

# Une vue d'ensemble du fonctionnement du Système Seine

Gilles Billen<sup>1\*</sup>, Marie Silvestre<sup>1</sup>, Sabine Barles<sup>2</sup>, Josette Garnier<sup>1</sup>, Jean-Marie Mouchel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR Sisyphe, UPMC/CNRS, Paris.

<sup>2</sup> LTMU, Institut Français d'Urbanisme - Université de Paris 8

\* personne à contacter Gilles.Billen@upmc.fr

**Avertissement :** Ce rapport reprend l'essentiel du contenu du fascicule introductif de la série qui sera prochainement éditée par l'AESN à l'occasion du vingtième anniversaire du PIREN-Seine.

## 1 Introduction

Un système fluvial est un ensemble de milieux terrestres plus ou moins anthropisés et d'infrastructures humaines, structurés par un réseau de cours d'eau, échangeant avec l'atmosphère et les nappes souterraines.

Le « Système Seine » s'étend ainsi sur 75 000 km<sup>2</sup> drainés par 23 000 km de cours d'eau au travers desquels s'écoulent chaque année 14 milliards de m<sup>3</sup> d'eau, une surface habitée par une population de 16 millions de personnes, qui récoltent tous les étés 12 millions de tonnes de blé, qui consomment chaque jour cent mille tonnes d'équivalent pétrole, qui utilisent 25 millions d'euros de médicaments, et bien d'autres choses encore... Le fonctionnement de ce système extraordinairement complexe est assuré par d'innombrables et incessants échanges de matières, d'énergie et d'information entre ses constituants. Certains de ces échanges (par exemple, la consommation de carburant, les travaux publics,...) dépendent directement de la volonté humaine et sont organisés dans l'espace par des acteurs parfaitement identifiables, soumis à des réglementations. D'autres (comme les précipitations, l'infiltration de polluants dans les aquifères, la prolifération d'une espèce invasive) résultent de processus difficiles à maîtriser mais que l'activité humaine influence cependant elle aussi. Le système Seine n'est pas isolé dans le monde, il interagit aussi avec les systèmes voisins, exporte ses productions bien au-delà de ses frontières, importe des produits de la terre entière, puise dans les ressources de toute la planète.

Nous avons voulu ici donner un aperçu d'ensemble des principales fonctions assurées par le Système Seine, en décrivant quelques uns des principaux flux de matière qui caractérise son fonctionnement. Nous poserons d'abord le cadre géographique. Le réseau hydrographique de la Seine est au cœur d'une vaste cuvette sédimentaire, qui recueille les eaux de pluies et les achemine jusqu'au Havre. Dans cet espace irrigué par les cours d'eau, les gens ont construit au fil des siècles un environnement humanisé. Quelle population comporte aujourd'hui le bassin de la Seine, comment évolue-t-elle, comment est-elle répartie dans l'espace ?

Nourrir les hommes est la première fonction attendue du territoire. Le développement de l'agriculture, au cours d'une longue histoire, a complètement façonné le paysage de tout le bassin versant. Ce bassin a longtemps été l'espace nourricier des villes et de Paris en particulier. Aujourd'hui, si le bassin fournit toujours l'essentiel de l'eau potable des habitants, la production agricole n'est plus tournée principalement vers les besoins locaux, et s'ouvre sur les marchés mondiaux. Loger les hommes, les vêtir, les équiper sont d'autres fonctions remplies jadis principalement grâce aux seules ressources de l'espace du bassin, aujourd'hui assurées en puisant dans des réserves plus lointaines.

Transporter les biens de leur lieu de production à leur lieu de consommation, s'approvisionner en énergie, éliminer les déchets que génèrent production et consommation, sont autant de nouvelles fonctions qui découlent de ces fonctions primaires.

Si pour remplir toutes ces fonctions l'homme a complètement artificialisé son environnement, il a cependant toujours besoin de respirer de l'air pur, de boire de l'eau saine, de se ressourcer dans une nature apaisante. Il

souhaite aussi préserver la biodiversité des organismes sauvages et domestiques qui constitue un patrimoine irremplaçable et participe parfois plus qu'on ne le croit à la réalisation de fonctions essentielles.

Comment gérer l'espace régional pour laisser coexister ces multiples fonctions, sans que l'une d'elle domine l'autre, sans empiéter non plus, en puisant trop largement dans les ressources extérieures, sur le fonctionnement d'autres systèmes régionaux ? Tel est le difficile enjeu d'une gestion durable de notre environnement. Parce que l'eau participe de toutes les fonctions que nous avons évoquées, la gestion des ressources hydriques, en quantité et en qualité est au centre de toutes ces questions. Le « bon état écologique » des masses d'eau, objectif imposé par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, est ainsi étroitement lié au bon fonctionnement du système bassin versant.

## **2 Le cadre géographique : la nature et les hommes**

### **2.1 Les contraintes de la géologie et de l'hydrologie**

Le bassin parisien est une vaste formation géologique sédimentaire, composée d'une alternance de roches calcaires, argileuses et sableuses déposées aux ères secondaire et tertiaire et quaternaire et formant comme une pile d'assiettes entourée des vieux massifs granitiques et cristallins du Morvan au Sud Est, de Normandie et de Bretagne au Sud Ouest et d'Ardenne au Nord Est (Figures 1 et 2). C'est dans cette formation qu'est contenu le bassin hydrographique de la Seine, mais aussi une partie de ceux de la Meuse, de la Saône et de la Loire.

Lors des épisodes climatiques anciens, l'érosion a fait son œuvre et des sables et graviers alluvionnaires ou des limons éoliens ont été déposés. Diverses régions naturelles peuvent être distinguées en fonction des roches affleurantes et du relief que l'érosion y a imprimé, plus accentué sur les pourtours du bassin là où affleurent les massifs anciens ou là où les couches géologiques plus dures sont bordées de roches plus tendres (les côtes d'Ile-de-France et de Champagne). Les plateaux Bourguignons, à l'est du bassin, sont formés des épaisses couches calcaires du Jurassique. Ils sont limités à l'ouest par la Champagne humide, étroite bande argileuse formant une dépression humide, prolongée vers le nord par le massif de l'Argonne fait d'un grès plus dur. La Champagne crayeuse forme au contraire un plateau sec et uniforme que traversent les grandes vallées alluviales de la Seine, de l'Aube et de la Marne. On retrouve la craie à l'Ouest dans le pays de Caux et le Vexin, là recouverts de limons. L'Ile de France, délimitée par l'affleurement des roches tertiaires, souvent recouvertes de limons éoliens, occupe le centre du bassin et comprend la Brie, le Gâtinais, le Soissonnais et la Beauce. Le réseau hydrographique de la Seine traverse de part en part ces diverses formations, au centre desquels se rassemblent les principaux tributaires.

Le régime hydro-climatique de la Seine est celui des fleuves de plaine de l'Europe tempérée océanique: les crues ont lieu en hiver, dépassant fréquemment 1000 m<sup>3</sup>/s à Poses, tandis que la fin de l'été est marquée par un étiage sévère avec un débit qui ne dépasserait guère 50 m<sup>3</sup>/s s'il n'était soutenu par les lâchures des barrages réservoirs de Champagne et d'Yonne.

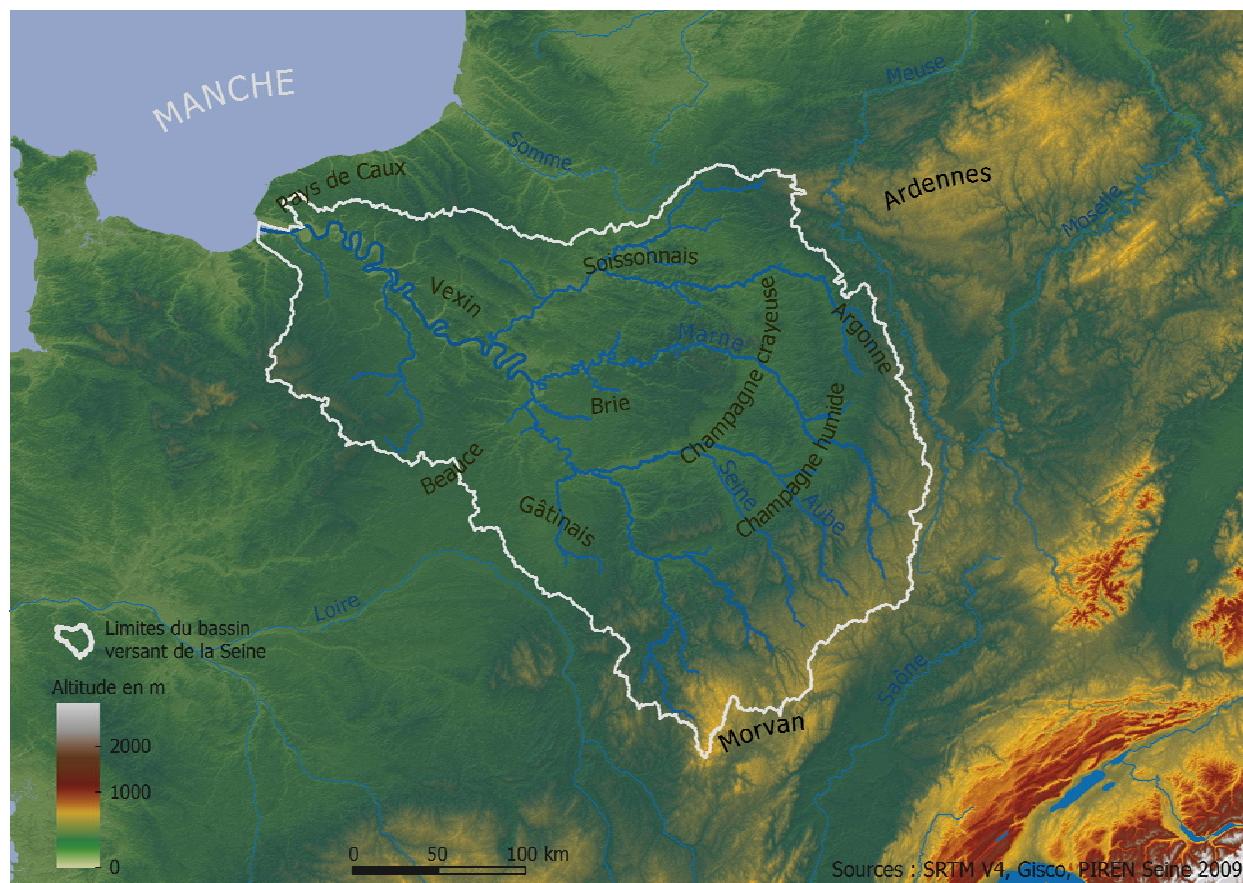


Figure 1: Le bassin de la Seine dans le relief du Nord de la France

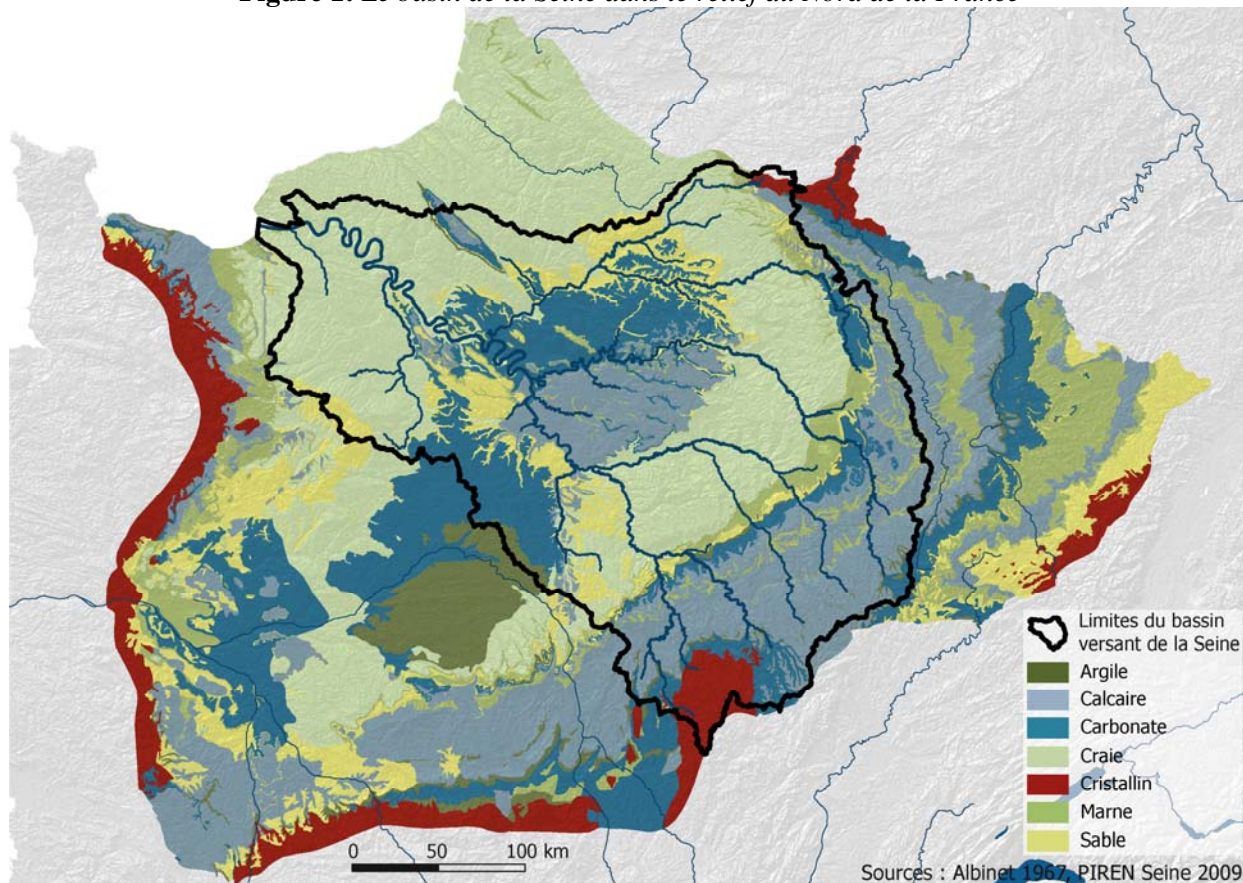
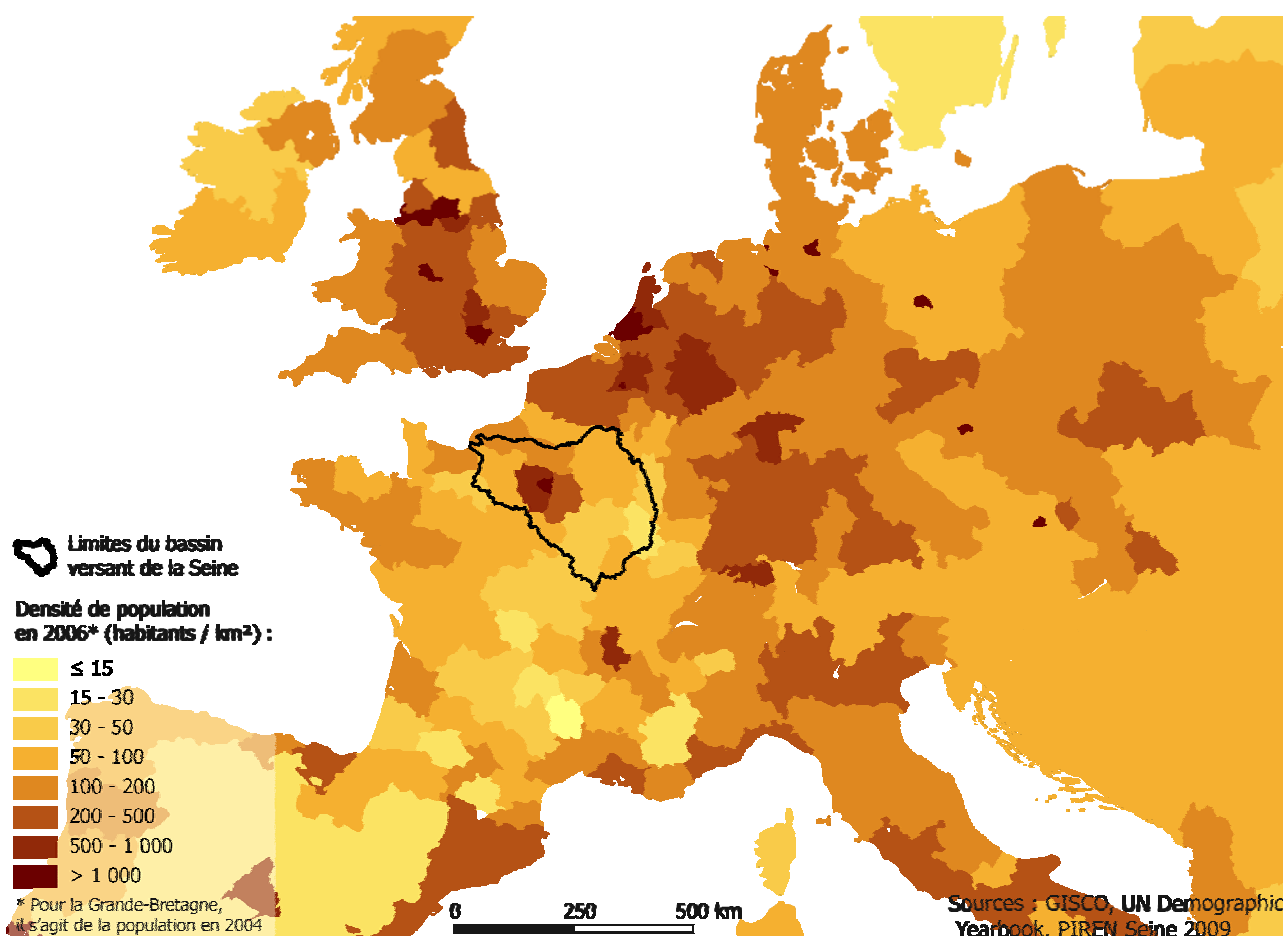


Figure 2 : Carte lithologique du bassin parisien (d'après Albinet, 1967)

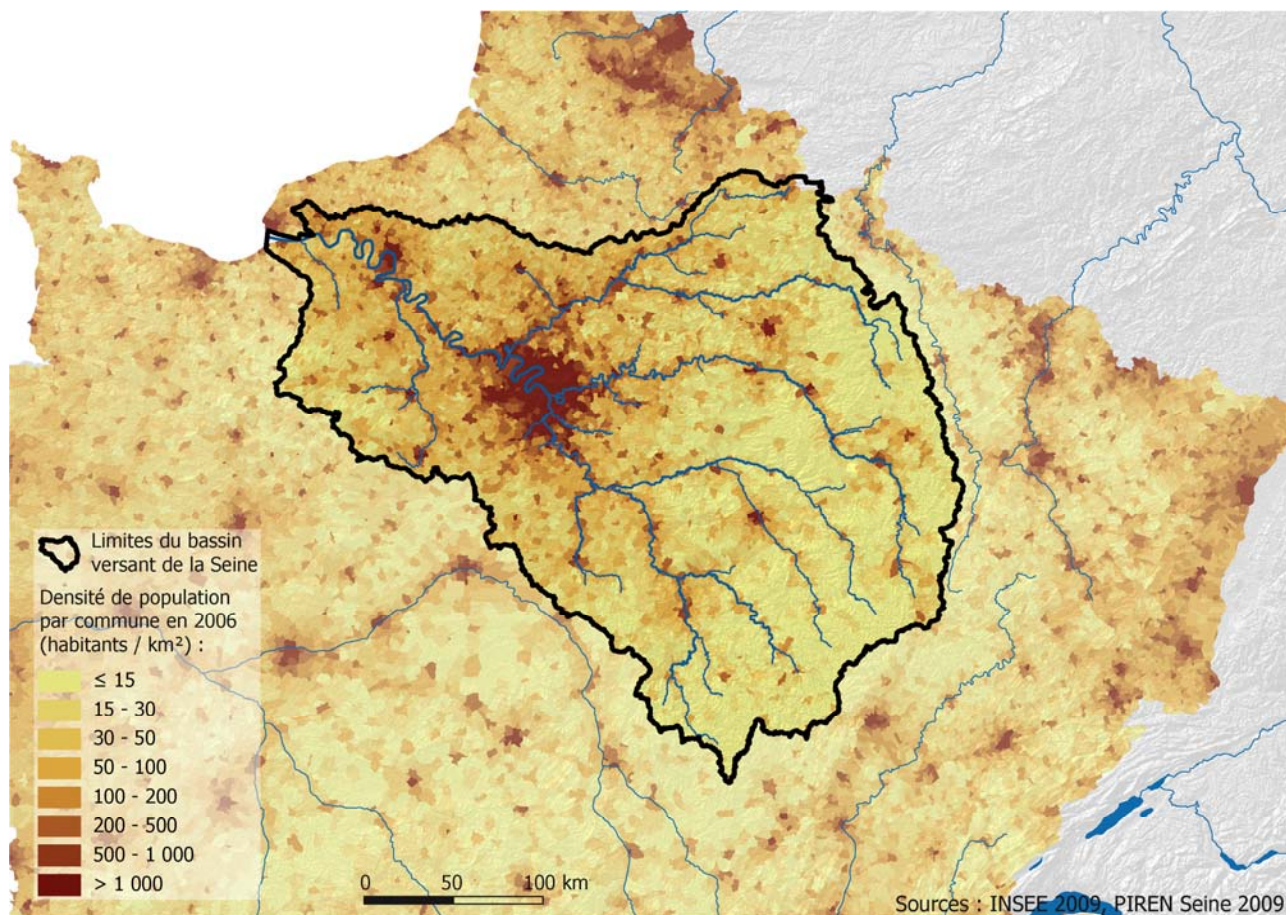
## 2.2. La population du bassin de la Seine

Au nord et à l'est du bassin parisien géologique, s'étend une des régions les plus peuplées du monde, avec des densités de population de l'ordre de 500 hab/km<sup>2</sup> (Figure 3). C'est la grande dorsale européenne (que les médias ont popularisés sous le nom de « Banane Bleue »), drainée par le Rhin, la Moselle et la Meuse et qui s'étend encore au-delà de la Manche dans le bassin de la Tamise et vers le sud jusqu'à la vallée du Pô. Considérée par beaucoup comme le centre économique de l'Europe, cette dorsale est de fait le lieu historique des premiers développements commerciaux et industriels. Le bassin de la Seine n'appartient pas à cet espace; l'énorme agglomération parisienne en est séparée par une ceinture de régions restées plus rurales.



**Figure 3.** Densité de population en Europe. On distingue bien la dorsale européenne et le relatif isolement du bassin parisien par rapport aux autres centres de population dense du nord de l'Europe.

La population actuelle du bassin de la Seine se monte à quelque 16 millions d'habitants, représentant plus du quart de la population française, avec une densité de population de 200 hab/km<sup>2</sup>, le double de la moyenne nationale (Figure 4). Cette population se concentre pour la plus grande part dans l'agglomération parisienne (10 000 000 d'habitants) et long de l'axe principal de la Seine en aval de Paris jusqu'à Rouen et au Havre. En amont de la région parisienne, les principales agglomérations sont localisées le long des grands affluents, de sorte qu'il est frappant de constater que la densité de population suit assez fidèlement le tracé des cours d'eau, les interfluves étant caractérisés par des densités de population inférieures à 20 hab/km<sup>2</sup>.



**Figure 4.** Densité de population communale actuelle (INSEE 2009) du bassin de la Seine

Les données historiques dont nous disposons permettent de reconstituer l'évolution de la population du bassin de la Seine et de Paris depuis près d'un millénaire (Figure 5). Les X<sup>ème</sup> et XI<sup>ème</sup> siècles ont été, dans toute l'Europe occidentale, une période de rapide expansion d'une population qui reste essentiellement rurale. Par contre, du XII<sup>e</sup> jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, si l'on excepte la période de guerre et d'épidémie du XIV<sup>e</sup> siècle, la population du bassin de la Seine reste stable autour de 3 millions d'êtres, soit une densité de population de 50 habitants par km<sup>2</sup>. Durant cette longue période, le poids de la population urbaine, et plus particulièrement de la population parisienne évolue énormément : de quelques milliers d'habitants au début du XI<sup>e</sup> siècle, Paris, devenue capitale du royaume sous le règne de Philippe Auguste (1180-1223), s'accroît rapidement, atteint 200 000 habitants au début du XIV<sup>e</sup> siècle, décroît ensuite puis reprend sa croissance après les guerres de religion pour atteindre 600 000 habitants à la veille de la Révolution Française. Du XII<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle, la population rurale est restée assez stable (toujours avec une densité proche de 50 hab/km<sup>2</sup>), tandis que le poids de la population urbaine s'est accrue considérablement, passant de 5% à 20% du total.

Par contre au cours du XIX<sup>ème</sup> (Figure 6) et du XX<sup>ème</sup> siècle, la population des villes, et de l'agglomération parisienne en particulier, est multipliée par 20 et ce mouvement s'accompagne, à partir de 1950, d'une diminution de la population rurale. Aujourd'hui 85% de la population du bassin est urbaine au sens de l'INSEE, c'est-à-dire vit dans des agglomérations de plus de 2000 habitants.

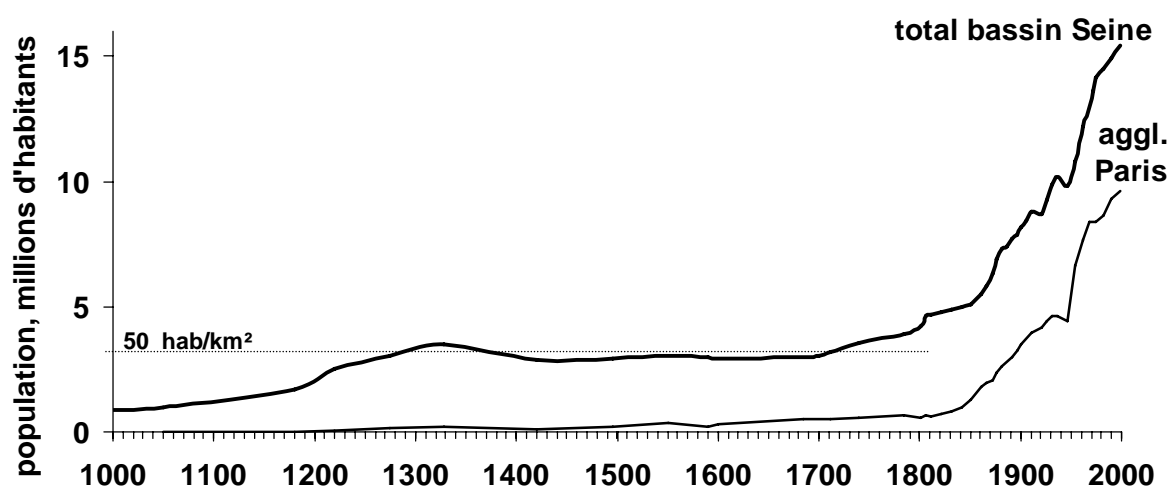


Figure 5. Evolution historique de la population du bassin de la Seine et de l'agglomération parisienne (Billen et al., 2009)

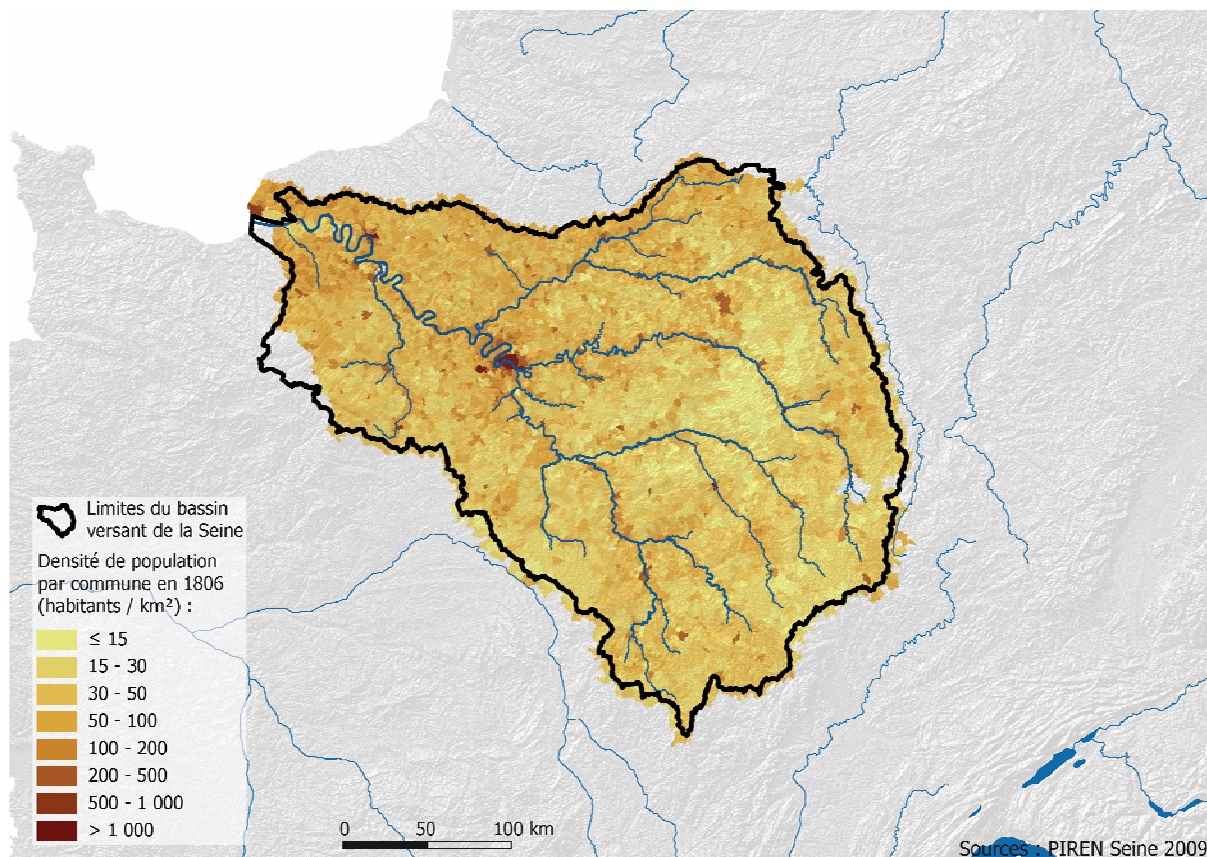


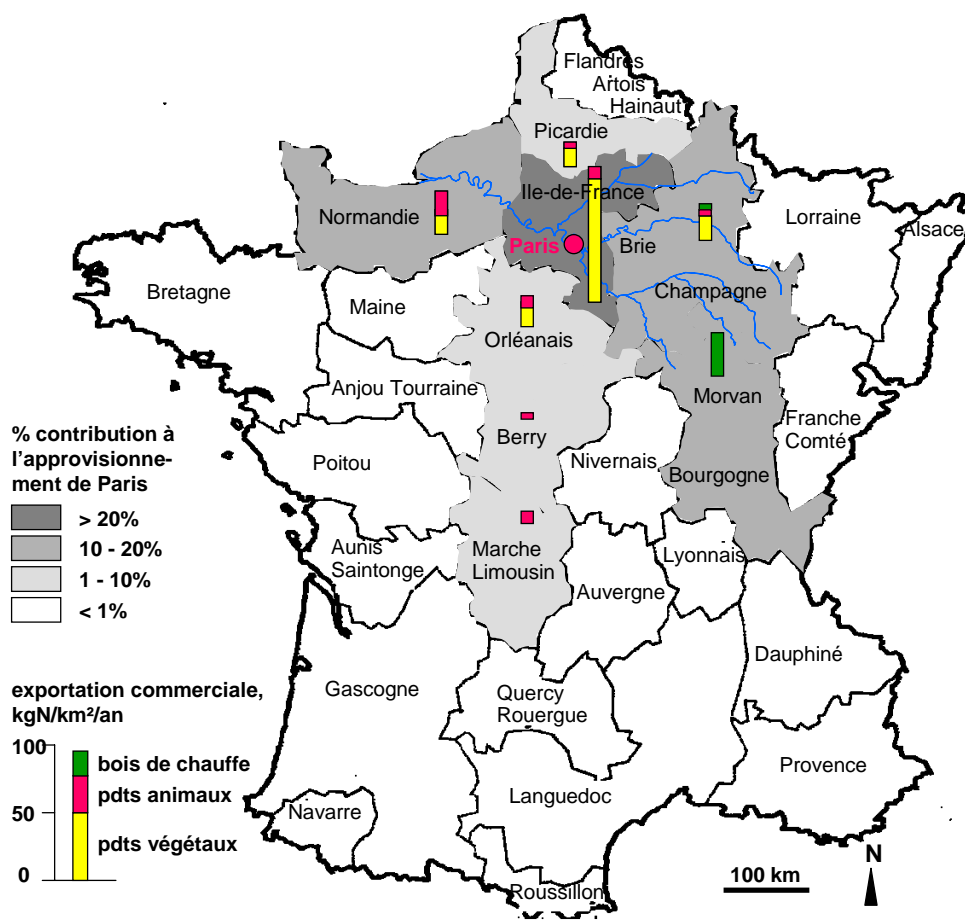
Figure 6. Densités de population communales en 1806 dans le bassin de la Seine

### 3. Les fonctions primaires : se nourrir, se loger, s'équiper

#### 3.1. Nourrir la Ville

Certains urbanistes définissent une ville comme un rassemblement de population qui ne produit pas elle-même sa nourriture (Ascher, 2001). C'est dire que « nourrir la Ville » est une fonction essentielle qui conditionne largement tout l'aménagement du territoire régional alentour.

A la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle, Paris, on l'a vu, compte déjà plus de 500 000 habitants. On sait très précisément ce qui y est consommé, notamment grâce aux relevés « *des marchandises et denrées de toute espèce qui se consomment annuellement à Paris* » établis par Lavoisier, père de la Chimie et Fermier Général, en charge de la collecte de l'octroi. Ce que révèlent ces relevés (Figure 7), qui comportent la mention de l'origine des biens importés, c'est que quantitativement 90% de la nourriture de Paris provient des provinces limitrophes, Ile de France, Brie, Beauce, Champagne, Picardie et Normandie. Le bois de chauffage et de boulange, pour sa part, est acheminé par flottage depuis la région du Morvan. Une surface de 60 000 km<sup>2</sup>, un cercle de 150 km de rayon autour de Paris est nécessaire à cette époque pour approvisionner Paris.



**Figure 7.** Contribution des régions du bassin à l'approvisionnement de Paris à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle (Billen et al., 2009).

Un siècle plus tard, au début du XX<sup>ème</sup> siècle, Paris compte 5 millions d'habitants : la population urbaine a décuplé, mais c'est toujours le même espace du bassin parisien qui la nourrit pour l'essentiel. C'est que dans le même temps, le milieu rural a évolué pour répondre à la demande urbaine et s'est profondément organisé autour de cette demande pour rendre possible la croissance urbaine. Sans pourtant de modification majeure du paysage, de nouvelles pratiques agricoles ont fait leur apparition, comme l'abandon de la jachère triennale

au profit de cultures de légumineuses fourragères fixatrices d'azote, permettant un accroissement de la charge en bétail et une meilleure fertilisation des terres arables.

Dans le bassin de la Seine depuis près d'un millénaire, des liens d'interdépendance très forts existaient donc entre la ville et la campagne qui l'entoure, des liens très structurants qui ont permis à ces deux mondes d'évoluer ensemble.

Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle (surtout dans sa deuxième moitié, depuis 1950), l'agglomération parisienne double encore sa population. Mais si on regarde aujourd'hui la surface qui serait théoriquement nécessaire pour l'alimenter, compte tenu des rendements de l'agriculture moderne telle qu'elle est pratiquée dans le bassin parisien, un espace beaucoup plus petit pourrait y suffire : à peine 10 000 km<sup>2</sup> (Tableau 1). Le bassin parisien produit 25 fois plus de céréales que Paris n'en consomme et les exporte pour l'essentiel ailleurs en France et à l'étranger, principalement vers des régions qui, contrairement au centre du bassin de la Seine, se sont spécialisées dans l'élevage. Paris de son côté ne s'approvisionne plus préférentiellement dans son hinterland naturel, et importe sa nourriture du monde entier. L'Ile-de-France, partie centrale du bassin de la Seine, importe chaque année 14 millions de tonnes de produits alimentaires, dont un quart seulement trouve son origine dans l'espace du bassin ; elle en réexporte les deux tiers, après transformation par une puissante industrie alimentaire (sucreries, conserveries), pour moitié hors des limites du bassin.

**Table 1.** Consommation actuelle (2000) de denrées agricoles par l'agglomération parisienne, et production correspondante des zones urbaines du bassin de la Seine (exprimées en termes de contenu en azote (Billen et al, 2009)

Consommation par l'agglomération parisienne	production par			
	Zone centrale (1)	Normandie (2)	Périphérie Est (3)	
Surface, km <sup>2</sup>	52657	17929	18257	
<b>Alimentation, ktonnes N/an</b>				
Pain et céréales	13	263	43	39
Fruits et légumes	11	342	37	26
Viande	29	7	7	3
Poisson et fruits de mer	8	-	-	-
Laitages	18	7	9.68	2.85
<b>Total, ktonnes N/an</b>	<b>78</b>	<b>619</b>	<b>96</b>	<b>72</b>
% approvisionnement Paris	100	789	123	92
<b>Potentiel d'export, kgN/km<sup>2</sup>/an</b>				
<i>En produits végétaux</i>		11597	5155	3209
<i>en produits animaux</i>		11401	4350	2914
		196	805	295

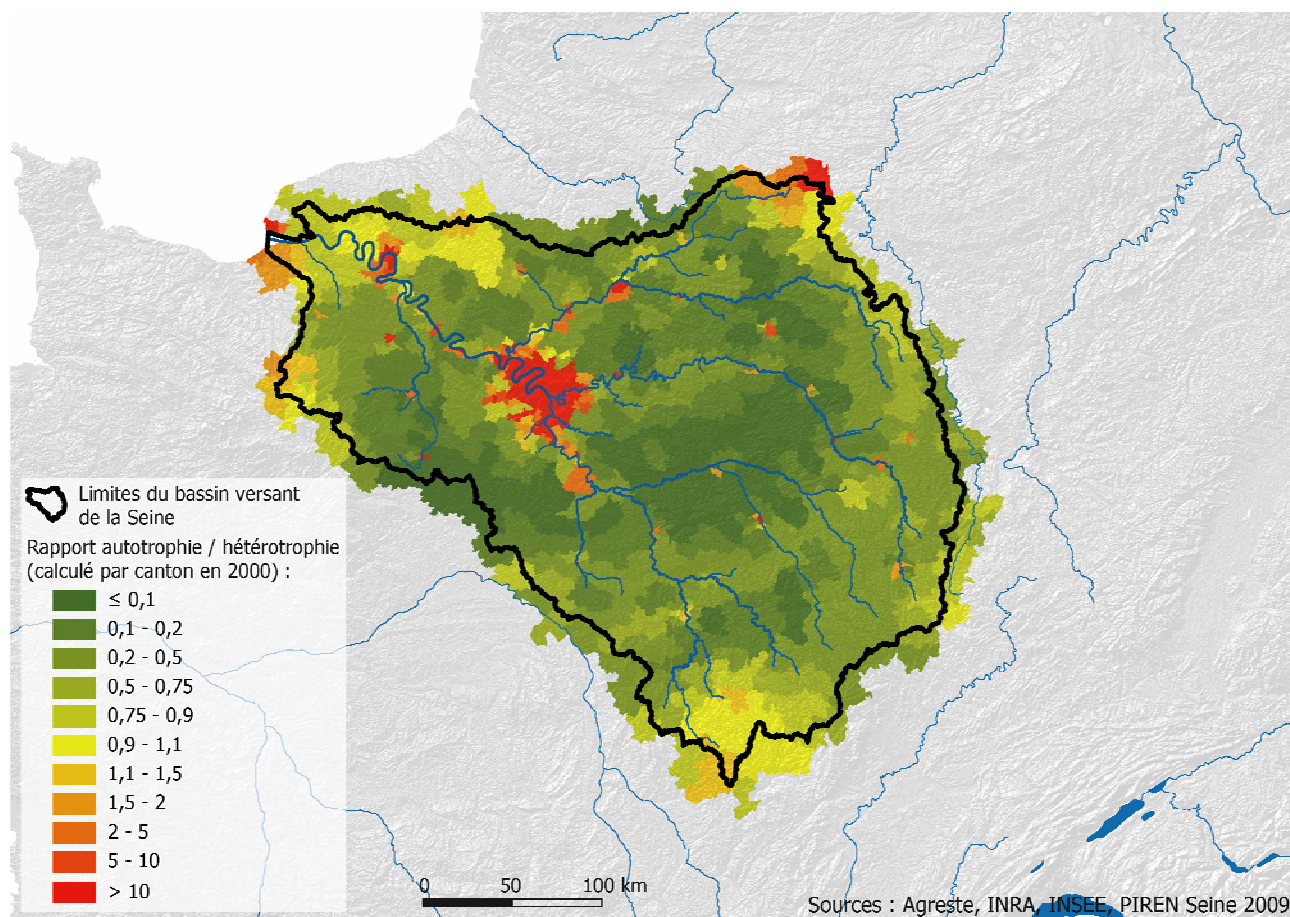
(1) Seine et Marne, Oise, Aisne, Marne, Aube, Yonne, Eure, Eure et Loir

(2) Orne, Calvados, Seine Maritime

(3) Ardennes, Haute Marne, Nièvre

L'extrême productivité de l'agriculture du bassin de la Seine et son choix d'exporter ses produits, en a fait un bassin autotrophe, produisant plus que ne consomment localement les hommes et ses animaux domestiques. Les zones hétérotrophes du bassin de la Seine sont constituées seulement par les grandes agglomérations urbaines et les zones périphériques du bassin à l'Est et à l'Ouest, où s'est reconcentré l'élevage, banni des grandes zones céréalières du centre du bassin (Figure 8).





**Figure 8:** Rapport autotrophie/hétérotrophie du bassin de la Seine (Billen et al, 2007)

Le lien entre Paris et le bassin parisien, rompu en ce qui concerne l’approvisionnement en nourriture reste encore essentiel en matière d’alimentation en eau potable. Qu’elle soit prélevée dans les aquifères ou dans les rivières, qu’elle subisse un traitement plus ou moins sophistiqué avant d’être distribuée, c’est le bassin versant qui, le premier, ‘fabrique’ l’eau des villes (voir plus loin, § 5.1). Or les pratiques agricoles qui se sont développées depuis une cinquantaine d’années, caractérisées par un recours massif aux engrais de synthèse et aux pesticides, menacent sérieusement la qualité de cette ressource, au point que le territoire qui produisait à la fois l’eau et la nourriture de la ville, ne peut plus assurer en maints endroits, la première de ces deux fonctions.

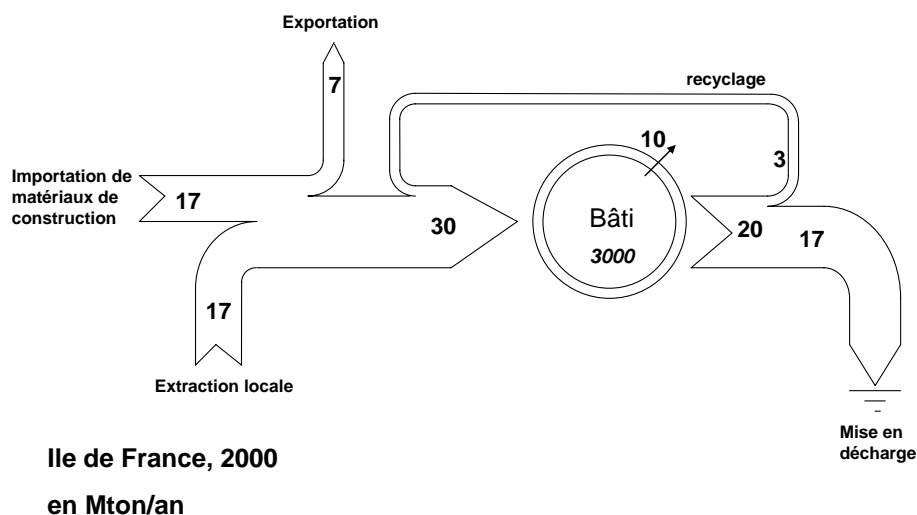
### 3.2. Bâtir la Ville

Ce qui caractérise aussi une ville, c'est le bâti, cette accumulation de bâtiments et d'infrastructures qui rend possible la vie urbaine, mais confère au paysage une dominante minérale.

#### *La pierre et le béton*

La pierre a longtemps été exploitée sur place dans des carrières à ciel ouvert puis souterraines (les actuelles catacombes en sont un vestige) tandis que le développement des voies navigables allait permettre l'importation sur des distances de plus en plus grandes. La géologie du bassin parisien se caractérise par l'affleurement de roches diverses, offrant une palette variées de matériaux de construction : calcaires propres à la fabrication de pierre de taille, et meulières formées par silicification dans les calcaires de Brie et de Beauce, argiles de l'Yprésien pour les briques et les tuiles, sables d'Auvers et de Fontainebleau pour la verrerie... Le béton a aujourd'hui supplanté la pierre. Fait de ciment (du calcaire et de l'argile chauffée à 1500°C qui se réhydrate en durcissant) englobant des granulats (sable ou graviers), il est produit largement à partir de ressources aussi proches que possibles du lieu d'utilisation. Le bassin de la Seine ne manque ni de calcaire, ni d'argile : trois grandes cimenteries y sont en activité : à Gargenville (78), au Havre (76) et à Couvrot (51). Les granulats sont les plus chers à transporter et la pression sur les ressources proches des villes est donc considérable ; les anciens dépôts alluvionnaires des grandes rivières du bassin en sont la source principale. La Bassée, à elle seule, produit près de 8 millions de tonnes de granulats, suivie par la vallée de la Marne autour de Meaux (2 millions de tonnes), dont les gisements sont en voie d'épuisement, et les boucles de la Basse Seine (Carrières-sous-Poissy et Guermes Moisson, 2 millions de tonnes), également presque épuisées. Au total, en Ile de France, la surface de carrières en activité dépasse 4000 ha.

L'agglomération parisienne a accumulé près de 3 milliards de tonnes de matériaux de construction. Pour entretenir et accroître son parc d'immeubles et ses infrastructures, elle consomme chaque année près de 3 millions de tonnes de matériaux, dont la moitié extrait du sous-sol de l'Ile-de-France, l'autre étant importée de l'extérieur. Dans le même temps, la ville génère 20 millions de tonnes de déchets de construction dont seuls 15% sont recyclés (Figure 9).



**Figure 9.** Circulation des matériaux de construction en Ile-de-France (autour de 2000), en millions de tonnes par an (simplifié d'après Barles, 2007).

#### *Les autres matériaux de construction*

Si la pierre domine dans la ville, une grande variété d'autres matériaux sont nécessaires à sa construction. Leur accumulation au cours des siècles fait de la ville une mine de substances précieuses, ...ou potentiellement dangereuses. Dès 1820 par exemple, l'usage du zinc pour la couverture des toits connaît un

véritable engouement à Paris : aujourd'hui, 40% de la surface des toits parisiens est recouverte de zinc, ce qui représente plus de 1000 ha. Annuellement, le ruissellement de l'eau de pluie sur les toits de Paris génère un flux de 30 à 60 tonnes de zinc et de 15 à 25 tonnes de cadmium vers les eaux de surface.

Le stock de plomb accumulé dans les villes du bassin de la Seine est estimé à quelques 260 000 tonnes (Thévenot et al., 2007), dont plus de la moitié sous forme de canalisations, de gaines électriques et de peintures au plomb associés aux anciens bâtiments d'habitation. Les problèmes de santé publique qui en résultent (risque de saturnisme) conduisent à des réglementations sévères visant au remplacement de ces équipements. Ce remplacement ne se fera cependant pas avant plusieurs décennies tant l'inertie de ces stocks accumulés est considérable.

### 3.3. Produire l'équipement

Vivre aujourd'hui en société c'est aussi disposer, outre des moyens de se nourrir et de se loger, d'un certain nombre d'outils et de biens de consommation et profiter d'un certain nombre de services. La production et le commerce de ces biens et de ces services occupent la partie active de la population.

#### *L'emploi dans le bassin de la Seine*

A cet égard, l'espace du bassin de la Seine se distingue surtout du reste du territoire national par l'importance du développement des activités de service, largement liée au rôle administratif central dévolu à la capitale et à la désindustrialisation de l'agglomération à partir des années 1970 (Beaujeu-Garnier, 1977).

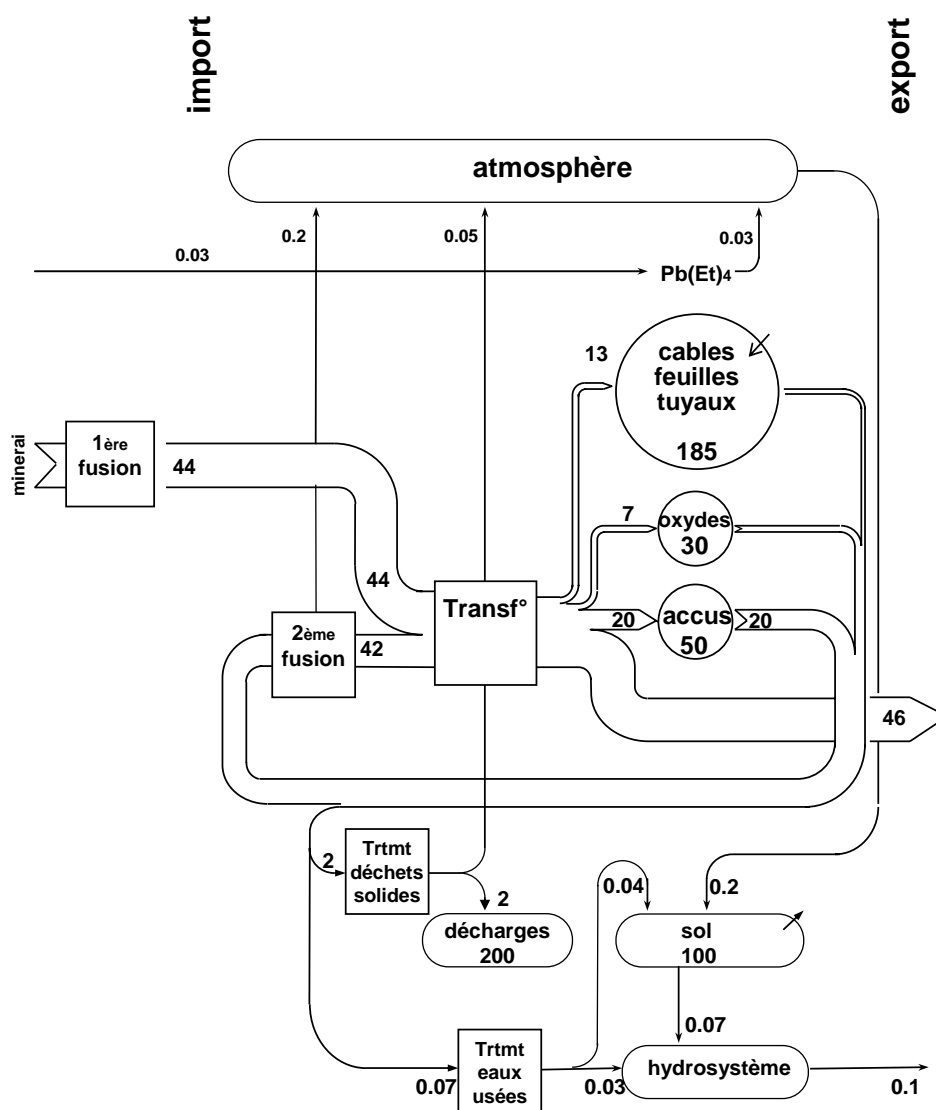
**Tableau 2.** *Structure de l'emploi dans le bassin de la Seine et en Ile de France par rapport à la moyenne nationale (source INSEE)*

secteur	Bassin Seine	%	Ile de France	%	France	%
Agriculture	105 951	1.4	18 818	0.3	946 662	3.4
Construction	400 314	5.3	259 966	4.7	1 809 795	6.5
Industrie	968 224	12.8	560 563	10.2	4 315 665	15.5
Commerce	971 627	12.8	702 872	12.8	3 814 491	13.7
Services	5 130 492	67.7	3 952 855	71.9	16 928 544	60.8
<b>total</b>	<b>7 576 608</b>	<b>100</b>	<b>5 495 074</b>	<b>100</b>	<b>27 843 000</b>	<b>100</b>

Cette tertiarisation importante de la partie centrale du bassin, jointe à la faiblesse des ressources minières du bassin parisien, explique le faible poids de l'industrie de base. Les cycles des matières premières sont très ouverts dans le bassin de la Seine, qui importe une large part de ses matières premières et des équipements consommés par sa population. Du point de vue de la qualité de l'eau dans le bassin, il résulte de cette caractéristique que la pollution liée aux établissements industriels est moins problématique dans le bassin de la Seine qu'elle ne peut l'être dans d'autres bassins, sièges d'une activité industrielle plus lourde, bien qu'il conserve sous la forme de sites et sols pollués la mémoire d'activités aujourd'hui révolues. Même s'il subsiste encore une activité industrielle diversifiée, où la chimie, la papeterie et les constructions métalliques jouent un grand rôle, c'est davantage la pollution liée à l'activité domestique et à l'extrême concentration de population et d'équipement existant au centre du bassin qui constitue l'enjeu majeur en matière de qualité des eaux. Pourtant, l'activité au sein du bassin dépend étroitement d'activités extérieures à ses frontières : tout se passe comme si le bassin de la Seine avait externalisé certaines, parmi les plus polluantes, des fonctions qui lui sont nécessaires. Elles se traduisent comme une « empreinte » que l'activité du bassin de la Seine exerce sur des territoires extérieurs, parfois lointains. Les deux exemples qui suivent illustreront et préciseront ce propos.

*Le métabolisme du plomb dans le bassin de la Seine*

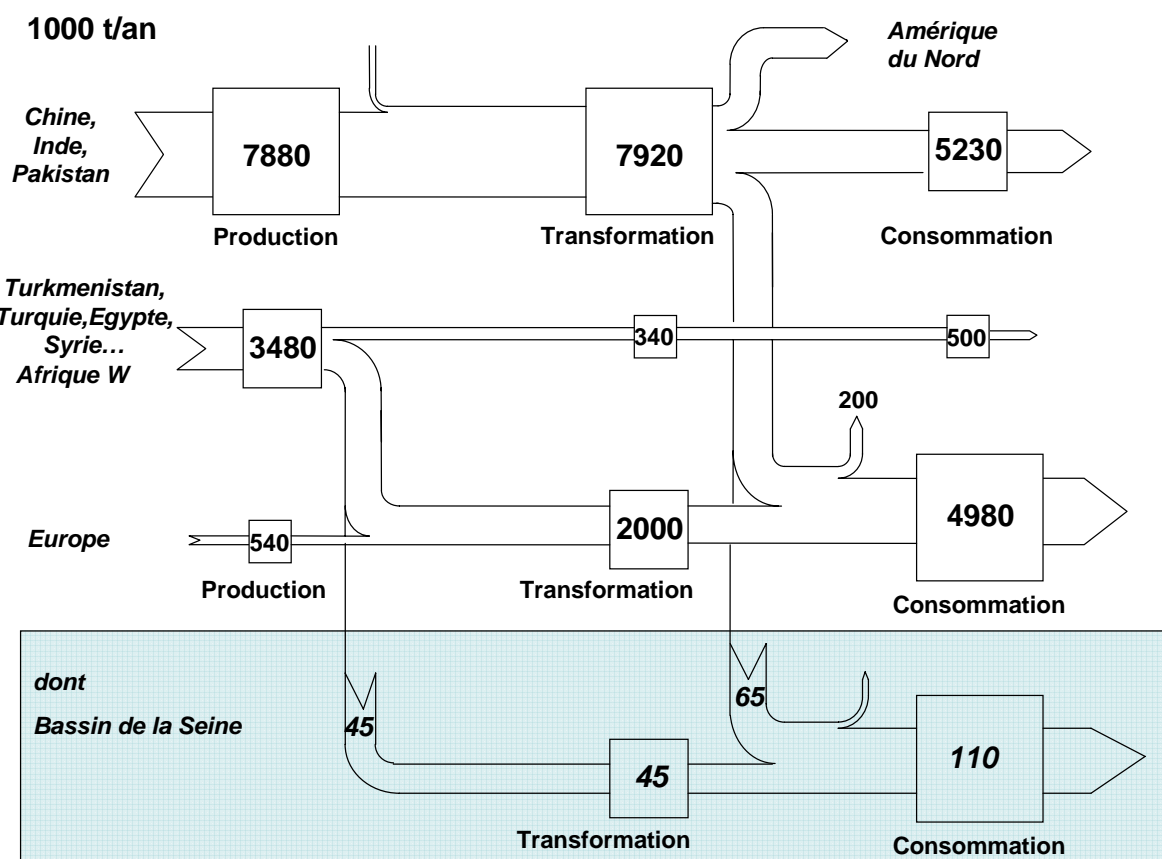
On a évoqué plus haut l'importance des stocks de plomb accumulés dans le bâtiment : canalisations, gaines électriques, peinture. D'autres équipements contiennent du plomb : batteries, accumulateurs, verre au plomb utilisés dans les écrans (oxydes), plomb de chasse, etc. Certains usages anciens du plomb sont en voie de disparition : les caractères d'imprimerie, les peintures au plomb, aujourd'hui interdites, le plomb tétraéthyle dans l'essence, banni depuis 2000. Ces biens sont produits à partir de plomb métal obtenu soit à partir de minerai (première fusion), soit à partir du recyclage d'objets en plomb (2ème fusion) (Figure 10). Le bassin de la Seine, qui ne possède pas de ressource de minerai, ne comporte pas d'usine de première fusion. L'importance des stocks d'objets en plomb liés aux concentrations urbaines, constituant ce que l'on peut qualifier de matière première secondaire, justifie par contre l'existence d'une activité de seconde fusion qui couvre une part importante des besoins locaux de plomb du territoire bassin de la Seine, mais également les exportations de biens manufacturés contenant du plomb. Au total, le bassin importe presque autant de plomb métal produit par première fusion à l'extérieur du système qu'il n'exporte de produits manufacturés vers l'extérieur : le bassin échappe ainsi à la partie la plus polluante du cycle du plomb. La contamination de l'atmosphère, des sols et de l'hydrosphère résulte donc essentiellement ici des fuites liées à la production et à la consommation de produits en plomb ainsi qu'à l'« érosion » des stocks en place à très long temps de séjour, qui pour beaucoup d'entre eux représentent l'héritage de modes anciens de fonctionnement industriels.



**Figure 10.** Le métabolisme du plomb en France et dans le bassin de la Seine en 2000 (sources : Lestel et al. (2007 ; L. Lestel & J.M. Mouchel, comm pers.)

*L'approvisionnement en coton et son empreinte hydrique*

Chaque habitant du bassin de la Seine consomme en moyenne 7 kg de coton par an, essentiellement pour son habillement, le coton constituant aujourd'hui 40% des fibres textiles utilisées pour les vêtements. Le coton n'étant pas cultivé en France, à peine en Europe, toute l'industrie textile européenne dépend de l'importation de matière première extérieure. Elle est aussi en concurrence très forte avec les pays émergents qui ont développé une importante activité de transformation de la fibre et de confection. Le secteur du coton est donc un des secteurs économiques les plus mondialisés. En faisant l'hypothèse que le bassin de la Seine, qui comporte une activité textile significative, se comporte comme la moyenne européenne, il est possible de retracer la place des flux de coton du territoire Seine dans les grands échanges mondiaux de fibres (Figure ...). Pour son activité de transformation, le bassin de la Seine importe principalement des fibres des pays arides d'Asie Centrale (Turkmenistan), d'Asie mineure (Turquie, Egypte, Syrie,...) et d'Afrique de l'Ouest, des pays qui n'ont pas développé une activité transformatrice très importante. Mais pour notre consommation finale de textile, l'importation de produits d'origine asiatique (Chine, Inde Pakistan) est massive et le prix de production très bas des articles courants issus de cette partie du monde oblige l'industrie française à s'orienter surtout vers les produits à haute valeur ajoutée et haute technologie. On a donc ici encore un secteur où, pour d'autres raisons que dans l'exemple précédent du plomb, la fourniture des biens consommés localement est assurée largement par l'importation de produits finis (Figure 11).



**Figure 11.** Représentation simplifiée des flux de coton (en milliers de tonnes par an) entre l'Europe et les principales régions du monde qui contribuent à son approvisionnement. Les flux correspondants à l'échelle du bassin de la Seine (encadré bleu) sont calculés sur base d'une consommation moyenne de coton de 7 kg/hab/an et selon l'hypothèse d'une similitude des échanges avec la moyenne des flux européens. (sources : Maligne, Montagni & Weyl, 2008)

La production de coton exige, à tous les stades de sa production des quantités d'eau très importantes : pour sa culture d'abord, à cause de la nécessité d'irriguer les terres plantées en cotonniers, des engrais et des traitements phytosanitaires nécessaires pour la filature, le tissage et la teinture. Le calcul des quantités d'eau nécessaires à toutes ces étapes dans les différents pays qui contribuent à l'approvisionnement du bassin de la Seine en coton montre que ce bassin importe virtuellement, avec les produits textiles qu'il consomme, près de 1200 millions de m<sup>3</sup> d'eau par an, soit l'équivalent de la consommation d'eau de distribution de la population. Ce qui est paradoxal dans cette situation c'est que cette «empreinte hydrique» du bassin de la Seine s'exerce dans des pays, en Asie et en Afrique, qui manquent cruellement d'eau par ailleurs.

#### 4. Les fonctions auxiliaires : transport, énergie, élimination des déchets

Pour assurer l'alimentation de la population, son logement et son approvisionnement en biens et services, de la matière et de l'énergie (ainsi que de l'information) doivent être transportées, à l'intérieur du bassin et à travers ses frontières, parfois sur de très longues distances. Nous examinons ici l'ampleur des transferts de matière et d'énergie opérés par l'activité humaine au sein du bassin de la Seine, et les voies qu'ils empruntent. Nous examinerons aussi comment s'organise la collecte, le recyclage, l'élimination ou le stockage des résidus de la consommation de matière associée à cette activité humaine.

##### 4.1. Les voies de transport

Le bassin de la Seine importe chaque année du reste de la France et de l'étranger plus de 130 millions de tonnes de marchandises : matériaux de construction, matières premières, combustibles, produits alimentaires, produits chimiques, biens manufacturés,... ; il en exporte quasi autant et les échanges internes aux régions qui le composent représentent près de 400 millions de tonnes de marchandises.

**Tableau 3.** Flux de marchandises transportés en 2006 dans le bassin de la Seine (toutes marchandises et tous modes de transport confondus) en milliers de tonnes par an. (Source : base SitraM, MEEDDAT).

10 <sup>3</sup> t/an	National	International	Total
Flux internes	387 208		387 208
Flux entrants vers le bassin	119 440	11 924	131 365
Flux sortant du bassin	109 392	11 935	121 326
Total	616 040	23 859	639 898

Ces flux de marchandises transitent par route, par voie ferrée et par voie fluviale. La route représente de loin le mode de transport le plus important, avec plus de 80% de l'ensemble des quantités transportées.

La voie fluviale a représenté dans le passé un moyen de transport privilégié, qui explique en partie la localisation des grandes agglomérations et marque encore profondément, on l'a vu, la distribution actuelle de la population du bassin. Des aménagements très lourds de la Seine et de ses principaux affluents en barrages éclusés ont permis, à partir de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, de réguler le niveau du plan d'eau de ces rivières, indépendamment du débit, de manière à rendre possible, en toute saison la navigation de péniches au tirant d'eau toujours plus important (voir encadré).



*Figure 12. Carte des voies fluviales reliant le bassin de la Seine aux autres grands bassins hydrographiques.*

Le transport fluvial concerne encore aujourd'hui des flux d'échanges significatifs de marchandise, particulièrement en ce qui concerne les matériaux de construction et les combustibles. Les meilleures performances écologiques du transport fluvial constituent un atout indéniable par rapport au transport routier et pourrait lui permettre de reprendre une place plus importante dans le transport de marchandise.

Trois grands chantiers sont actuellement en cours pour accroître le trafic par voies d'eau : Port 2000, la liaison Seine Nord et la mise à grand gabarit du secteur Nogent-sur-Marne. L'extension des capacités d'accueil du port du Havre, qui va profondément modifier le fonctionnement de l'estuaire de la Seine, vise surtout à permettre un doublement de la capacité d'accueil des porte-containers -ces grands transporteurs maritimes qui ont participé à la mondialisation des échanges commerciaux- et de reprendre ainsi des parts de marché aux grands ports d'Anvers et de Rotterdam qui desservent aujourd'hui près d'un tiers du trafic

international vers le bassin parisien. Le projet Seine-Nord Europe est en partie complémentaire. Il a pour objectif d'assurer une liaison par voies d'eau accessibles aux grands convois de plus de 4000 t entre le bassin de la Seine et ceux de l'Escaut et du Rhin. Outre la mise à grand gabarit d'une partie du réseau existant de rivières et de canaux déjà navigables, il s'agit essentiellement du creusement d'un canal de 105 km entre Compiègne et l'Escaut. La mise en service est prévue pour 2015.

Aucun aménagement de la morphologie des cours d'eau n'est neutre vis-à-vis de leur fonctionnement écologique. En modifiant les courants et les temps de séjour des masses d'eau, ces aménagements modifient le transport des particules et le développement des algues. Les grands secteurs canalisés des rivières du bassin de la Seine sont ainsi plus vulnérables à l'eutrophisation, ce qui justifie des efforts accrus de réduction des apports de nutriments qui leur parviennent.

#### 4.2. La consommation énergétique dans le bassin de la Seine

Les transports et le secteur résidentiel se partagent à part pratiquement égales 80% de la consommation énergétique du bassin de la Seine ; l'industrie consomme l'essentiel des 20% restant. Les produits pétroliers et le gaz naturel représentent ensemble 72% de l'approvisionnement, essentiellement importé si l'on excepte les quelques 540 milliers de tonnes de pétrole extraites des gisements encore exploités en Ile-de-France.

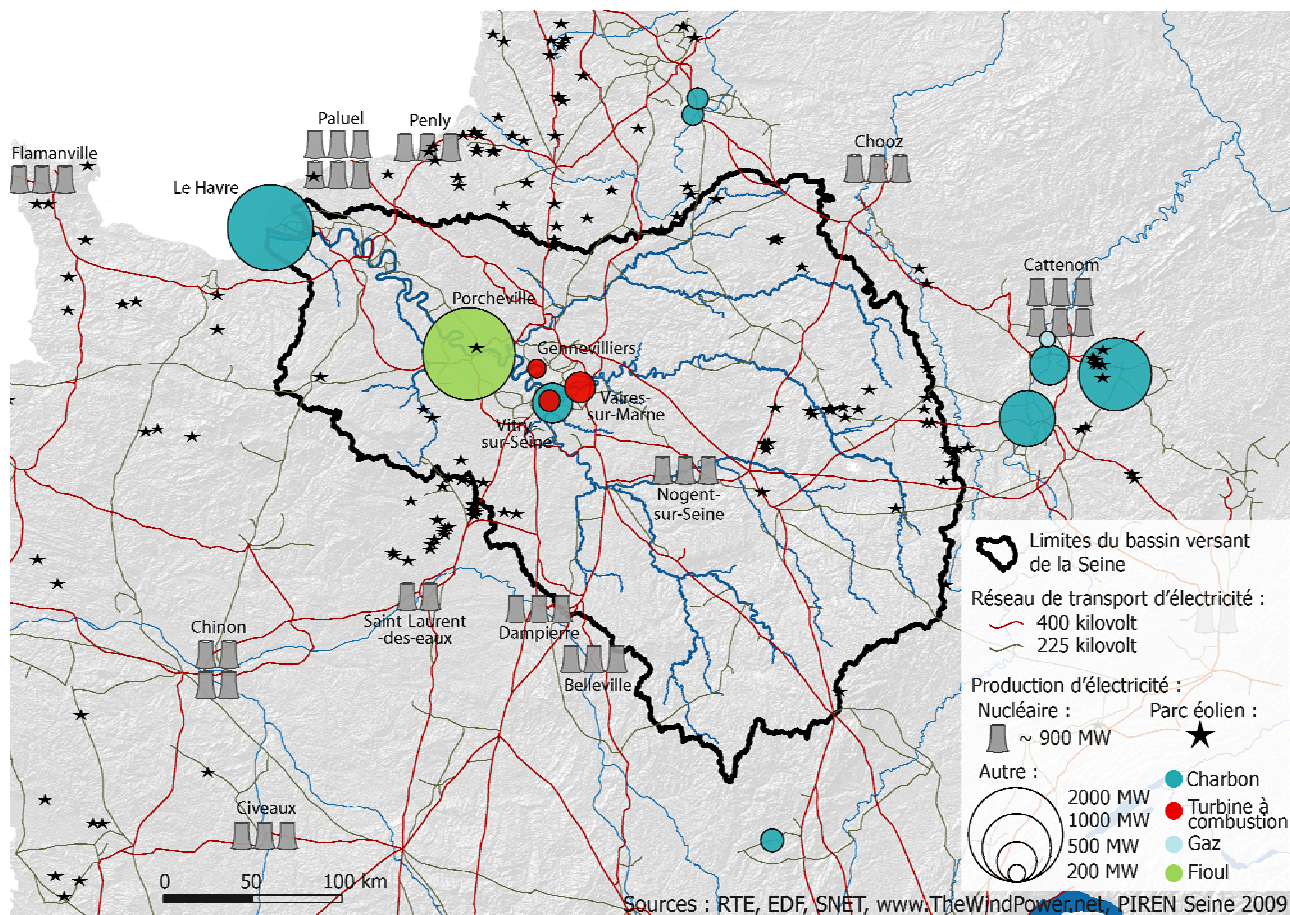
**Tableau 4.** Consommation finale d'énergie dans le bassin de la Seine en 2006, par secteur d'activité et par forme d'énergie (en milliers de tonnes d'équivalent pétrole par an)

ktep/an	charbon	pétrole	gaz naturel	électricité	bois	autres	total	%
Industrie	317	640	4 537	2 281	207	398	8 391	19.1
Résidentiel et tertiaire	0	2 790	6 795	6 534	1 104	1 102	18 326	41.9
Agriculture		358	21	30			410	0.9
Transport		16 209		457			16 666	38.1
<b>Total</b>	<b>317</b>	<b>19 997</b>	<b>11 354</b>	<b>9 303</b>	<b>1 311</b>	<b>1 500</b>	<b>43 783</b>	<b>100</b>
%	0.7	45.7	25.9	21.2	3.0	3.4	100	

L'approvisionnement en électricité, par contre est largement couvert par la production interne au bassin de la Seine ou par les centrales proches, qui représente 24 250 milliers de tonnes équivalent pétrole par an. Il s'agit essentiellement de production nucléaire, dans les centrales de Nogent sur Seine (Aube, 2x 1300MW), de Chooz (Ardennes, 2x 1450MW) et Paluel (Seine Maritime, 4x 1300MW).

Les centrales thermiques classiques (Porcheville 4x 600MW fioul; Le Havre 2x 600MW charbon; Gennevilliers 250MW turbine à combustion; Vitry s/Seine 2x 250MW charbon + 2x 250MW turbine à combustion; Vaires s/Seine 2x 250MW turbine à combustion) ne sont plus utilisées par EDF que pour assurer les pointes de consommation. La production d'électricité renouvelable (éolienne et hydraulique) est très limitée (140 ktep en 2006).





**Figure 13.** Carte des centrales électriques et des sites nucléaires dans le bassin de la Seine et alentour

On remarquera que la localisation des grandes centrales thermiques (nucléaires ou à flamme) est toujours en bordure d'un cours d'eau (ou de la mer) ; c'est que la production thermique d'électricité suppose des capacités de refroidissement considérables et est de ce fait grande consommatrice d'eau : 0.7 à 1 m<sup>3</sup>/s par tranche de 1000 MW, ce qui représente tout de même l'écoulement moyen d'une surface de 150 km<sup>2</sup>.

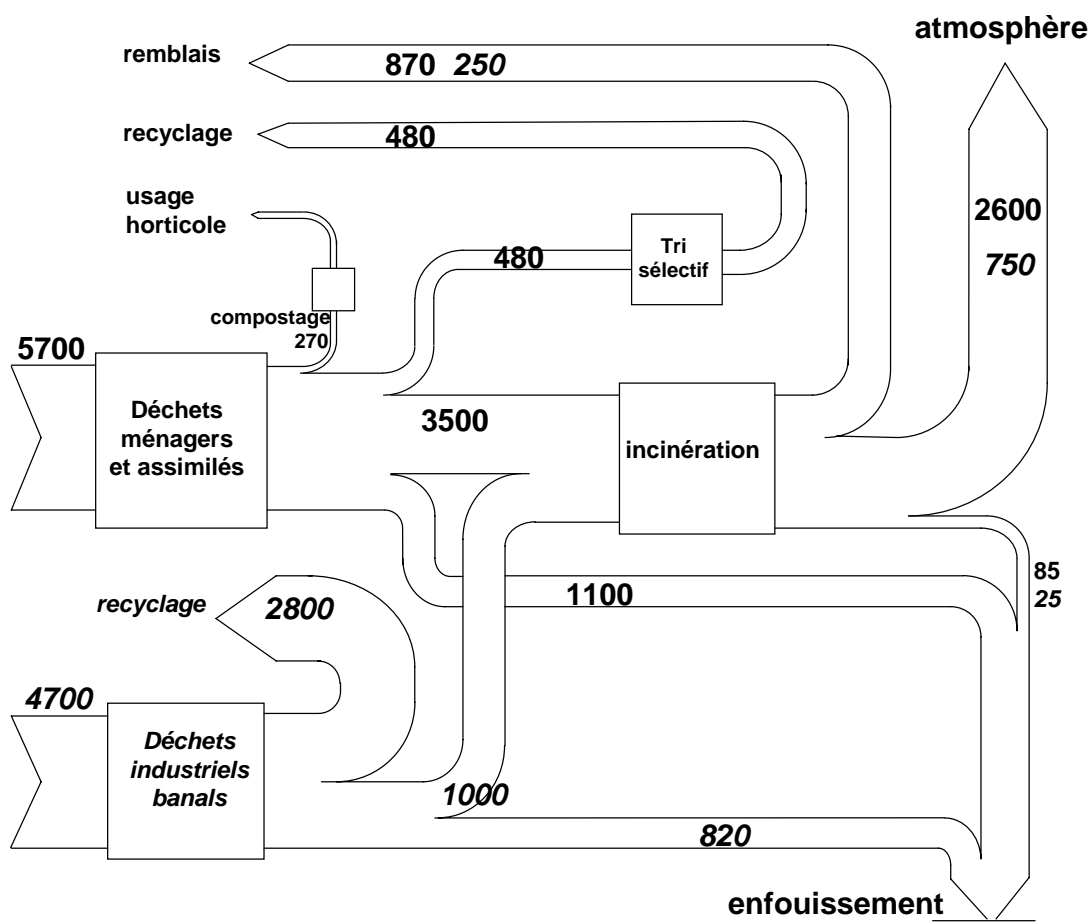
### 4.3. Les déchets urbains

La consommation des agglomérations urbaines s'accompagne aujourd'hui de la production de déchets, à raison d'environ 1.5 kg de déchets solides et 300 l d'eau usée par habitant et par jour. Les municipalités ont mis en place des circuits complexes et coûteux pour récolter, transporter, traiter, éliminer et parfois recycler ces déchets. Si de tels circuits existent depuis aussi longtemps que les villes elles-mêmes, leur finalité est bien différente de ce qu'elle était jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Les excréta urbains ont en effet longtemps constitué une précieuse source de matière première pour l'activité industrielle urbaine naissante, ainsi qu'une source d'engrais pour l'agriculture. C'est en se détournant de ces « matières premières secondaires » au profit de sources plus abondantes, plus rentables, plus commodes que le système industriel du XX<sup>ème</sup> siècle a « inventé » la notion de déchets urbains (Barles, 2005) et les moyens sauvages de leur élimination que constituaient la mise en décharge des ordures ménagères et l'élimination des eaux usées vers les rivières par le tout à l'égout.

#### *Les déchets solides ménagers et industriels banals*

En Ile-de-France, la production totale de déchets ménagers et assimilés représente quelque 5700 milliers de tonnes/an, auxquelles s'ajoutent près de 4700 milliers de tonnes de déchets industriels ordinaires

(hors déchets du bâtiment). Depuis une loi de 1992, la mise en décharge ne devrait plus concerner aujourd'hui que les déchets ultimes, c'est-à-dire ne pouvant subir aucune valorisation par recyclage, compostage ou incinération ; on en est encore loin aujourd'hui : près d'un millions de tonnes d'ordures sont encore enfouies, auxquelles s'ajoutent 820 millions de tonnes de déchets industriels banals, pour la seule région Ile-de-France. Si le tri sélectif et le recyclage sont en progression, ils ne concernent encore que moins de 15% des déchets ménagers et l'incinération, avec valorisation énergétique, est aujourd'hui le mode de traitement dominant des déchets solides urbains. Plus du tiers du contenu des ordures sont ainsi réinjectés dans l'atmosphère. Les mâchefers résultants de l'incinération sont valorisés comme remblais dans les travaux publics.



**Figure 14 .** Circuits de traitement et destinée finale des déchets urbains en Ile de France autour de 2004. Chiffres en milliers de tonnes ; les chiffres relatifs aux déchets industriels banals sont en italiques pour les distinguer de ceux relatifs aux déchets ménagers et assimilés. (d'après Barles, 2007)

#### Le traitement des eaux usées

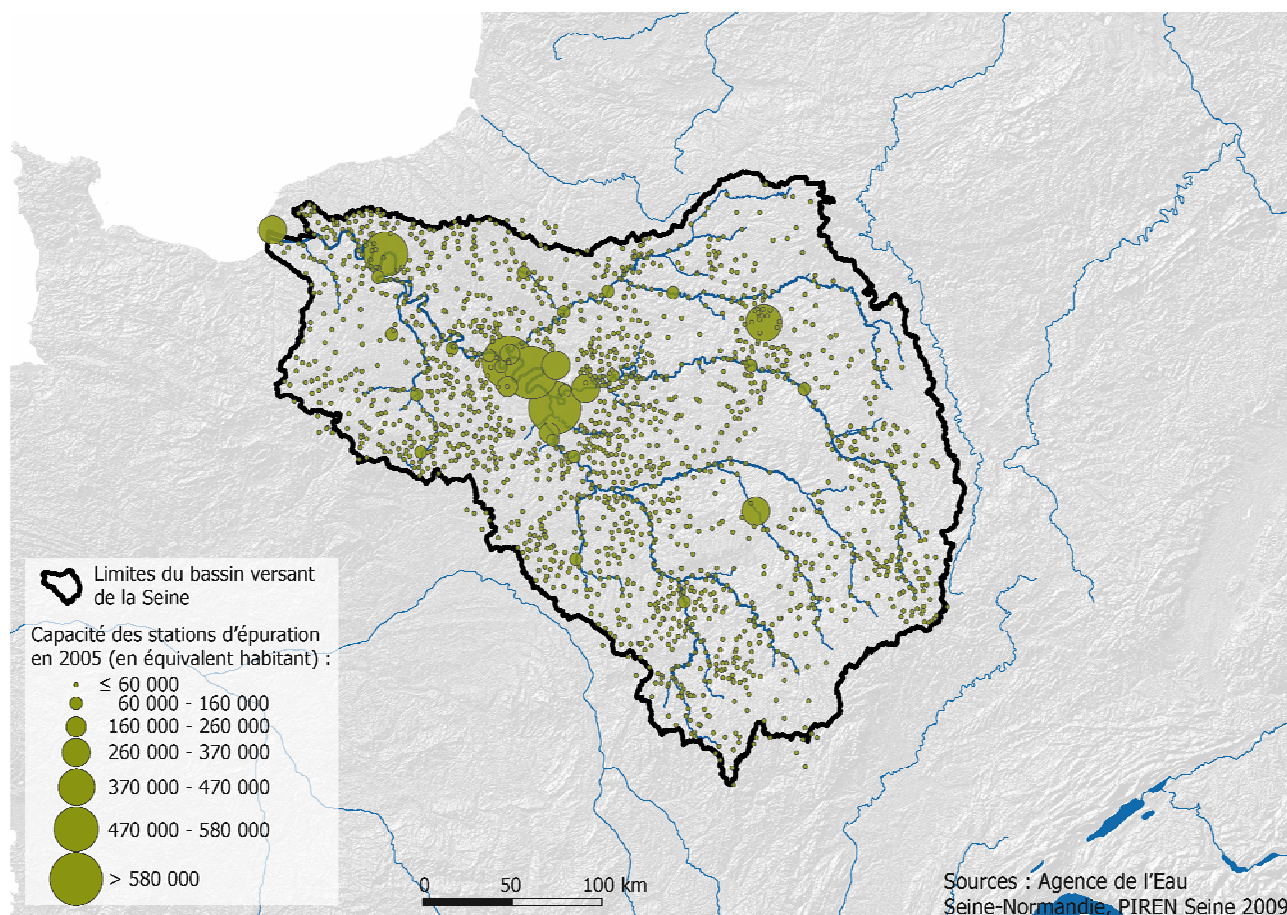
Depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, la généralisation de la distribution d'eau potable à domicile en milieu urbain s'est accompagnée de la mise en place de la collecte des eaux usées par un réseau d'égouts destiné à les acheminer vers les cours d'eau, à l'aval des villes (Figure 15).

L'équivalent habitant' (equ-hab.) désigne la charge polluante brute rejetée en moyenne par un habitant avec ses eaux usées. Elle représente par jour environ 20 g de carbone organique biodégradable, 15 g d'azote sous forme organique ou ammoniacale, 2 g de phosphore, ainsi que 80 milliards de bactéries fécales et des quantités non négligeables de substances artificielles liées au mode de vie moderne, détergents, médicaments, métaux lourds...

Les stations d'épuration qui traitent les eaux usées avant leur rejet en rivière retiennent ou éliminent une partie de cette charge polluante. Les stations d'épuration les plus courantes, utilisant le procédé biologique par boues activées, minéralisent la matière organique contenue dans les eaux usées, évitant ainsi les déficits d'oxygène causés par leur rejet dans les rivières ; elles sont cependant peu efficaces pour éliminer l'azote et le phosphore que seuls des traitements spécifiques, plus coûteux, peuvent retenir significativement (traitement tertiaire). Enfin des traitements particuliers de désinfection par UV sont mis en place lorsqu'il y a nécessité à réduire très fortement les risques épidémiologiques liés aux bactéries fécales présentes dans les rejets urbains.

**Tableau 5.** Performance des différents types de traitement en stations d'épuration

	Avant traitement	Traitement par boues activées	Traitement tertiaire	Désinfection
Matière en suspension (g/hab/j)	80	10	8	8
Matière organique biodégrad. (gC/hab/jour)	18	4	2	1.5
Azote total (gN/hab/jour)	15	12	2	
Phosphore total (gP/hab/jour)	3	2	0.2	
Coliformes fécaux ( $10^9$ /hab/jour)	80	5	0.5	0.002



**Figure 15 :** Carte de stations d'épuration du bassin de la Seine avec leur capacité et leur type de traitement (boues activées, traitement tertiaire, désinfection)

Le traitement des eaux usées est rendu particulièrement difficile par temps de pluie. Les eaux de ruissellement urbain sont particulièrement chargées en pollution parce qu'elles reprennent l'ensemble des dépôts atmosphériques accumulés sur les surfaces urbaines : métaux lourds, micropolluants organiques, pesticides urbains, etc. Dans la plupart des centres villes, les égouts sont de type unitaire, c'est-à-dire qu'ils

collectent à la fois les eaux usées domestiques et les eaux pluviales. L'afflux soudain, lors d'un orage, de volumes importants supplémentaires à traiter provoque d'abord une modification brutale des conditions de fonctionnement des stations d'épuration qui diminue l'efficacité du traitement ; dans certains cas les volumes sont tels qu'un délestage sans traitement est inévitable. Or, même dans les zones plus récemment urbanisées où des systèmes d'égouts séparatifs ont été mis en place, le traitement des eaux pluviales, apportées de manière très irrégulière, reste problématique.

## 5. L'air, l'eau, la faune et la flore

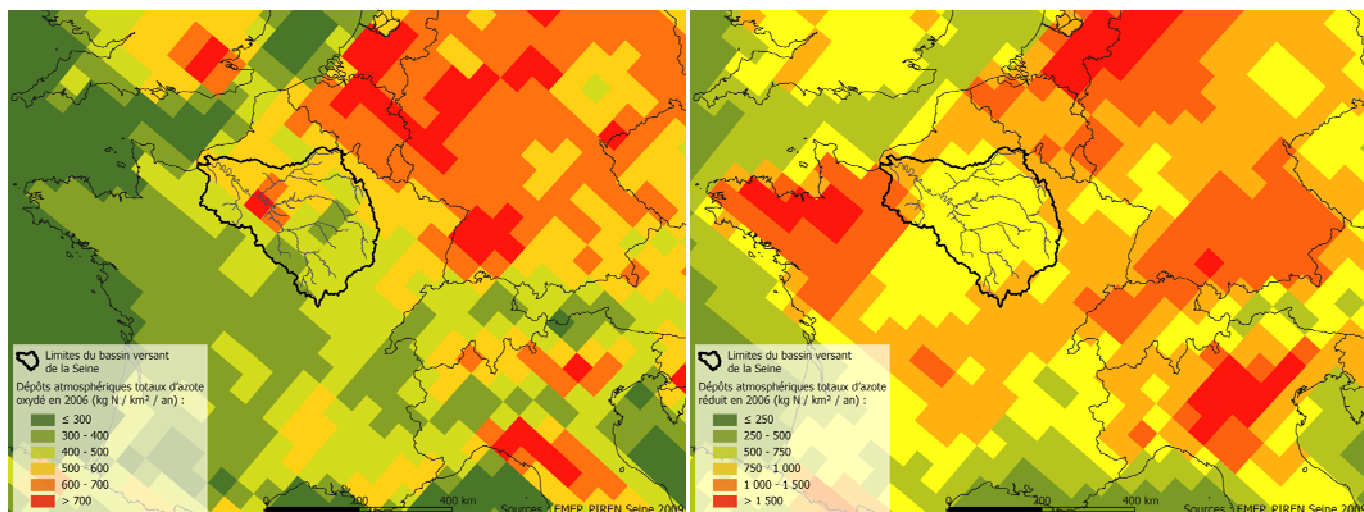
### 5.1. Emission et transferts de polluants atmosphériques

L'atmosphère, c'est l'air qu'on respire. C'est aussi le réceptacle de toutes les substances gazeuses émises par les activités humaines, des substances éventuellement susceptibles de retomber au sol sous forme de poussière ou dissoutes dans la pluie, à des distances plus ou moins grandes de leur lieu d'émission. C'est enfin le principal régulateur du climat de la planète. Par l'atmosphère, les territoires sont donc connectés aux territoires voisins, voire au-delà à la planète entière, et influencent donc le climat par leurs émissions de gaz à effet de serre.

#### *Emissions et transferts de polluants atmosphériques*

La pollution de l'atmosphère trouve principalement son origine dans les combustions associées à l'incinération des ordures et à l'utilisation de produits pétroliers (véhicules, chauffage, centrales thermiques...). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sous-produits cancérigènes des combustions d'hydrocarbures, ainsi que les dioxines figurent en bonne place parmi ce type de polluants. Les combustions à haute température sont aussi génératrices d'oxydes d'azote (NOx), responsables de la production d'ozone dans la basse atmosphère et de l'acidification des pluies. La volatilisation de produits toxiques au niveau des sites de production, d'utilisation ou de décharge contribue aussi à la pollution atmosphérique : il en est ainsi des polychlorobiphényles (PCB) utilisés jusqu'en 1976 comme lubrifiants et isolants dans les gros transformateurs électriques, et qui continuent à polluer l'environnement à partir de leurs sites de stockage.

Le transport aérien peut disperser ces polluants sur de longues distances, avant qu'ils ne retombent sous forme de dépôts secs ou entraînés par les pluies, et ne soient transportés vers le milieu aquatique par le ruissellement sur les surfaces urbaines imperméabilisées. Comme le transfert atmosphérique se fait dans le sens des vents dominants, d'ouest en est, et que l'activité humaine est concentrée dans la partie aval du bassin de la Seine, il en résulte un mécanisme de redistribution des polluants de l'aval vers l'amont (Figure 16). C'est particulièrement clair en ce qui concerne les retombées d'azote oxydé, originaires des émissions d'oxydes d'azote principalement urbains. Les retombées d'azote réduit (ammoniac) sont plutôt liées aux sources que constituent les activités d'élevage intensif, et montrent un transport atmosphérique sur de plus faibles distances.



**Figure 16.** Dépôts atmosphériques totaux d'azote oxydé (EMEP)

### *Emissions de gaz à effet de serre*

Les gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) ne sont pas à proprement parler des polluants : ils font partie des cycles naturels du carbone et de l'azote ; les perturbations induites dans ces cycles par la combustion des combustibles fossiles d'une part, par la fixation industrielle de l'azote d'autre part, a cependant conduit à un accroissement important de la teneur de ces gaz dans l'atmosphère, avec les conséquences que l'on sait pour le climat planétaire. Les chiffres discutés ci-dessus de la consommation énergétique du bassin de la Seine permettent d'évaluer les émissions de  $\text{CO}_2$  liées à la consommation de combustibles fossiles à quelques 30 millions de tonnes de carbone (Tableau 5).

L'agriculture, pourtant peu consommatrice de combustible fossiles, est aussi émettrice de gaz à effet de serre, car des gaz comme le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ), émis surtout par les sols agricoles pour les premiers, par les ruminants pour le second, contribuent significativement à l'effet de serre, en nettement moindre proportion que les activités urbaines et le transport cependant.

**Tableau 6.** Principales émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique dans le bassin de la Seine (sources : ADEME, 2007 ; Garnier et al., 2009 ; Toche, in prep.).t, kt et Mt pour tonnes, kilo tonnes et millions de tonnes, respectivement.

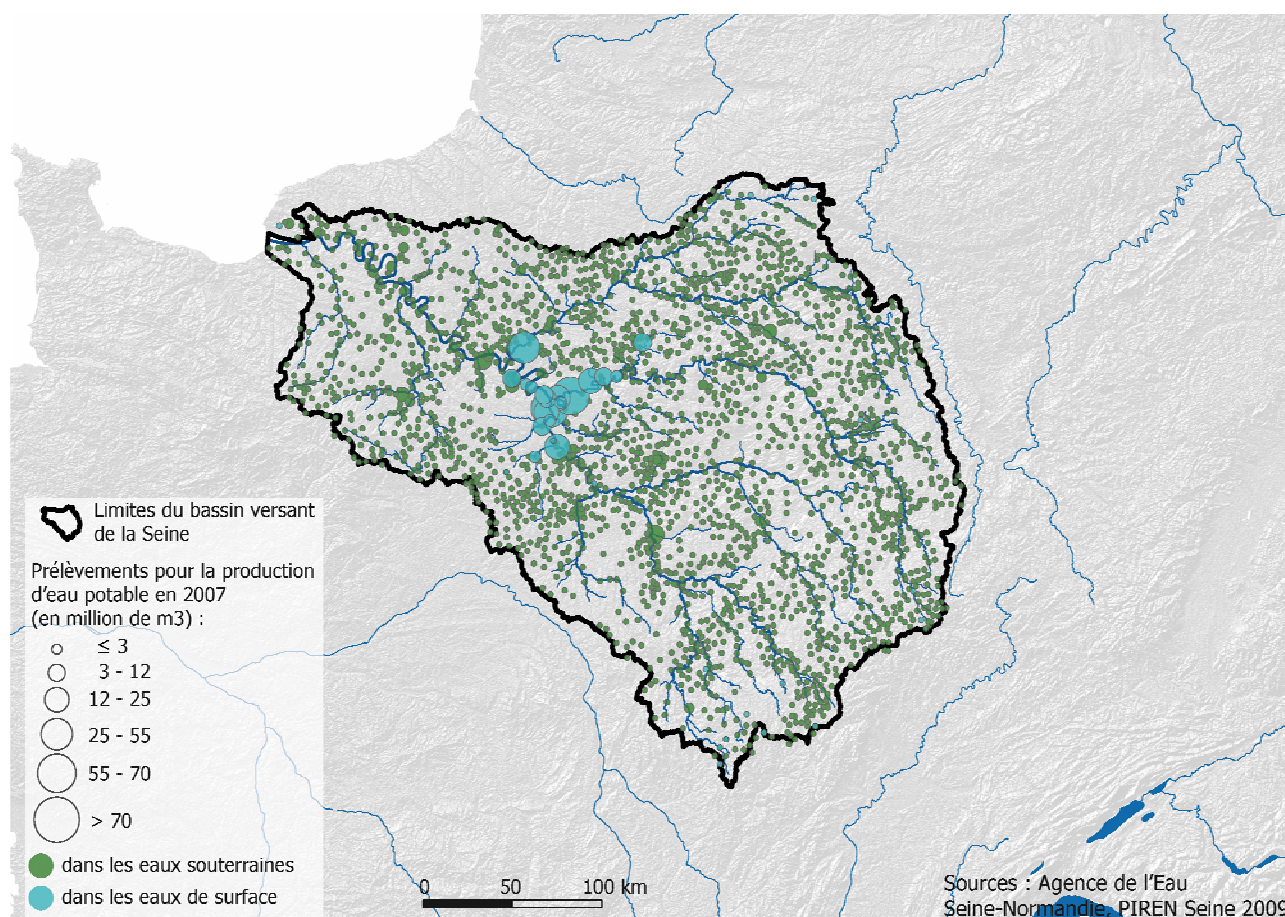
secteur	Unité spécifique	Mt $\text{CO}_2$ equiv/an
Combustibles fossiles (tous secteurs)	30 200 kt eqC/an	110
Combustibles fossiles par l'agriculture	360 kt eqC/an	1.3
$\text{N}_2\text{O}$ émis par l'agriculture	6 000-17 000 t N- $\text{N}_2\text{O}$ /an	3 - 8
$\text{CH}_4$ émis par l'élevage	132 000 t $\text{CH}_4$ /an	3
<b>total</b>		<b>116 - 121</b>

## **5.2. La production d'eau potable par le bassin versant**

L'eau de pluie n'est pas potable ; c'est sa percolation à travers le sol qui lui confère sa composition en sels minéraux en même temps qu'elle la débarrasse des composés issus de la pollution atmosphérique. Ce sont donc les sols du bassin versant qui élaborent l'eau que nous buvons.

Dans la plupart des communes rurales, c'est l'eau souterraine pompée localement que l'on distribue, le plus souvent sans traitement autre qu'une chloration (Figure 15). Mais l'agriculture intensive a profondément altéré la qualité de cette ressource. Dans la plupart des zones de grandes cultures du centre du Bassin Parisien, les eaux d'infiltration atteignent en moyenne, à la base de la zone racinaire, des concentrations en nitrate supérieures à la norme de potabilité de 50 mgNO<sub>3</sub>/l (11.3 mgN/l). Si les eaux souterraines n'ont pas toutes encore atteint ce niveau de contamination, c'est grâce à la dilution au sein des masses d'eau souterraine par des eaux d'infiltration forestières et herbagères, mais aussi en raison de la durée du transit du nitrate dans la zone non saturée qui retarde leur arrivée dans la nappe. La poursuite des pratiques agricoles actuelles devrait amener le niveau de contamination moyen des aquifères du bassin de la Seine au dessus de la limite de potabilité. L'usage systématique des herbicides en grandes cultures (le 'sarclage chimique') conduit également à contaminer les eaux superficielles et les eaux souterraines par des molécules actives potentiellement toxiques ou par leur produits de dégradation qui ne le sont pas moins. La diversité des substances utilisées en rend le contrôle très ardu.

Les grandes agglomérations, dont Paris, s'alimentent en eau potable, soit par des captages plus lointains qui acheminent alors l'eau par aqueduc, soit en prélevant l'eau des rivières, ce qui implique un traitement de potabilisation beaucoup plus poussé (Figure 17). Ce traitement comprend généralement une étape de clarification par floculation-décantation destinée à éliminer les particules en suspension et une ou plusieurs étapes de filtration sur sable et sur charbon actif, destinées à éliminer les composés organiques dissous (y compris les micropolluants tels que les pesticides), ainsi qu'une étape de désinfection. Ces filières de traitement sont impuissantes vis-à-vis de la contamination nitrique.



**Figure 17.** Prélèvement d'eau souterraine et d'eau de surface pour l'alimentation en eau potable dans le bassin de la Seine.

Fort heureusement, les teneurs en nitrate des cours d'eau sont significativement inférieures à celles des eaux sous-racinaires et phréatiques qui les alimentent, grâce à la dénitrification, essentiellement bactérienne et au

prélèvement par la végétation naturelle des zones humides qui bordent les ruisseaux. Près de 40% des apports diffus des sols du bassin de la Seine sont ainsi éliminés avant même de rejoindre les eaux de surface par cet effet filtre que jouent les zones humides riveraines. Et pourtant, en maints endroits, particulièrement en Brie, le drainage agricole, qui aboutit au court-circuitage des zones humides riveraines par les eaux d'infiltration, a considérablement réduit cet effet de filtre naturel, par rapport à ce qu'il pouvait être dans le paysage rural traditionnel, marqué par la présence d'innombrables étangs augmentant la rétention des flux d'eau et de nutriments.

Si les mesures destinées à réduire les pertes nitriques de l'agriculture sont indispensables (particulièrement celles qui visent, par le recours aux cultures intermédiaires, à limiter les périodes de sol nu), elles ne seront malheureusement suivies d'effets visibles dans la concentration des nappes phréatiques qu'après plusieurs décennies. Parallèlement, des mesures d'aménagement du paysage destinées à préserver ou à restaurer la fonction de rétention du bassin versant, tant vis-à-vis des flux d'eau que de nitrate, devraient être mises en place. La question des apports diffus de produits phytosanitaires (principalement des herbicides) se pose un peu dans les mêmes termes : systématiquement les eaux contaminées en nitrate le sont aussi en pesticides et la rémanence dans les aquifères des pesticides ou de leur produits de dégradation est considérable.

### **5.3. Biodiversité**

On sait aujourd'hui que la richesse en espèces des milieux représente à la fois un indicateur de leur qualité et un garant de leur capacité à résister aux perturbations. Les biodiversités d'un territoire, outre un caractère de richesse patrimoniale, offrent ainsi d'incalculables services en régulant la faune et la flore du milieu rural.

L'intensification de l'agriculture et sa spécialisation régionale a conduit à une profonde banalisation du paysage et à la suppression ou la fragmentation des habitats, réduisant drastiquement le nombre des espèces sauvages associées au paysage rural. Parallèlement, la biodiversité des espèces cultivées, suite à la standardisation des semences et des variétés homologuées, s'est elle aussi considérablement réduite, accroissant les risques d'invasions de parasites ou de ravageurs qui doivent se traiter par le recours aux pesticides chimiques.

Un enjeu majeur pour le maintien de la biodiversité dans un territoire aussi anthropisé que le bassin de la Seine consiste à assurer la connectivité des habitats potentiels pour les espèces sauvages. Cela est vrai par exemple des massifs forestiers, pour assurer la circulation des grands mammifères en dépit des réseaux routiers et ferroviaires ; un réseau plus ou moins connexe de zones humides est aussi une condition de survie pour les batraciens, de même qu'une trame herbacée continue est nécessaire au maintien de nombreux insectes et reptiles.

Dans le milieu aquatique, le peuplement de poisson représente l'indicateur biologique de qualité par excellence. Certaines espèces sont très exigeantes en termes de qualité physico-chimique de l'eau, d'autres en termes d'habitat, enfin les migrateurs requièrent une continuité sur tout le réseau hydrographique. En dépit des multiples modifications de la morphologie et de la qualité des cours d'eau, la plupart des espèces de poissons vivant dans nos cours d'eau avant la révolution industrielle sont encore présentes, à l'exception des espèces migratrices, hormis l'anguille. Un total de 46 espèces de poissons est ainsi dénombré aujourd'hui sur l'ensemble du réseau hydrographique de la Seine, mais leurs peuplements traduisent une dégradation centripète très nette, de la périphérie vers le centre du bassin, en Île-de-France, en relation avec le gradient de pression des activités humaines sur le milieu aquatique. Certaines espèces, comme la lote ou le brochet, sont menacées de disparaître, parce que leur habitat est dangereusement fragmenté et que les conditions indispensables à leur reproduction sont de moins en moins souvent satisfaites. Les petits cours d'eau en tête de bassin souffrent des pollutions diffuses ou de l'érosion des sols, responsables du colmatage des fonds, phénomènes qui pénalisent la reproduction et le développement de nombreuses espèces comme la lamproie de planer, la vandoise, la bouvière ou la loche. Sur les grands axes fluviaux navigués en amont de Paris, maintenant que les efforts en matière de qualité physico-chimique de l'eau ont conduit à une amélioration

sensible, ce sont les aménagements pour les besoins de la navigation qui, en réduisant la diversité des habitats aquatiques, sont le principal facteur de la dégradation des peuplements piscicoles. Il faut aujourd'hui œuvrer à leur réhabilitation par des mesures d'ingénierie écologique: réaménagement de berge, restauration de sites de ponte, reconnexion de bras-morts ou de zones humides rivulaires. Dans la Seine à l'aval de l'agglomération parisienne où se concentrent les pressions extrêmes, les conditions de survie des poissons (très difficiles, voire impossibles dans les années soixante-dix) se sont maintenant largement améliorées ; grâce aux efforts consentis en matière d'épuration un total de 28 espèces sont maintenant dénombrées dans l'agglomération parisienne, la présence de certaines restant cependant encore rare.

## 6. Conclusion : un fonctionnement harmonieux et durable ?

Le bassin de la Seine constitue à l'évidence un territoire plurirégional, structuré par son réseau hydrographique ainsi que par la présence en son centre, au point de confluence des trois grands tributaires, d'une grande agglomération urbaine. Historiquement, le bassin de la Seine a constitué l'hinterland naturel de Paris et son milieu rural s'est développé en très étroite liaison avec l'accroissement démographique de l'agglomération parisienne et des autres villes du bassin. Ce territoire a donc assuré pendant des siècles les principales fonctions nécessaires à la vie de ses habitants, leur procurant nourriture, ressources en eau, énergie, matériaux de construction, assimilant les déchets de leur consommation, tout en assurant la présence d'une flore et d'une faune sauvage riche et diversifiée, dans une mosaïque paysagère pourtant créée par l'action humaine.

Qu'en est-il aujourd'hui, alors que depuis la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, le recours accru aux énergies fossiles, la généralisation de l'agriculture industrielle et l'accroissement des distances de transports de marchandises ont profondément modifié le mode de fonctionnement de ce « Système Seine » ?

### 6.1. L'empreinte écologique du bassin de la Seine

Le concept d'empreinte écologique (Wackernagel & Rees, 1996) a rejoint aujourd'hui la batterie des indicateurs de développement durable très utilisés dans les programmes de sensibilisation et de communication menés tant par les associations citoyennes que par les pouvoirs publics. L'empreinte écologique d'une population est définie par le décompte des surfaces productives de la biosphère nécessaires pour assurer le flux de consommation matérielle et énergétique de son économie. Mesuré en hectare de superficie de productivité moyenne mondiale (hag), cet indicateur permet d'analyser le partage international des ressources mondiales, ou la durabilité du mode de vie d'une ville, d'une population, d'un habitant (WWF, 2002). Récemment, l'IAURIF (2005) a publié une évaluation de l'empreinte écologique de l'Ile-de-France, estimée à 5.59 hag par habitant (voir tableau).

**Tableau 7.** Empreinte écologique du Francilien moyen, selon IAURIF, 2005. En hectare global (hag) par habitant.

	énergie	terre arable	prairies	forêt	sol dégradé	mers	<b>total</b>
Alimentation	0.20	0.89	0.18	-	-	0.38	<b>1.66</b>
Logement	0.43	-	-	0.01	0.05	-	<b>0.49</b>
Mobilité	0.67	-	-	-	0.03	-	<b>0.70</b>
Biens	1.75	0.13	0.02	0.57	0.02	0.001	<b>2.49</b>
Services	0.25	-	-	-	-	-	<b>0.25</b>
<b>Total</b>	<b>3.30</b>	<b>1.02</b>	<b>0.20</b>	<b>0.58</b>	<b>0.10</b>	<b>0.39</b>	<b>5.59</b>



Si l'on extrapole cette estimation à l'ensemble de la population du bassin (16 10<sup>6</sup> habitants), son emprise spatiale serait de 900 000 km<sup>2</sup>, soit plus de dix fois la surface effective qu'elle occupe (76 000 km<sup>2</sup>) !

On peut critiquer cette approche, notamment en ce qui concerne la manière dont sont comptabilisés les besoins énergétiques (en surface forestière nécessaire pour absorber le CO<sub>2</sub> produit par la combustion des combustibles fossiles ou pour produire une énergie de biomasse équivalente), ou à cause du fait que la productivité moyenne mondiale des terres agricoles est utilisée dans les calculs sans tenir compte de ce que les terres du bassin de la Seine sont beaucoup plus productives. Il n'empêche que ces chiffres montrent la très grande dépendance de notre société vis-à-vis de ressources situées hors de son territoire. L'approvisionnement énergétique en est un exemple évident ; le cas du coton que nous avons décrit plus haut en offre en outre. La délocalisation d'un certain nombre de fonctions hors du territoire est une caractéristique évidente de l'évolution récente du bassin de la Seine.

## **6.2. La pluri-fonctionnalité des espaces : un enjeu pour l'aménagement durable du territoire**

Une autre tendance générale que révèle notre analyse est la spécialisation progressive des espaces. Ainsi, la spécialisation du paysage qu'a amenée l'agriculture industrielle s'est accompagnée de la perte d'une grande part des fonctions qu'assurait le paysage de l'agriculture traditionnelle. Quand la mosaïque des champs, des prairies et des bosquets fait place à l'uniformité de la monoculture céréalière, le territoire ne peut plus assurer sa fonction de réservoir d'une faune et d'une flore sauvage diversifiée. Quand les étangs sont comblés, les cours d'eau recalibrés et les zones humides riveraines drainées, le territoire perd son pouvoir tampon contre les crues et sa capacité de rétention vis-à-vis des nutriments issus du lessivage des terres arables. Enfin et surtout, quand les zones d'agriculture industrielle intensive perdent leur capacité à produire une eau de qualité conforme aux exigences de l'alimentation en eau potable, le dernier lien nourricier qui subsistait encore entre les habitants et leur territoire, par l'intermédiaire de l'«eau du robinet», est menacé de se rompre. L'eau de distribution deviendra-t-elle un simple produit sanitaire, tandis que nous achèterons en bouteille dans les supermarchés l'eau-aliment destinée à la boisson et à la cuisine, comme nous achetons, par exemple, les tomates d'Israël et des haricots verts du Kenya ? C'est déjà ce qui se met en place via la stratégie commerciale de certaines firmes agro-alimentaires. Il est aussi très sérieusement envisagé de créer çà et là des 'Parcs Naturels Hydro-géologiques', zones-sanctuaires dont l'agriculture serait bannie pour garantir la production d'une eau potable de qualité, cependant que le reste du territoire serait laissé à une production agricole sans entraves environnementales. On franchirait alors un pas de plus dans la spécialisation des espaces.

Est-ce un tel partage de notre territoire que nous souhaitons ? Ne devrions nous pas plutôt cesser de considérer la campagne seulement comme une usine de production agricole à exporter sur le marché mondial, considérer les multiples services que le territoire rural rendait et étudier ceux qu'il peut encore rendre à ses habitants et ceux des villes proches. L'exigence citoyenne d'une eau de distribution de bonne qualité devient alors un incitant puissant pour une gestion plus équilibrée du territoire.

L'estuaire de la Seine offre un autre exemple de débat sur la plurifonctionnalité des espaces. Les aménagements lourds de la voie maritime tendent depuis un demi-siècle à faire de l'estuaire un simple espace de navigation pour gros cargos. Mais la prise de conscience récente et tardive du rôle essentiel de l'estuaire comme nourricerie de poissons, comme site d'hivernage pour les oiseaux migrateurs et comme dernier filtre potentiel pour les nutriments eutrophisants et les polluants apportés par le fleuve à la mer, a conduit à imposer le réaménagement de surfaces de vasières intra-tidales et la création d'îlots reposoirs pour les oiseaux marins, comme mesures compensatoires à l'installation des nouvelles infrastructures du port du Havre.

La poly-fonctionnalité des espaces est un enjeu majeur en matière d'aménagement du territoire. Il s'agit, à travers un dialogue démocratique entre usagers citoyens et avec une forte volonté politique, de ne pas permettre à l'usager le plus puissant d'imposer la fonction unique qu'il attend de la 'Nature', mais de laisser coexister les multiples services que la Nature peut offrir au bénéfice de tous.

## Références

- ABAD, R.(2002). Le Grand Marché : l'approvisionnement de Paris sous l'Ancien Régime. Fayard, Paris, 2002, 1030 pp.
- 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, 2001. 104 pp.
- BARLES, S. (2005). L'invention des déchets urbains, France : 1790-1970. Collection milieux, Champ Vallon, Paris. 296 pp.
- BENOIT, P., BERTHIER, K., BILLEN, G., GARNIER, J.(2002). Agriculture et aménagement du paysage hydrologique dans le bassin de la Seine au XIV-XVe siècle. In Burnouff J. & Leveau Ph. (eds) « Les fleuves aussi ont une histoire, (Fleuves 2), actes du colloque PEVS-SEDD, Aix-en-Provence, 8-10 avril 2002.
- BEAUJEU-GARNIER, J (1977). Paris et la région Île-de-France. Paris, Flammarion. 2 vol.
- BILLEN, G., GARNIER, J., MOUCHEL J.M. & SILVESTRE M. (2007). The Seine System: introduction to a multidisciplinary approach of the functioning of a regional river system. *The Science of the Total Environment*, 375:1-12
- BILLEN G., BARLES B., GARNIER G. , ROUILLARD J., BENOIT P. (2009). The Food-Print of Paris: Long-term Reconstruction of the Nitrogen Flows Imported into the City from its Rural Hinterland. *Regional Environmental Change*. DOI 10.1007/s10113-008-0051-y
- DUCHARNE,A., C. BAUBION, M. BENOIT, G. BILLEN, N. BRISSON, J. GARNIER, H. KIEKEN, S. LEBONVALLET, E. LEDOUX, B. MARY, C. MIGNOLET, X. POUX, E. SAUBOUA, C. SCHOTT, S. THÉRY, P. VIENNOT (2007) Long term prospective of the Seine river system: confronting climatic and direct anthropogenic changes. *The Science of the Total Environment*. 375 : 292–311
- GARNIER J., LAROCHE L., PINAULT S. (2006). Determining the domestic specific loads of two wastewater plants of the Paris conurbation (France) with contrasted treatments: a step for exploring the effects of the application of the European Directive. *Water Res.* 40:3257 – 3266.
- GARNIER, J., G. BILLEN, K. BUTTERBACH-BAHL, A. MARTINEZ , E. MOUNIER, M.SILVESTRE, G. VILAIN, F.TOCHE, C. WERNER. (2009) Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) in the Seine river and basin: observations and budgets. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. In press
- GROMAIRE M. C., WAITROP N.; CHEBBO G.; CONSTANT A. (2001). Importance of zinc roofs in Paris and their impact on urban runoff pollutant loads NOVATECH 2001 : Nouvelles technologies en assainissement pluvial. Conference international No4, Villeurbanne , FRANCE (25/06/2001) pp. 937-944
- IAURIF (2005). L'empreinte écologique des habitants de la région d'Ile-de-France. Note rapide sur le développement durable. N° 403. Décembre 2005.
- MAZOYER, M. & ROUDART, L. (1998). Histoire des agricultures du monde. Du Néolithique à la crise contemporaine. Seuil, Paris. 531 p.
- MALIGNE, MC, MONTAGNANI, M., WEYL, M. (2008) Combien d'eau dans mon T-shirt ? Flux de matière et de ressources mis en œuvre par la production, la transformation et la consommation du coton dans le monde. Mémoire de LT 103 : Géosciences, ressources, Environnement. Mai 2008, UPMC.
- PHILIPPE, R. (1961). Une opération pilote : l'étude du ravitaillement de Paris au temps de Lavoisier. *Annales. Economies, Sociétés, Civilisations*. 16 (3), 564-568.
- REZE CH. (2002) Les aménagements du réseau hydrographique du Morvan pour le flottage du bois, du XVIe au XVIIIe siècle. Mémoire de maîtrise d'archéologie ; Université Paris I-Panthéon-Sorbonne, 2002, 61 pp.
- THEVENOT, D. , MOILLERON, R., LESTEL, L., GROMAIRE, MC, ROCHER, V., CAMBIER, PH., BONTE, PH., COLIN, JL, DE PONTEVES, C., MEYBECK, M. (2007) Critical budget of metal sources and pathways in the Seine River basin (1994–2003) for Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn. *Science of the total Environment*, 375: 180-203.
- WAKERNAGEL, M, REES, W.(1996). Our ecological footprint: reducing human impact on earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC.