

# Cycle de l'azote à l'échelle des territoires régionaux:

## Un regard biogéochimique et rétrospectif sur l'approvisionnement alimentaire des villes et la spécialisation fonctionnelle des régions rurales

Gilles Billen et Sylvain Théry

UMR Sisyphe, 4 place Jussieu, 75005 Paris ([sylvain.thery@ccr.jussieu.fr](mailto:sylvain.thery@ccr.jussieu.fr))

Cycle de l'azote à l'échelle des territoires régionaux: .....	1
Un regard biogéochimique et rétrospectif sur l'approvisionnement alimentaire des villes et la spécialisation fonctionnelle des régions rurales .....	1
1. Introduction .....	1
2. Fonctionnement biogéochimique des systèmes régionaux .....	4
2.1. Echelles d'analyse.....	4
2.2. Typologie du fonctionnement des systèmes régionaux .....	6
3. L'approvisionnement de Paris .....	10
3.1. Bilan de la consommation alimentaire.....	10
3.2. Origine de l'approvisionnement alimentaire de Paris .....	11
4. Conclusion.....	13
5. Bibliographie .....	13

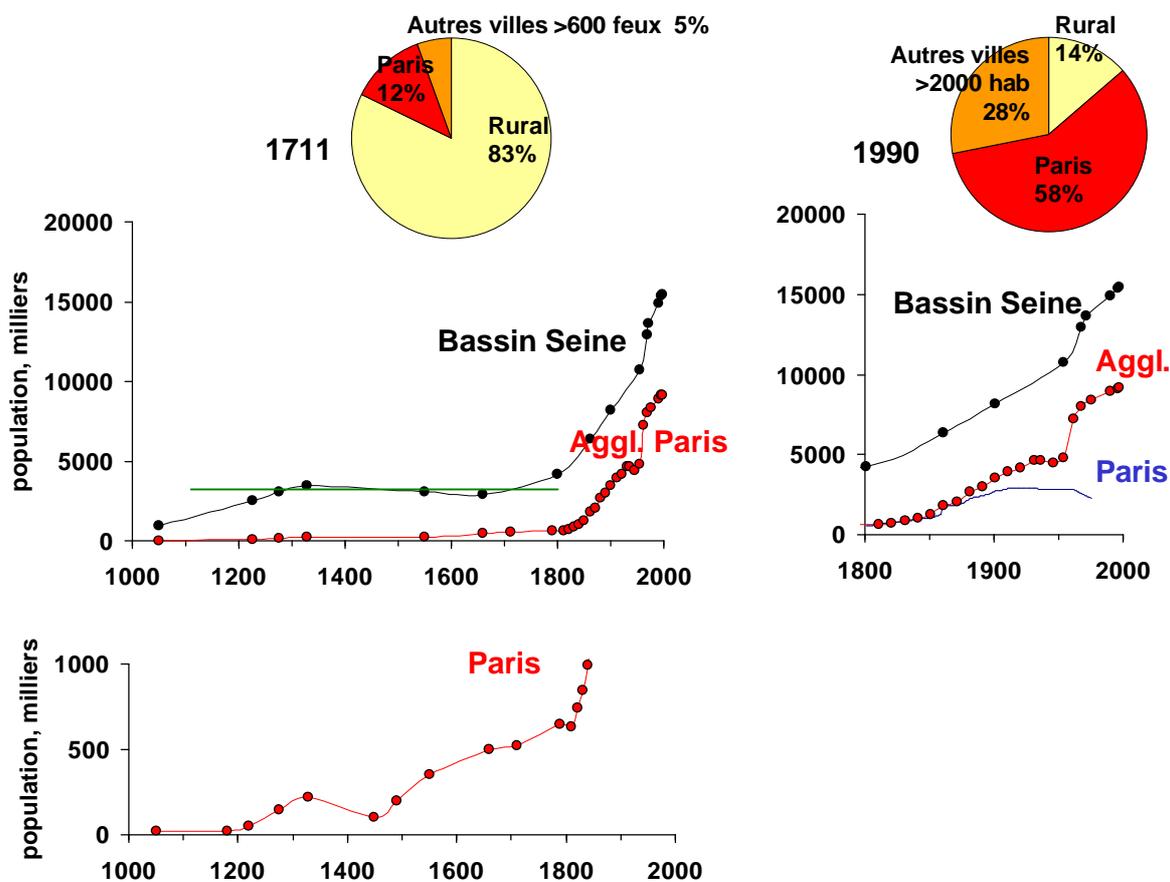
## 1. Introduction

Le fait biogéochimique majeur qui caractérise l'évolution récente de l'écosphère continentale réside dans la spécialisation fonctionnelle des paysages sous l'intervention humaine, et dans l'ouverture des cycles locaux d'éléments biogènes qu'elle entraîne. Cette spécialisation fonctionnelle des paysages est largement dictée par le processus d'urbanisation progressive de la population humaine. Même si d'autres définitions, basées sur la continuité du bâti, ont généralement cours parmi les urbanistes ou les géographes (INSEE 2002, IGN 1998), la Ville peut en effet être définie comme un regroupement de populations ne produisant pas elles-mêmes leurs moyens de subsistance alimentaire (Asher, 2001), donc, biogéochimiquement, comme un système hétérotrophe. Le développement et la dynamique des villes sont donc par nature liés au développement des moyens de production de biens alimentaires dans le milieu rural, des moyens de transport et de stockage de ces biens, des moyens de diffusion des informations nécessaires à l'organisation de la division du travail et des échanges entre milieu urbain et rural. Nous pensons que ce lien fournit une clé pour l'analyse spatiale à long terme de l'évolution du fonctionnement biogéochimique des systèmes régionaux, en particulier vu sous l'angle de la circulation de l'azote, élément essentiel du fonctionnement écologique des écosystèmes.

A cet égard, l'espace de 75000 km<sup>2</sup> qui constitue le bassin versant de la Seine offre un cas d'étude idéal, car il est caractérisé à la fois par le développement d'une agriculture très intensive basée sur les grandes cultures exportatrices, et par la présence d'une mégapole parmi les plus grandes d'Europe. Les données permettant de décrire le fonctionnement biogéochimique présent de ce vaste système, comme celles permettant de reconstituer la dynamique passée qui a abouti à cet état, sont relativement abondantes et accessibles. Ainsi, le PIREN-Seine a déjà structuré une part importante des travaux rétrospectifs qu'il a mené sur le fonctionnement du bassin de la Seine autour du fil rouge que constitue le rôle du développement démographique extrêmement précoce de Paris sur la structuration

du monde rural du bassin (voir le rapport de synthèse du thème transversal 'Rétrospective' de la phase III du programme (1998-2001).

La figure 1 montre que du XIIIe au XVIIIe siècle, la population du bassin de la Seine fluctue autour d'une densité de 50 habitants/km<sup>2</sup>. Ce chiffre correspond à la densité de population soutenable des systèmes agraires issus de la première révolution agricole du Moyen Age, basés sur l'association entre agriculture en assolement triennal et élevage à forte charge animale. Durant cette période de relative stabilité démographique, le poids de la population urbaine, et plus particulièrement de la population parisienne croît énormément, de moins 5% au XIIIe siècle jusqu'à près de 20% au XVIIIe siècle. Au cours des XIXe et Xxe siècles, la croissance de la population du bassin de la Seine est essentiellement celle de l'agglomération parisienne.



**Figure 1.** Evolution démographique du bassin de la Seine et de Paris.

L'image qui ressort des travaux antérieurs du PIREN relatifs au système agricole du bassin de la Seine sous l'Ancien Régime est celle d'une demande alimentaire très pressante de l'agglomération parisienne, assurée pour une large part par de grandes exploitations tournées vers la commercialisation de sa production, tandis que de petites communautés rurales fonctionnent sur un mode plus autarcique. L'ouverture 'commerciale' des grandes exploitations est compensée par un aménagement du paysage hydrologique qui lui confère une forte rétentivité vis à vis des pertes de nutriments par lessivage.

A contrario l'agriculture actuelle du bassin de la Seine, avec la généralisation du recours aux engrais minéraux, a affranchi totalement l'agriculteur de sa dépendance vis à vis des mécanismes naturels de restitution au sol des éléments exportés par la récolte, et a permis par là même un accroissement sans précédent des rendements, et une rupture radicale de la complémentarité

agriculture-élevage. Les besoins alimentaires directs de l'agglomération parisienne et des autres grandes villes du bassin qui ont plus que décuplé par rapport au XVIII<sup>e</sup> s., ne représentent pourtant plus qu'un débouché marginal pour la production agricole des grandes zones céréalières du bassin, qui exportent à l'étranger ou vers d'autres régions françaises (notamment les régions d'élevage) la plus grande partie de leur production. A l'échelle du bassin, la demande urbaine a donc cessé d'être un élément structurant pour le monde agricole qui obéit aujourd'hui à la logique des marchés internationaux.

Parallèlement à cette ouverture des débouchés de l'agriculture, le paysage hydrologique s'est profondément modifié, perdant progressivement une partie des caractéristiques acquises durant le Moyen Age qui lui avait conféré un important pouvoir de rétention vis à vis des pertes par lessivage des éléments nutritifs. Si la plupart des étangs ont disparus dès le remplacement des moulins hydrauliques par la machine à vapeur, c'est au cours des 30 dernières années que le drainage des zones humides riveraines a conduit à une réduction sensible du pouvoir de rétention du réseau hydrographique.

Notre ambition est de poursuivre et d'affiner cette analyse en combinant les concepts de la biogéochimie, et les potentialités d'analyse spatiale qu'offrent les SIG. La problématique est celle des conditions biogéochimiques de 'soutenabilité' du développement d'une grande ville dès lors qu'elle importe une part croissante de la production des territoires environnants dont elle dépend pour son approvisionnement. Il s'agit de 'chiffrer' les besoins d'importation d'éléments biogènes imposés par le développement urbain (approvisionnement alimentaire, en bois de chauffage, et en matières premières d'origine agricole pour l'artisanat et l'industrie), d'en définir géographiquement la provenance, et de comparer ces flux d'importation à la capacité d'exportation des territoires ruraux concernés. Mais il s'agit aussi de repérer la dynamique spatiale de ces phénomènes à diverses échelles (de la région au paysage), de manière à cerner l'impact de la demande alimentaire urbaine sur la spécialisation fonctionnelle progressive du paysage.

Une telle analyse s'intègre dans un contexte théorique dont une brève présentation est proposée dans la première partie de cette note. La seconde partie consiste dans l'application de cette approche à l'analyse de l'approvisionnement alimentaire de Paris à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, comparé à la situation actuelle de la production agricole des régions rurales du bassin.

## 2. Fonctionnement biogéochimique des systèmes régionaux

### 2.1. Echelles d'analyse

Le tableau 1 présente les différentes échelles spatiales auxquelles peuvent s'adresser l'analyse biogéochimique selon les problématiques traitées.

**Tableau 1** : échelle d'analyse des flux biogéochimiques

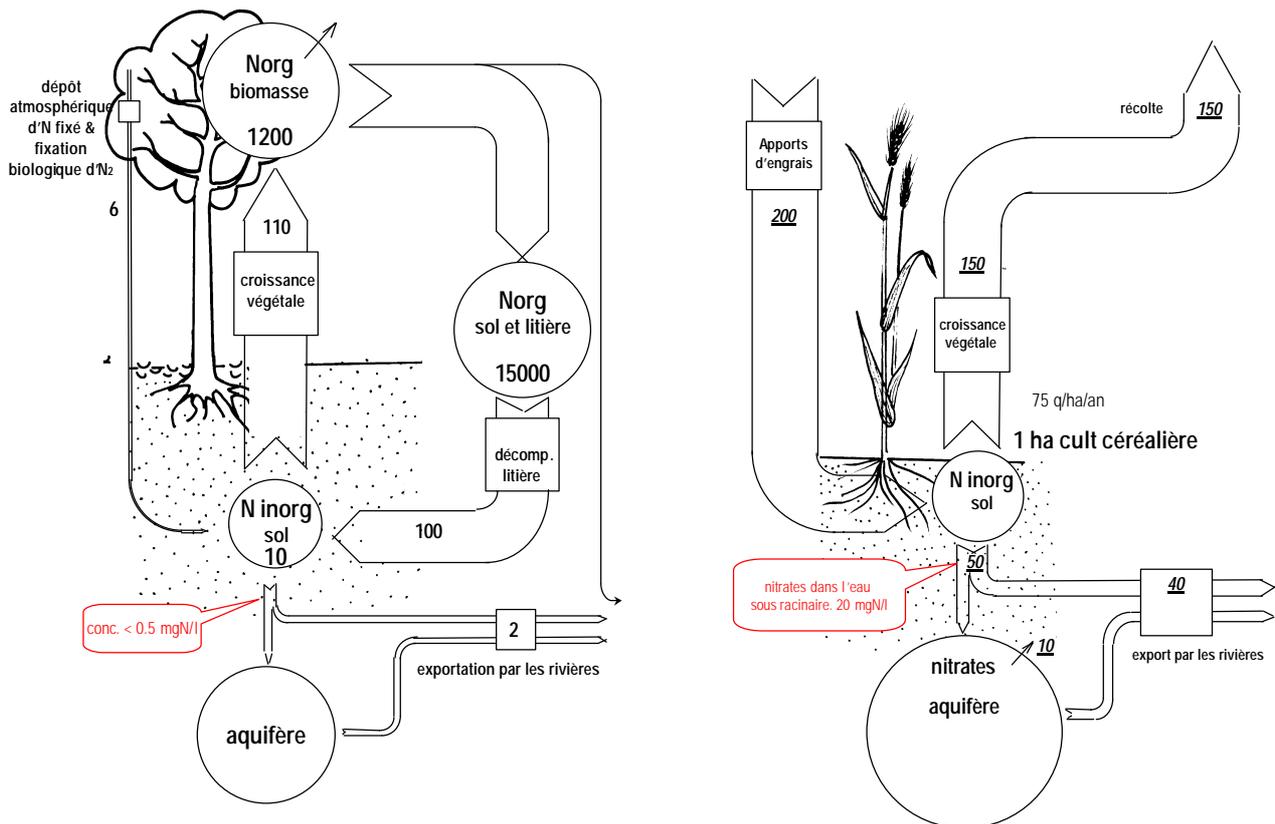
Echelle		exemple	problématiques
.01-0.1 ha	Parcelle / écosystème	Forêt, champ, prairie	<b>Agro</b> : rendement/ha <b>Eco</b> : fonctionnement biogéochimique interne
10 – 500 ha	Exploitation / paysage	commune	<b>Agro</b> : viabilité des exploitation <b>Eco</b> : export/import/rétentivité des nutriments Dépendent des échanges entre écosystèmes au sein du paysage (relation élevage-agriculture ; zones riveraines,...)
1000-10 000 km <sup>2</sup>	Systèmes régionaux (hydro)écorégions	Champagne, Beauce	Que peut exporter une région ? (en terme de biens commercialisables ou de nutriments)
>10 000 km <sup>2</sup>	Ensemble régional (Ensembles régionaux + villes)	Bassin Seine	Le fonctionnement d'un ensemble régional dépend des échanges entres ses systèmes régionaux constitutifs.

L'**écosystème** dans sa définition classique, qui implique une hypothèse d'homogénéité spatiale, constitue la maille biogéochimique élémentaire. Le cycle de l'azote y est défini par les flux internes d'absorption autotrophe d'azote minéral (ammonium ou nitrate) et de minéralisation hétérotrophe (ammonification et nitrification), et par les échanges avec l'extérieur : importation par fixation d'azote atmosphérique, retombées atmosphériques ou épandage d'engrais et exportation sous forme gazeuse (dénitrification), dissoute (lessivage) ou organique (entraînement de biomasse, récolte). A titre d'exemple, la figure 2 représente schématiquement le cycle de l'azote d'une forêt et d'une parcelle cultivée. Le tableau 2 rassemble quelques valeurs d'intensité des flux d'azote caractéristiques de différents écosystèmes en climat tempéré.

**Tableau 2.** Gamme de valeurs caractéristiques de l'intensité des flux d'azote dans divers types d'écosystèmes en milieu tempéré (en kgN/ha/an)

Processus	Forêt	Prairie naturelle	Culture	Zone humide
Fixation d'N <sub>2</sub>	3-10	2-10	0 (légumineuses : 100-200)	20-200
Absorption autotrophe	100-150		100-250	200-500
Dénitrification				50-200
Lessivage	0.1-1	1-10	10-100	
Exportation de biomasse	1-2		50-200	

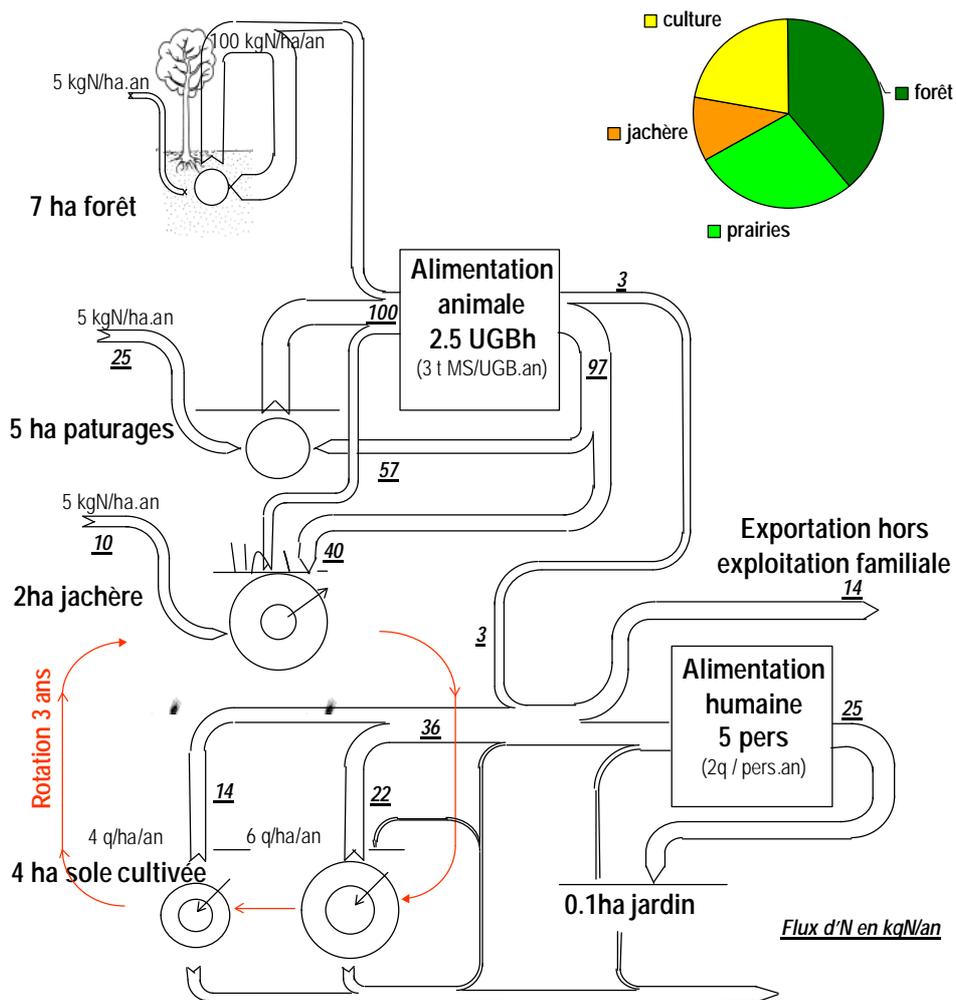
Références : Howarth et al, 1995 ; Archibold, 1995; Fustec &Lefevre, 2000



**Figure.2.** Représentation schématique des deux cycles de l'azote dans une parcelle de forêt et une culture céréalière. Flux en kgN/ha/an; stocks en kgN/ha

Un **paysage** est constitué par une mosaïque d'écosystèmes. L'agencement spatial des éléments de cette mosaïque conditionnent largement les flux d'azote qu'ils échangent, et donc les flux résultants intégrés à l'échelle du paysage. Ainsi la présence de zones humides riveraines entre les parcelles cultivées et les cours d'eau peuvent limiter fortement l'exportation d'azote par lessivage. La gestion humaine de cette mosaïque constitue aussi un facteur important de son fonctionnement d'ensemble. Ainsi, le système agricole traditionnel d'Europe occidentale, basé sur la complémentarité entre culture céréalière et élevage, doit être vu comme une gestion des flux de nutriments permettant d'exploiter au maximum le potentiel élevé de mobilisation d'apports nouveaux d'azote (fixation d' $N_2$ ) et de phosphore des écosystèmes forestiers et prairiaux au profit des parcelles céréalières (figure 3).

De la même façon, une **région** est un ensemble de paysages, qui peut inclure des zones urbaines et rurales. Ses capacités d'exportation de biens agricoles et son impact global sur les hydrosystèmes (comme par exemple les flux de nutriments exportés vers le milieu marin) dépendent de l'agencement de ses paysages constitutifs et de leur gestion humaine.



**Figure 3** Représentation schématique du fonctionnement du système agricole à assolement triennal des communautés rurales médiévales d'Europe occidentale, en terme de flux d'azote entre les différentes parties du paysage. Les grandeurs sont ramenées aux surfaces ex

## 2.2. Typologie du fonctionnement des systèmes régionaux

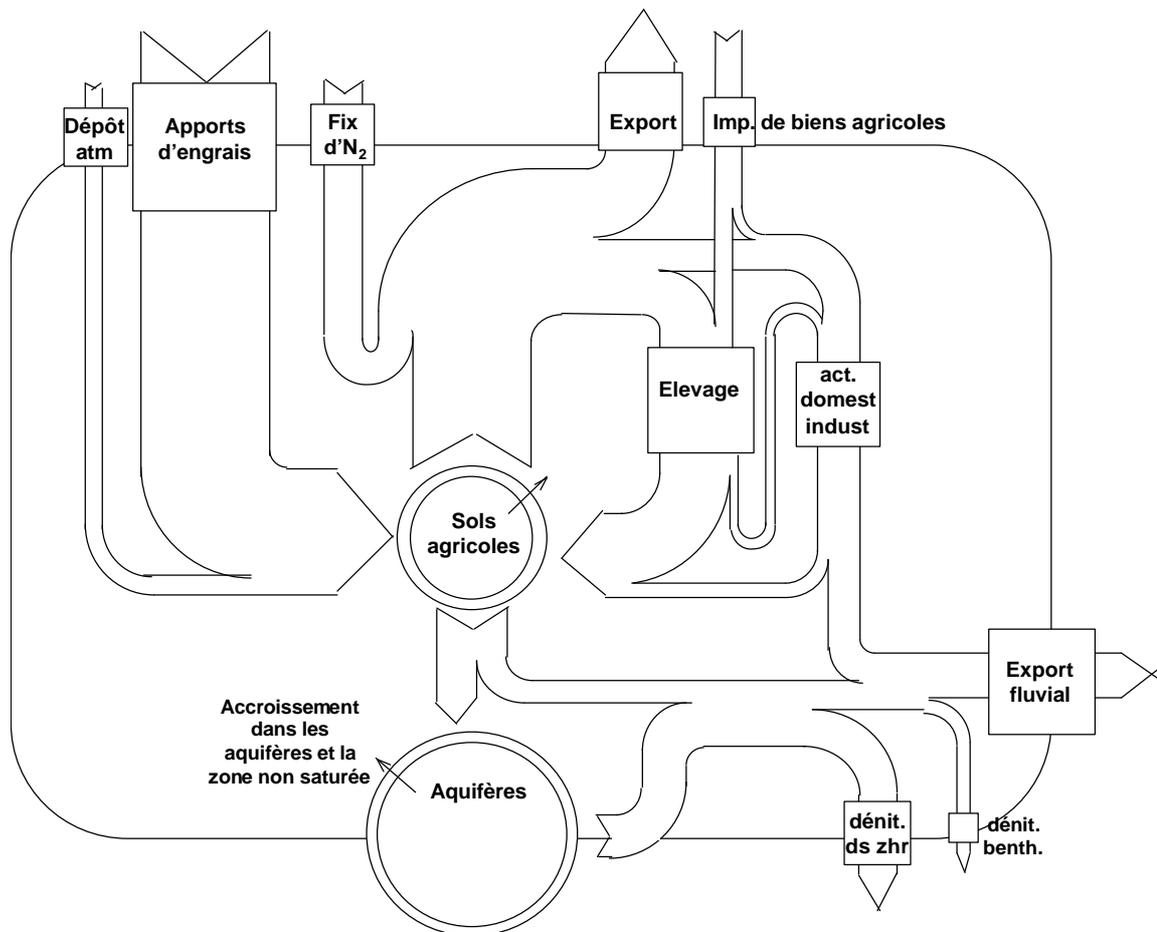
Un certain nombre d'études a permis de dresser le bilan d'azote de bassins versants de dimensions régionales. Les résultats en sont rassemblés dans le tableau 3. Ces données permettent de caractériser le fonctionnement d'ensemble de ces espaces régionaux par l'importance des flux majeurs d'azote échangés avec l'extérieur :

\*les apports « nouveaux » d'azote (au sens de l'océanographie) du « monde » extérieur : fixation (biologique ou industrielle) d'azote atmosphérique, retombées atmosphériques, importation d'aliments ou de matières premières agricoles. Les deux premiers processus apportent de l'azote essentiellement sous forme minérale, le dernier sous forme organique.

\*les flux exportés parmi lesquels les flux commerciaux de produits agricoles et les flux exportés par les rivières. Les premiers sont sous forme organique, les seconds, majoritairement sous

forme minérale (quoiqu'une proportion importante d'azote organique dissous caractérise le fond d'exportation hydrique d'azote des milieux forestiers (Perakis & Hedin, 2002).

\*Les flux exportés sous formes gazeuses ( $N_2, N_2O$ ) et les stockages/déstockages internes sont en général beaucoup plus difficile à estimer.



**Figure 4.** Représentation schématique générale du cycle de l'azote à l'échelle d'un bassin versant régional.

Les données rassemblées dans le tableau 3 permettent déjà de distinguer dans les différents bassins de notre échantillonnage, même si celui-ci est encore assez limité, diverses classes typologiques.

La distinction principale (Fig. 5) est basée sur les valeurs relatives de l'exportation et de l'importation alimentaire d'azote (organique), qui traduit le caractère globalement autotrophe (au dessus de la diagonale, sous-bassins de la Seine) ou hétérotrophe (en dessous de la diagonale, Escaut, bassins de la côte Est des EU).

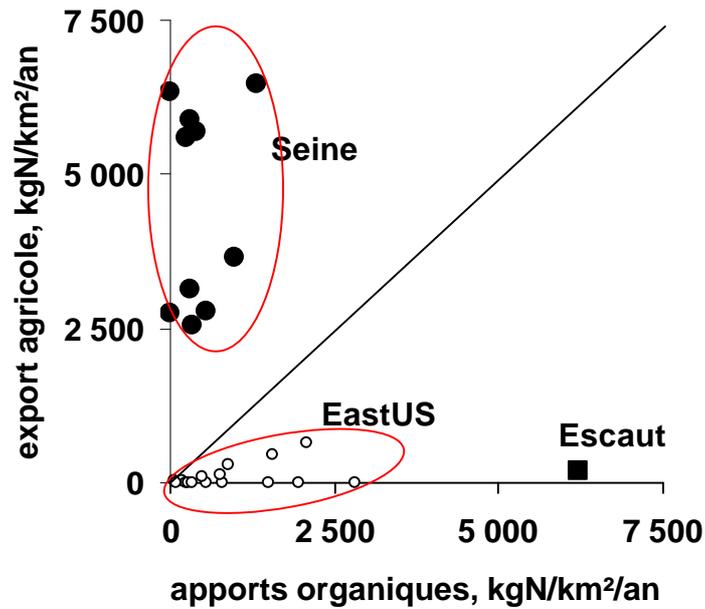


Figure 5 : caractéristiques d'autotrophie-hétérotrophie des bassins versants

Le caractère autotrophe des sous-bassins de la Seine, par rapport au caractère hétérotrophe des autres bassins, se marque bien lorsqu'on met en relation l'exportation agricole avec l'apport total d'azote 'nouveau'. (Fig. 6).

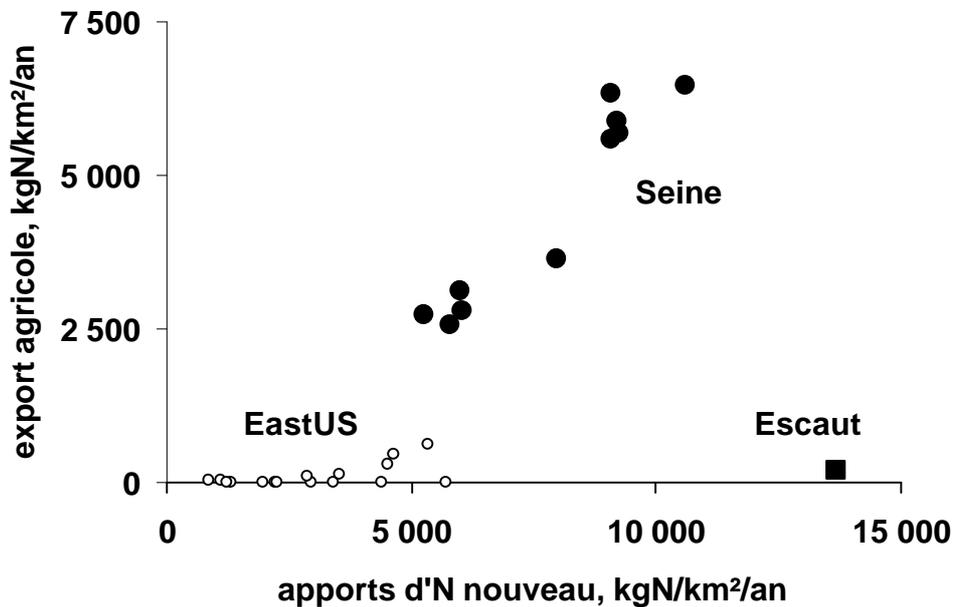


Figure 6. Exportation de produits agricoles en fonction des apports totaux d'azote nouveau.

L'exportation hydrique d'azote (flux délivré à l'exutoire du cours d'eau) semble bien reliée aux apports d'azote nouveau (Fig. 7), tandis que la rétention d'azote (accumulation ou pertes gazeuses par dénitrification) semble mieux reliée aux apports d'azote sous forme organique (Fig. 8).

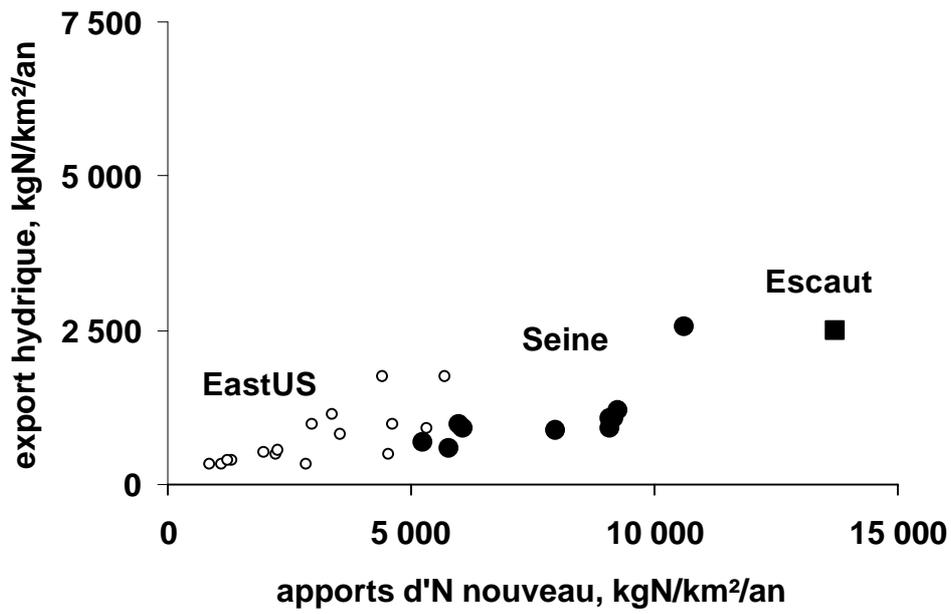


Figure 7. Exportation d'azote par les rivières en fonction de l'apport total d'azote nouveau au bassin versant

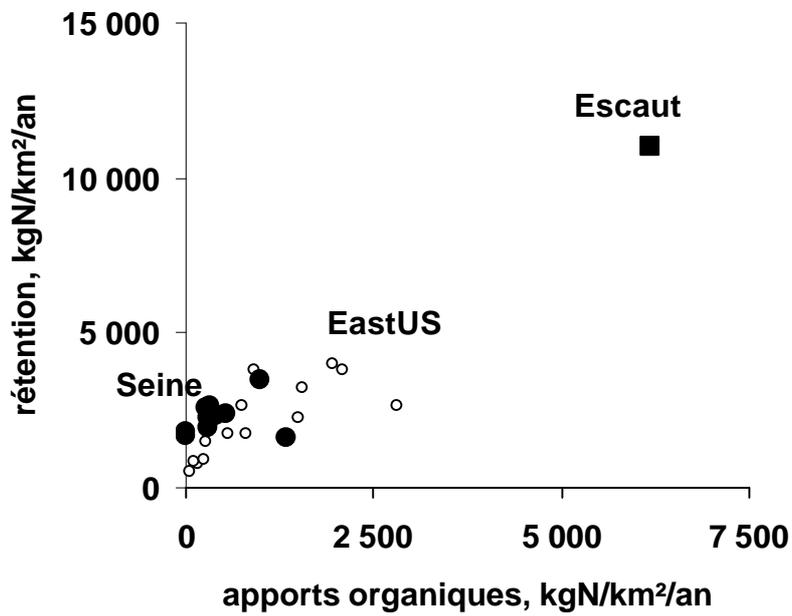


Figure 8. Rétention (accumulation et/ou pertes gazeuse) d'azote en fonction des apports totaux d'azote sous forme organique dans le bassin versant.

### 3. L'approvisionnement de Paris

#### 3.1. Bilan de la consommation alimentaire

Plusieurs travaux historiques détaillés ont été consacrés à l'approvisionnement alimentaire de Paris sous l'Ancien Régime, toujours politiquement considéré comme prioritaire, et organisé de manière très volontariste par le pouvoir monarchique (Kaplan, 1999 ; Abad, 2002 ;...). Les chiffres rassemblés par Lavoisier ont permis à Philippe (1961) de dresser un bilan quantitatif du ravitaillement alimentaire de Paris à la fin du XVIIIe s., bilan que nous avons précédemment analysé (PIREN-Seine, rapport de synthèse IIIe phase 'Analyse Rétrospective'). Les travaux récents de Barles et Lestel (2004) leur ont permis de dresser le même bilan pour l'année 1817. Enfin, nous avons tenté de comparer ces chiffres à la consommation actuelle de l'agglomération parisienne, évaluée à partir des enquêtes sur la consommation des ménages de l'INSEE. Les chiffres sont résumés dans le tableau 4. Ce tableau montre une très bonne cohérence entre ces diverses estimations indépendantes, notamment lorsque les chiffres sont ramenés à la population. Il montrent ainsi la diminution constante de la consommation par habitant de pain, l'accroissement de celle de la viande, et du fromage.

**Tableau 4.** *Consommation des denrées alimentaires par Paris*

nb d'habitant	1780			1817			1998			
	600 000	713 421	9 200 000							
	%N	tN/an			gN/hab/an					
Pain	1,4	1817	1 895	9914	3028	2656	1078			
autres féculents	1.8	31	74	6509	51	104	707			
légumes et fruits	1.1			18919			2056			
legumes & fruits sec	2.1	0	467	272	0.7	655	30			
Viande	3.4	857	1278	26554	1428	1791	2886			
Poisson	3,4	231	192	7833	384	269	851			
Œufs	2,1	90	78	2869	150	109	312			
Fromage, pdts lait.	3,7	55	55	23157	92	77	2517			
Lait	0,5		228	3347		320	364			
Café,cacao	0,17	2	4	1130	4	6	123			
Vin et cidre	0,034	23	14	254	39	23	28			
<b>total</b>		3.1 ktN/an	4.3 ktN/an	10.1 ktN/an	14 gN/hab/j	16 gN/hab/j	30gN/hab/1			

Sources: **1780**: Phillippe, R (1961), Barles et al. (2002) ; **1817** : Barles & Lestel (2004,ce rapport) ; **1998** : INSEE (enquêtes sur la consommation des ménages)

### 3.2. Origine de l’approvisionnement alimentaire de Paris

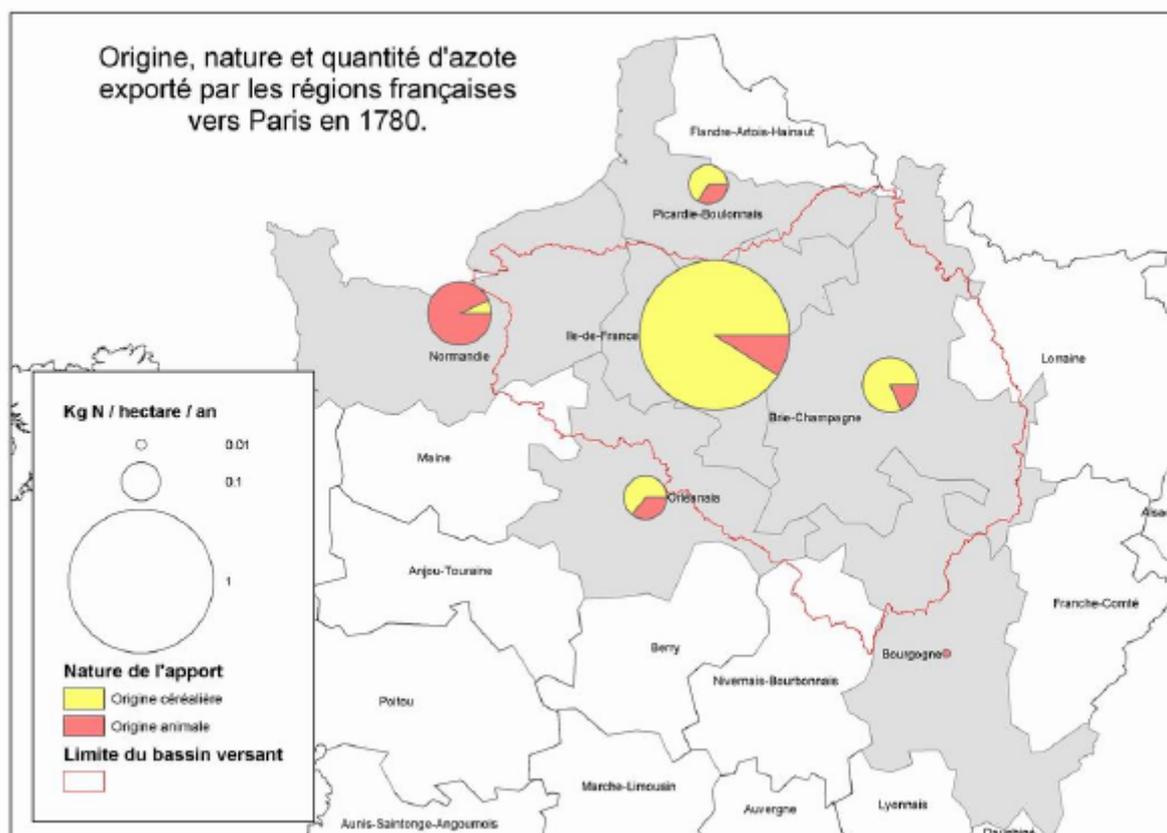
Les travaux de Kaplan (1999) et d’Abad (2002) permettent en outre de définir géographiquement l’origine des denrées agricoles consommées par la Capitale (Tableau 5). Le propos de ces chercheurs, qui abordent la question de l’approvisionnement de Paris dans une perspective d’Histoire Economique, est de montrer comment l’approvisionnement de la capitale conduit à une redistribution financière considérable de Paris vers l’ensemble des provinces françaises. Traduits en flux matériels (d’azote en particulier), le tableau est très différent : Les provinces limitrophes de Paris assurent 86% de son approvisionnement, et l’Ile-de-France à elle seule en assure 46%.

**Tableau 5** Part des provinces françaises dans l’approvisionnement de Paris en denrées alimentaires (d’après Abad, 2002)

	ton/an	tN/an	Ile de France	Normandie	Brie/Champ	Orléanais	Picardie-Boulonnais	Bourgogne	Maine	Nivernais	Berry	Flandres-Artois-Hainaut	FrancheComté	Auvergne	Marche-Limousin	Anjou-Touraine	Poitou	Bretagne	Provence
			%																
Pain	100940	1816	64	2	23	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riz	1715	31																	
Bovins	13994	476	0	51	0	2	0	0	2	5	5	0	0	1	24	4	2	1	0
Veaux	2463	84	40	30	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moutons	3994	136	14	22	5	14	6	0	3	0	25	5	0	0	3	0	3	0	0
Porcs	2743	93	35	30	10	0	0	0	3	5	0	0	0	0	15	0	0	0	0
Volaille-gibier	2000	68	18	27	12	15	5	0	17	0	1	0	0	1	0	2	1	0	0
poisson frais	1200	41	0	88	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
poisson salé	3900	132	0	60	0	0	10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	8	1
Carpes	1600	54	5	0	35	25	0	20	0	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Brochets & ô	80	2.7	5	0	35	25	0	20	0	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Légumes			90	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Œufs	4290	90	15	25	30	10	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
lait et crème			99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beurre	2866	4	10	55	8	17	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fromage	1380	51	2	1	10	0	0	0	0	0	0	2	29	4	0	0	0	0	0
Sucre	3185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Miel	100		10	10	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Confitures	100		0	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25	0	0	0
Huile	2940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Vin	67267	22	13	0	15	19	0	28	0	0	0	2	0	2	0	4	0	0	0
Cidre	538	0.269	10	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		<b>3108</b>																	

Ramenés à la surface régionale, les flux d’exportation de denrées alimentaires des Provinces vers Paris représentent au maximum 1.2 kgN/ha/an (Ile-de-France), mais seulement de 0.1 à 0.2 kgN/ha/an pour les autres régions limitrophes.

La nature des produits exportés montre cependant d'importantes différences régionales : l'analyse du simple rapport entre flux d'azote exportés sous forme de produits céréaliers ou sous forme de produits animaux montre une spécialisation considérable de l'activité commerciale des provinces du bassin parisien, avec des provinces très spécialisées dans l'élevage commercial (Normandie, Bourgogne), tandis que d'autres semblent déjà s'être tournées vers les productions céréalières d'exportation (Ile-de-France, Brie-Champagne) (Figure 9 et tableau 6).



**Figure 9.** Exportation vers Paris de produits alimentaires(en kgN/ha/an) par les provinces françaises vers 1780. Part relative des produits céréaliers et des produits animaux.

**Tableau 6.** Exportation commerciale vers Paris de produits alimentaires des provinces limitrophes en 1780.

	Ile de France	Normandie	Brie/Champ	Orléanais	Picardie-Boulonnais	Bourgogne
surface, km <sup>2</sup>	11 000	20 000	25 000	15 000	10 000	19 000
Exportations, kgN/ha/an	1.165	0.260	0.206	0.135	0.111	0.010
kgN/ha/an pdts céréaliers	1.057	0.018	0.167	0.085	0.073	0.000
kgN/ha/an pdts animaux	0.105	0.242	0.038	0.048	0.038	0.007
rapport pdts anim / total (%)	9	93	18	35	34	66

## 4. Conclusion

Ce survol rapide et non exhaustif des données et des pistes d'analyse du fonctionnement biogéochimique des systèmes régionaux, nous paraît justifier d'entreprendre de ce point de vue l'étude des modifications historiques que le développement de la demande alimentaire de Paris a induit dans le fonctionnement des régions rurales limitrophes du XVIII au XXI<sup>e</sup> siècle. Une première tâche consistera dans l'établissement de bilans spatialisés du fonctionnement des régions agricoles actuelles du bassin de la Seine, puis dans la recherche de leur tendances évolutives passées.

## 5. Bibliographie

- Abad, R. (2002). *Le Grand Marché : l'approvisionnement alimentaire de Paris sous l'Ancien Régime*. Fayard, Paris.
- Archibold, O.W. (1995). *Ecology of World Vegetation*. Chapman & Hall, London.
- Ascher, F. (2001) *Les nouveaux principes de l'urbanisme. La fin des villes n'est pas à l'ordre du jour*. Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues
- Billen G., Garnier, J. and Rousseau, V. (in press). Nutrient fluxes and water quality in the drainage network of the Scheldt basin over the last 50 years. *Hydrobiologia*
- Boyer E., Goodale C., Jaworski, N., R.W. Howarth (2002). Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern USA.. *Biogeochemistry* 57/58: 137-169.
- Fustec, E., Lefeuvre, JC et coll (2000). *Fonctions et valeurs des zones humides*. Dunod, Paris.
- Howarth R.W., Billen G, Swaney D., Townsend A., Jaworski N., Lajtha K., Downing J.A., Elmgren R., Caraco N., Jordan T., Berendse F., Freney J., Kudryarov V., Murdoch P., and Zhao-liang Z. (1996). Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic ocean: natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-139.
- Kaplan, S.L. (1988). *Les Ventres de Paris. Pouvoir et approvisionnement dans la France d'Ancien Régime*. Fayard, Paris.
- Mazoyer, M. & Roudart, L. (1998). *Histoire des agricultures du monde. Du Néolithique à la crise contemporaine*. Seuil, Paris. 531 p.
- Perakis, SS & L.O. Hedin (2002). Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature* 415, 416-419.
- Philippe, R. (1961). Une opération pilote : l'étude du ravitaillement de Paris au temps de Lavoisier. *Annales. Economies, Sociétés, Civilisations*. 16 (3), 564-568.
- Simeonov, B. (1997). *Bilan et modélisation du cycle de l'azote dans le bassin de la Seine: comparaison 1970-1990*. Mémoire de DEA Sciences et Techniques de l'Environnement. Paris sept 1997

**Tableau 3.** Bilan d'azote sur quelques bassins versants d'Amérique du Nord et d'Europe occidentale (Boyer et al., 2002, Simeonov, 1997, DeBecker et al, 1988; Billen 2003,

Bassin	SBV, km <sup>2</sup>	inhab/km <sup>2</sup>	% forêt	Importations d'azote en kgN/km <sup>2</sup> /yr							Export d'N en kgN/km <sup>2</sup> /yr			% retention
				Depot atmosph.	Fix Natm forest	engrais	Fix Natm agricult.	Import fourrage	Import aliment	Import total	Export aliment	Exportati on hydrique	Accumul ou pertes gazeuses	
Penobscot	10109	8	84	575	58	91	74	55	0	853	18	317	518	61
Kennebec	13994	9	80	677	50	54	164	171	0	1116	17	333	766	69
Androscoggin	8451	17	85	779	69	80	146	247	0	1321	10	404	907	69
Saco	3349	16	87	885	107	42	96	49	55	1234	0	389	845	68
Merrimack	12005	143	75	921	151	147	213	150	647	2229	0	499	1730	78
Charles	475	556	59	996	218	197	187	62	2745	4405	0	1756	2649	60
Blackstone	1115	276	63	1040	260	307	305	217	1279	3408	0	1140	2268	67
Connecticut	25019	65	79	962	102	274	360	398	167	2263	0	538	1725	76
Hudson	11942	32	81	1033	103	204	374	251	20	1985	0	502	1483	75
Mohawk	8935	54	63	1075	70	411	1239	758	0	3553	134	795	2624	74
Delaware	17560	85	75	1212	201	527	675	155	197	2967	0	961	2006	68
Schuykill	4903	293	48	1143	190	1207	1225	1401	551	5717	0	1755	3962	69
Susquehanna	70189	54	67	1138	179	615	1147	1554	0	4633	459	977	3197	69
Potomac	29940	63	61	769	271	1024	1173	2085	0	5322	633	897	3792	71
Rappahannock	4134	24	61	893	277	1030	1439	898	0	4537	291	470	3776	83
James	16206	24	81	953	361	361	703	487	0	2865	91	314	2460	86
Seine 1996	73801	195	26	298		7723	813	406		9241	5691	1206	2344	25
Seine 1970	73801	186	26	298		4471	745	542		6057	2778	894	2385	39
Marne 1996	12762	108	26	313		7836	940	0		9089	6347	1066	1677	18
Marne 1970	12762	91	26	313		3996	940	0		5250	2743	680	1827	35
Seineamont 1996	30797	85	29	292		7923	617	260		9092	5585	912	2595	29
Seineamont 1970	30797	64	27	292		4448	714	325		5780	2565	583	2632	46
Oise 1996	16972	101	22	295		7660	943	295		9192	5892	1066	2234	24
Oise 1970	16972	86	20	295		4537	884	295		6010	3123	968	1919	32
Eure 1996	6031	93	21	332		7793	1161	1326		10612	6467	2545	1600	15
Eure 1970	6031	69	19	332		6135	497	995		7959	3648	858	3453	43
Escaut 1980	21800	426	12	500		6200	800	6200		13700	200	2500	11000	80