GIP Seine Aval, 2008).

2.2.1. Bassin Loire-Bretagne

La Bretagne Nord se caractérise par des zones de production situées sur le littoral nord et à proximité des agglomérations de Brest et Saint-Malo. En 2009, la région produit plus de 80 % du tonnage français de choux-fleurs, artichauts ou échalotes, 35 % des petits pois, plus du quart des productions nationales de haricots verts ou de tomates. (Agreste Bretagne Mémento statistique agricole Edition 2010 DRAAF Bretagne). Les zones légumières et de production hors sol contribuent par des bilans azotés excédentaires à l'alimentation des flux de nitrates en sortie du sous bassin.

Le flux de phosphore total (Pt) est estimé[11] à 0,8 kt·an^{-1} et celui d'azote à 29,8 kt·an^{-1} en sortie du sous-bassin « Bretagne Nord » vers la Manche. Les flux de carbone total sont estimés à 17,4 kt·an^{-1}.

	Phosphore total (Pt)	Azote total (Nt)	Carbone total (Ct)
Bretagne Nord	0,8	29,8	17,4

Tableau 3 : Bilan des flux en kt·an^{-1} calculés par Pégase pour la zone Bretagne Nord. Les sous-bassins contribuant à l'apport en nutriments sont : Couesnon, Rance Frémur, Aulne, Lannion, Marais de Dol, Arguenon, Baie de St Brieuc, Trégor, Léon et Elorn.

La contribution des rejets ponctuels issus des collectivités et des industries est assez différente selon les paramètres : 40 % pour le phosphore total, 20 % pour l'azote et 36 % pour le carbone.

Les apports en azote agricole sont nettement prépondérants et se répartissent entre la lixiviation des sols et des fuites ponctuelles, notamment en exploitation d'élevage, dans une proportion de 9 pour 1. En effet, le cheptel sur cette zone est particulièrement important notamment sur certains bassins (Arguenon, Gouessant, Gouet, etc.) pouvant atteindre jusqu'à 800 porcs par km^2. Les cantons sur ces bassins sont d'ailleurs pour la plupart classés en zone d'excédent structurel (ZES) c'est à dire dépassant une pression d'azote organique brut avant résorption de 170 kg par ha.

Les flux de nitrates sont directement liés au mode d'occupation des sols, aux pratiques culturales mais également aux régimes hydrologiques de cette région. Les flux les plus importants sont donc émis en période hivernale.

11 Estimations réalisées à partir du modèle PEGASE.

3. PARTIE III - SYNTHÈSE DES DEUX MÉTHODES

Deux méthodes de calculs des flux de nutriments à la mer ont été testées : l'une issue du traitement de mesures ponctuelles de la qualité des eaux superficielles au droit des stations de mesures de débit suivant le protocole OSPAR, l'autre issue d'outils de modélisation utilisant en données d'entrée les rejets ponctuels et diffus : Sénèque en Seine-Normandie (extrapolé à Artois-Picardie) et Pégase en Loire-Bretagne. Par ailleurs, l'approche est complétée par un zoom sur la Seine, le fleuve principal de cette façade.

Le tableau 4 présente de manière synthétique une évaluation des flux pour les différents paramètres considérés selon les deux approches utilisées (OPSAR et agences de l'eau).

Flux ($kt.an^{-1}$)	OSPAR (2007)	Total BV Seine-Normandie	Total BV Artois-Picardie[13]	Total BV Bretagne Nord
Azote total**	227**	144,5	18	29,8
Phosphore total	6	7,5	1,1	0,8
Carbone	-	-		17,4
MES	1 340	-		-

** Données OSPAR corrigés avec les valeurs de flux d'azote total en 2007 (données disponibles sur l'ensemble des sous-zones pour cette année-là).

Tableau 4 : Évaluation des flux (en $kt{\cdot}an^{-1}$) d'azote total, de phosphore total, de carbone et de matières en suspension vers la sous-région Manche-mer du Nord, estimés selon la méthode OSPAR (année 2007) et selon les modèles Sénèque pour le bassin Seine-Normandie et PEGASE (2007) pour le bassin Bretagne Nord.

Au-delà des différences entre ces méthodes et de leurs limites et incertitudes propres, elles donnent des résultats globalement cohérents et du même ordre de grandeur.

Pour l'azote, le flux calculé par OSPAR (227 $kt{\cdot}an^{-1}$) dépasse celui déterminé par modélisation de 10 % (192 $kt{\cdot}an^{-1}$). La part des nitrates est largement dominante (plus de 83 % sur SN d'après Sénèque) et son origine est essentiellement diffuse agricole et rurale (83 % sur SN d'après Sénèque). La tendance, fortement influencée par l'inertie des milieux est plutôt à l'augmentation. Le flux de la Seine représente entre 50 à 60 % environ du flux total d'azote, suivant les méthodes. Par contre, son flux spécifique est légèrement plus faible que celui des autres tributaires. La contribution des sources urbaines y est plus forte, mais devrait décroître sous l'effet de la mise aux normes DERU des systèmes d'assainissement.

Pour le phosphore total, dont le rôle est moins marqué que l'azote dans l'eutrophisation des estuaires et de la mer, le flux déterminé par modélisation (9,4 $kt{\cdot}an^{-1}$) dépasse de 56 % celui calculé par OSPAR (6 $kt{\cdot}an^{-1}$). Au cours de la dernière décennie, la tendance générale est nettement à la baisse, en lien avec celle des sources ponctuelles (mise aux normes DERU des systèmes d'assainissement et moindre utilisation des lessives phosphatées). La Seine, où les sources urbaines dominent, contribue pour plus de la moitié au flux total.