

# PIRVE

PROGRAMME  
INTERDISCIPLINAIRE  
DE RECHERCHE VILLE  
ET ENVIRONNEMENT



**PIRVE**  
PROJET Empreintes, n° 1050

## Empreintes spatiales des Villes sur leur environnement

Le cas de Paris et de l'Île de France  
Constitution d'un réseau international de réflexion comparative

**Responsable** : Gilles Billen, UMR Sisyphe, CNRS/UPMC, Fédération de Recherche FIRE

Décision attributive de subvention n°H08.07 du 4 novembre 2008



# PIRVE

PROJET Empreintes, n° 1050

## Empreintes spatiales des Villes sur leur environnement

Le cas de Paris et de l'Île de France

Constitution d'un réseau international de réflexion comparative.

**Responsable** : Gilles Billen, UMR Sisyphe, CNRS/UPMC, Fédération de Recherche FIRE

### Résumé

Le projet, qui a réuni biogéochimistes, urbanistes, historiens et agronomes, visait à **revisiter le concept d'empreinte écologique** (Wackernagel & Rees, 1996) à partir de l'analyse, menée sur un longue période temporelle, des échanges de matières et d'énergie entretenus entre une communauté urbaine et les territoires proches et lointains qui l'approvisionnent et qui, au cours de l'histoire, se sont structurés pour assurer cette fonction. Une question centrale du projet réside donc dans la notion d'hinterland, terme qui désigne un territoire rural, proche ou lointain d'une ville, structuré pour répondre à la demande urbaine. Peut-on délimiter l'aire d'approvisionnement d'une grande ville et ses mutations au cours du temps ? Comment ont évolué en parallèle la demande urbaine et le fonctionnement des territoires sollicités pour y répondre ? Y a-t-il de ce point de vue des trajectoires très différentes entre différentes villes ? La notion d'hinterland a-t-elle encore un sens dans le monde globalisé et interconnecté d'aujourd'hui ? Comment situer dans ces évolutions historiques l'aspiration émergente à une relocalisation des approvisionnements urbains ?

Diverses **approches méthodologiques** ont été croisées, comme l'établissement de bilans de circulation de matières (matière brutes, eau, aliments, matériaux de construction, azote, métaux,...) et le traçage géographique de l'origine des biens consommés et de la destination des biens exportés. Un logiciel, Amstram, a été mis au point pour automatiser l'analyse des données de transport de marchandises entre départements français et pays étrangers (base SiTraM), et en combiner les résultats avec les données de production correspondantes, pour en déduire la répartition des aires d'approvisionnement d'un territoire donné.

Ces approches ont été menées non seulement sur la situation actuelle la plus récente, mais aussi sur des situations passées, remontant aux XVIIIe et XIXe siècles, de manière à retracer les trajectoires et la logique historique de la mise en place des schémas actuels de circulation de matière entre la ville et son hinterland. L'exemple de **Paris** et de l'Île de France a servi de cas privilégié d'étude et de réflexion. Ont ainsi été analysés l'approvisionnement alimentaire de l'agglomération parisienne, sa fourniture en eau potable, son approvisionnement énergétique, la fourniture de métaux non ferreux et celle de fibres textiles.

Un **Atelier International** a été organisé en septembre 2009 pour confronter les approches et les résultats sur le cas parisien aux travaux menés par d'autres groupes sur d'autres grandes villes Européennes ou Nord-Américaines. Un numéro spécial de la revue *Regional Environmental Change* (The History of Urban Environmental Imprint) est issu de cette confrontation. Actuellement sous presse, il comportera 12 articles dont 4 issus des travaux de l'équipe parisienne, et 8 résultant des apports des collègues étrangers sollicités pour participer à la réflexion.

Deux autres articles directement issus des travaux du programme ont été publiés dans des revues à comité de lecture ; un autre est soumis et un quatrième en cours de rédaction. Quatre publications plus grand public ont été réalisées par ailleurs.

# Urban environmental imprint

## The case of Paris and Ile de France

### Constitution of an international network

**Responsible scientist :** Gilles Billen, UMR Sisyphe, CNRS/UPMC, Fédération de Recherche FIRE

#### Summary

The research project gathered an interdisciplinary team of biogeochemists, urbanists, historians and agronomists. It aimed at revisiting the **concept of ecological imprint of cities** (Wackernagel & Rees, 1996) based on the analysis, over a long historical period, of material and energy fluxes exchanged between a urban community and the surrounding supplying territories. A central issue of the project lies therefore in the notion of *hinterland*, defined as a rural, close or remote, territory, which structured itself in order to provide the function of supplying the city with some goods or services.

The following questions thus underlay the project: Can the supplying area of a large city be determined? How does it changed with time? How did the functioning of the supplying territories evolved in parallel with the changes in the urban demand? Are there from that respect different trajectories characterising different cities?

From a more contemporary and political perspective, these questions led to two further ones: Does the *hinterland* concept still make any sense in the present globalized and interconnected world? How can we contextualise the historical trajectory of the city-hinterland relationships with the current emerging aspiration to localisation of urban supply.

Diverse **methodological approaches** have been combined, including the establishment of material and energy budgets (for raw material, water, food, nitrogen, metals, building material, etc) and the geographical determination of the origin of imported goods and destination of exported goods. A software (Amstram) has been conceived to automate the analysis of good transport data between French départements and foreign countries (SiTraM data base) and to combine these data with the corresponding industrial and agricultural production data, in order to apportioning the supplying areas of a given territory.

These approaches have been used not only on current, most recent situations, but also on historical situations, dating back to the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> century, in order to trace back the trajectories and historical rationale of the urban-hinterland relationships. The **example of Paris agglomeration** served as the privileged case study, and the supply of food, drinking water, energy, non ferrous metallic goods, and textile fibres were analysed. An **International Workshop** was organized in September 2009, in order to confront the approaches and results on Paris with those of other research groups on a number of large European or North American cities.

A **special issue of the journal Regional Environmental Change** (The History of Urban Environmental Imprint) has come out of this confrontation. Presently in press, the volume will gather a bundle of 12 articles, among which 4 are issued from the Parisian team, and 8 result from the input of foreign colleagues invited to take part to the reflexion. Four other papers directly issued from the project are published or in press in peer-reviewed journals. Four other, larger audience, articles have been published.

From all the material gathered, the following broad picture emerges, which allows to contextualise the current debate on economical localisation.

In the case of the urban supply of energy and most durable consumer goods, the trend to expansion of the supply areas and market internationalisation is obvious since the beginning of the industrial era. An extreme territorial specialization and concentration of production activities is at work. The urban imprint of a city like Paris on its supplying areas is superimposed to that of so many other cities in the world that no privileged territorial relationships exists anymore between the city and the territories which once constituted its hinterland. Paris is no more than a node among many others in a network

of anonymous transactions at the global scale. Any attempt to localise the economic exchanges seems to be doomed to failure or to remaining marginal. Yet, with the global depletion of raw material and fossil energy resources, the local exploitation of sometimes huge and unexploited urban deposits might come to the agenda, implying some new forms of localisation.

In the case of food and drinking water supply, on the other hand, the situation is clearly different. A territory roughly corresponding to the geological Parisian basin, or to the Seine watershed, provided most of the food supply of Paris until a rather recent period. This territory still supplies all the drinking water consumed by the capital (contrarily to a number of large cities which extended their water supply area far beyond their natural watershed). In terms of food, the expansion of Paris supplying area is mostly related to the territorial specialisation between cereal cultivation and animal farming which led, in the second half of the 20<sup>th</sup> century, to the exclusion of livestock from the central Parisian basin and its concentration in the Great West areas (Brittany, Normandy, Nord-Pas de Calais). The main food supplying area of Paris still remains narrowed enough to give rise to strong territorial issues. Amongst these, the question of the compatibility between food and drinking water production by the same territories figures prominently, as well as the will of an increasing number of urban consumers to reconnect to more direct, human and healthy food production and distribution modes.

These stakes lead to question the extremely specialised agricultural systems which characterise the food supply rural territories. We showed that it is possible to conceive for them an alternative functioning allowing them to ensure both the food and drinking water supply of the urban populations, together with strongly reducing the environmental imprint of urban consumption.

# Dynamique du projet

## Contexte institutionnel

Le projet réunissait une équipe très interdisciplinaire constituée de

\* Sisyphé : Structure et Fonctionnement des Hydrosystèmes Continentaux, UMR 7619, CNRS-UPMC (Gilles Billen, Josette Garnier, Marie Silvestre, Laurence Lestel )

\* Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR 7136 Architecture Urbanisme Sociétés, puis LATTIS (Petros Chatzimpiros, Eunhye Kim)

\* Centre d'Histoire des Techniques et de l'Environnement, EA 3716, CNAM (André Guillerme )

\* EGC : Environnement et Grandes Cultures, UMR 1091, INRA (Pierre Cellier)

L'insertion du projet dans les objectifs généraux du PIREN-Seine et de la FIRE a permis d'élargir encore le débat et le cadre des discussions.

D'autre part, l'équipe s'est impliquée également dans deux autres projets complémentaires :

\* CONFLUENT, ANR « Villes Durables », coordonnée par Sabine Barles, consacré à l'étude du métabolisme urbain approvisionnement (alimentaire, énergétique, en matériaux de construction et autres) de plusieurs grandes villes française, en partenariat avec les gestionnaires de ces villes.

\* L'empreinte alimentaire de Paris en 2030, programme Paris 2030 de la Mairie de Paris. Il s'agit de prolonger les trajectoires décrites pour le passé et le présent dans le projet PIRVE, vers différents futurs possibles ; de décrire ce que pourrait être l'approvisionnement alimentaire (au sens large) de Paris en 2030 et les conséquences qui en résulteraient pour le fonctionnement des milieux ruraux, proches et lointains, qui assurent cet approvisionnement.

Les synergies entre ces trois projets ont permis d'accroître considérablement l'ambition de chacun.

## Colloque international sur l'Histoire de l'empreinte environnementale urbaine (Paris, 10-11 septembre 2009)

Co-organisé par le projet PIRVE-Empreintes et le projet ANR-Confluent (S. Barles)

### Programme du Colloque

#### Thursday, September 10th

9h00 Welcome introduction (Gilles Billen)  
Short presentation of the participants

9h30 **Session 1 : Feeding the city** (Chair Nicolas Buclet)  
\*Derek Keene (London)  
\*Paulo Charruadas (Brussels)

10h30 *Coffee break*

11h00 Session 1 continued  
\*Gilles Billen (Paris)  
\*Petros Chatzimpiros (Paris)

12h30 *Buffet lunch*

13h30 Session 1 continued  
\*Dennis Swaney, Kieran Donaghy, Bob Howarth (New York)  
discussion

15h00 *Coffee break*

#### **Session 2: City appropriation of water resources and waterscape** (Chair Josette Garnier)

\*Sabine Barles (Paris)  
\*Juan Ostos, Enric Tello (Barcelona)  
\*Wally Fulweiler (Providence)  
\* Martha-Letho-Stergiouli (Athens)

18h00 *End*

20h00 *Conference diner*

---

## Friday, September 11th

- 9h00 Session 2 continued  
\*Bob Howarth, Dennis Swaney (New York)  
\*Gertrud Haidvogel, Simone Gringrich (Vienna)  
discussion
- 10h30 *Coffee break*
- 11h00 **Session 3: Fueling the city** (Chair André Guillerme)  
\*Eunhye Kim (Paris)  
\*Sabine Barles (Paris)  
\*Kieran Donaghy, Bob Howarth, Dennis Swaney (New York)  
\*Derek Keene (London)  
discussion
- 13h00 *Buffet lunch*
- General discussion** (Chair Gilles Billen, Sabine Barles)  
Hinterland concept, cross-city comparisons, present relocalisation issues,...
- 16h00 Follow up
- 16h30 *closure of the meeting, beer party*
- 

## Liste des participants

### invited participants

Keene	Derek	<a href="mailto:derek.keene@cnihtas.co.uk">derek.keene@cnihtas.co.uk</a>	London
Charruadas	Paulo	<a href="mailto:pcharrua@ulb.ac.be">pcharrua@ulb.ac.be</a>	Brussels
Deligne	Chloe	<a href="mailto:Chloe.Deligne@ulb.ac.be">Chloe.Deligne@ulb.ac.be</a>	Brussels
Billen	Claire	<a href="mailto:cbillen@ulb.ac.be">cbillen@ulb.ac.be</a>	Brussels
Hadjibiros	Kimon	<a href="mailto:k.hadjibiros@hydro.ntua.gr">k.hadjibiros@hydro.ntua.gr</a>	Athens
Stergioli	Martha-Leto	<a href="mailto:litsterg@gmail.com">litsterg@gmail.com</a>	Athens
Haidvogel	Gertrud	<a href="mailto:gertrud.haidvogel@boku.ac.at">gertrud.haidvogel@boku.ac.at</a>	Vienna
Gingrich	Simone	<a href="mailto:Simone.Gingrich@uni-klu.ac.at">Simone.Gingrich@uni-klu.ac.at</a>	Vienna
Fullweiler	Wally	<a href="mailto:rwf@acs.bu.edu">rwf@acs.bu.edu</a>	Boston
Nixon	Scott	<a href="mailto:swn@gso.uri.edu">swn@gso.uri.edu</a>	Providence
Howarth	Robert W	<a href="mailto:rw2@cornell.edu">rw2@cornell.edu</a>	Ithaca, NY
Swaney	Dennis	<a href="mailto:dps1@cornell.edu">dps1@cornell.edu</a>	Ithaca, NY
Donaghy	Kieran P	<a href="mailto:kpd23@cornell.edu">kpd23@cornell.edu</a>	Ithaca, NY
Tello	Enric	<a href="mailto:etello@pangea.org">etello@pangea.org</a>	Barcelona
Ostos	Joan R.	<a href="mailto:joanramon.ostos@gmail.com">joanramon.ostos@gmail.com</a>	Barcelona

---

### Paris organizing team

Barles	Sabine	<a href="mailto:sabine.barles@univ-paris8.fr">sabine.barles@univ-paris8.fr</a>	Paris
Billen	Gilles	<a href="mailto:gilles.billen@upmc.fr">gilles.billen@upmc.fr</a>	Paris
Garnier	Josette	<a href="mailto:josette.garnier@upmc.fr">josette.garnier@upmc.fr</a>	Paris
Silvestre	Marie	<a href="mailto:marie.silvestre@upmc.fr">marie.silvestre@upmc.fr</a>	Paris
Guillerme	André	<a href="mailto:guillerm@cnam.fr">guillerm@cnam.fr</a>	Paris
Chatzimpiros	Petros	<a href="mailto:petros.chatzimpiros@univ-paris8.fr">petros.chatzimpiros@univ-paris8.fr</a>	Paris
Kim	Eunhye	<a href="mailto:eunhye.kim@univ-paris8.fr">eunhye.kim@univ-paris8.fr</a>	Paris
Carbonaro-Lestel	Laurence	<a href="mailto:laurence.lestel@upmc.fr">laurence.lestel@upmc.fr</a>	Paris
Meybeck	Michel	<a href="mailto:michel.meybeck@upmc.fr">michel.meybeck@upmc.fr</a>	Paris
Buclet	Nicolas	<a href="mailto:nicolas.buclet@utt.fr">nicolas.buclet@utt.fr</a>	Troyes

---

## Numéro spécial de Regional Environmental Changes (Springer)

### *The History of Urban Environmental Imprint*

#### Sommaire

nr	Authors and title	status
1	<i>G. Billen, S.Barles,...</i> Introduction <i>To present the case studies, explain the approach, set the basic questions, and provide an analytical summary of the results.</i>	To be submitted shortly
2	<i>D.Keene</i> Medieval London and its supply hinterlands	Published on line DOI: 10.1007/s10113-011-0243-8
3	<i>P. Charruadas,</i> The cradle of the city: the environmental imprint of Brussels and its hinterland in the High Middle Ages	Published on line DOI 10.1007/s10113-011-0212-2
4	<i>S.Gingrich, G.Haidvogel, F.Krausmann</i> The Danube and Vienna: urban resource use, transport and land use 1800 to 1910	Published on line DOI: 10.1007/s10113-010-0201-x
5	<i>E. Kim and S.Barles</i> The energy consumption of Paris and its supplying areas from 18 <sup>th</sup> century to present	In press
6	<i>G. Billen, P. Chatzimpiros, S. Barles, J. Garnier</i> Grain and Meat to feed Paris: the changing balance between cereal cultivation and animal farming in the Paris Basin (18 <sup>th</sup> -21 <sup>st</sup> centuries)	Published on line DOI 10.1007/ s10113-011-0244-7
7	<i>L. Lestel</i> Non-ferrous metals (Pb, Cu, Zn) needs and city development: the Paris example (1815–2009)	Published on line DOI: 10.1007/s10113-011-0255-4
8	<i>S.W Nixon &amp; R.H. Fulweiler</i> Environmental footprints and shadows in an urban estuary, Narragansett Bay, RI (USA).	Published on line DOI 10.1007/s10113-011-0221-1
9	<i>M.L.Stergiouli and K.Hadjibiros.</i> The growing water imprint of Athens (Greece) throughout history	Published on line DOI: 10.1007/s10113-011-0260-7
10	<i>E.Tello and J.R.Ostos,</i> Water flows in Barcelona (1717-2008): Turning points in a long-term evolution of water urban metabolism	Published on line DOI 10.1007/s10113-011-0223-z
11	<i>D. Swaney, , R. Santoro, RW. Howarth, B. Hong, K. Donaghy</i> Historical changes in the food and water supply systems of the New York City Metropolitan Area	Published on line DOI: 10.1007/s10113-011-0266-1
12	<i>K. Donaghy</i> Urban environmental imprints after globalization	Published on line DOI: 10.1007/s10113-011-0265-2

Tous les articles sont maintenant acceptés, à l'exception de l'article introductif, en cours de rédaction. Tous sauf un, sous presse, sont disponible, en ligne sur le site de la revue Regional Environmental Change (<http://www.springer.com/>). Le numéro spécial sortira au début de l'année 2012.

#### Autres publications

Mis à part les 4 articles de l'équipe dans le numéro spécial de REC, le programme a donné lieu à plusieurs autres publications dans des **revues à comité de lecture**:

Billen, G., Barles S, Garnier J, Rouillard J. and Benoit P (2009) .The Food-Print of Paris: Long term Reconstruction of the Nitrogen Flows imported to the City from its Rural Hinterland. *Regional Environmental Change* 9: 13-24.

Chatzimpiros, P., Barles, S. (2010). Nitrogen, land and water inputs in changing cattle farming systems. A historical comparison for France, 19th–21st centuries. *Science of the Total Environment*, 408: 4644–4653

Billen, G.; Garnier, J.; Thieu, V.; Silvestre, M.; Barles, S.; Chatzimpiros, P. (2011). Localising the nitrogen imprint of the Paris food supply: the potential of organic farming and changes in human diet. *Biogeosciences Discuss.* 8, 10979-11002

Silvestre et al. (in prep). Amstram, a webmapping application based on trade and production statistics for modelling the origin of good supply. (in prep)

Quatre **autres publications**, de nature plus grand public, sont issues directement des travaux du programme :

Billen et al. (2009). Le bassin de la Seine: découvrir les fonctions et les services rendus par le système Seine. Piren-Seine, n°1, Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Billen, G., Barles, S., Chatzimpiros, P., Garnier, J. (sous presse). L'Approvisionnement Alimentaire de Paris. Internationalisation des échanges, (re)localisation de l'économie, perspectives d'évolution métropolitaine. *Actes de l'Université d'été de l'EIVP*, Paris, 1er septembre 2010.

Billen et al (2012). La cascade de l'azote dans le bassin de la Seine. Piren-Seine, Agence de l'Eau Seine-Normandie. Sous presse.

Billen, G., Sabine Barles, S., Chatzimpiros, P., Garnier, J. Pour s'alimenter, Paris a le choix entre privilégier ses terres ou se tourner vers la mer. *La Revue Durable*, 43, aout-sept-oct 2011. pp. 24-27.

# Aperçu des résultats du projet

## Introduction

L'interaction entre les villes et les territoires ruraux proches ou distants avec lesquelles elles échangent de la matière et de l'énergie (et de l'information) est au cœur des questions de développement durable et de gouvernance environnementale. La question centrale du projet réside dans la notion d'hinterland, terme qui désigne un territoire rural, proche ou lointain d'une ville, structuré pour répondre à la demande urbaine.

Bien plus que la mise au point d'un indicateur de type empreinte écologique à ajouter à la batterie de ceux qui existent déjà, c'est l'analyse des mécanismes en œuvre dans les interactions ville-hinterland à laquelle nous nous sommes attachés. L'exemple de Paris et de l'Île de France a servi de cas privilégié d'étude et de réflexion. Mais la comparaison avec la situation d'autres grandes villes occidentales, rendue possible grâce à la constitution d'un réseau international sur le sujet, nous a permis d'étendre considérablement le champ de nos travaux. Ont ainsi été analysés l'approvisionnement énergétique de l'agglomération parisienne, son approvisionnement alimentaire, sa fourniture en eau potable, en métaux non ferreux, en fibres textiles....

Peut-on délimiter l'aire d'approvisionnement d'une grande ville et ses mutations au cours du temps ? Comment ont évolué en parallèle la demande urbaine et les territoires sollicités pour y répondre ? Y a-t-il de ce point de vue des trajectoires très différentes entre différentes villes ? La notion d'hinterland a-t-elle encore un sens dans le monde globalisé et interconnecté d'aujourd'hui ? Comment situer dans ces évolutions historiques l'aspiration émergente à une relocalisation des approvisionnements urbains ?

## Méthodologie

Diverses **approches méthodologiques** ont été croisées, comme l'établissement de bilans de circulation de matières (matière brutes, eau, aliments, matériaux de construction, azote, métaux,...) et le traçage géographique de l'origine des biens consommés et de la destination des biens exportés.

Pour les données anciennes relatives à l'agglomération parisienne le croisement de données statistiques et de transport nous ont permis de définir l'évolution sur deux siècles des territoires d'approvisionnement.

En ce qui concerne l'époque actuelle, nous avons généralisé cette approche à partir des données disponibles sur les transports de marchandises entre départements français et pays étrangers (base SiTraM) et sur les productions agricoles ou industrielles correspondantes.

La base de données SitraM recense chaque année les flux ( $I$ ) de marchandises (176 postes) entre le lieu de leur dernier chargement (département français ou pays étranger) (origine,  $o$ ) et leur destination ( $d$ ). On compte 95 départements et 211 pays, soit 306 origines et destinations). Pour chaque poste de la nomenclature (176 postes éventuellement regroupés) et pour une année donnée, on a donc une matrice  $\{ I(d,o) \}$  (306x306). Les flux de transport internes  $I(i,i)$  n'ont pas de signification et ne sont pas à prendre en considération. Par contre, ils doivent être remplacés par les **flux de production interne**. Nous appellerons  $\{ I^*(d,o) \}$  la matrice résultant de cette substitution, et qui intègre donc les données de production interne pour le produit considéré. Nous ferons l'hypothèse que la répartition par origine de la consommation finale dans un territoire est identique à celle des importations + production interne de ce territoire, même si une part importante de ce qui est importé est réexportée. Cette hypothèse de '**mélange parfait**' est une hypothèse forte qui revient à nier toute préférence locale sur l'ensemble de l'offre déjà acheminée dans le territoire.

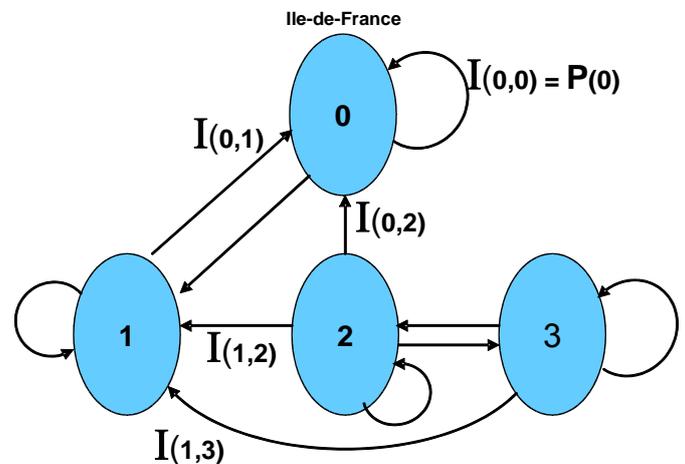
Pour un territoire  $a$  donné, la répartition des provenances peut alors être calculée au **premier ordre** par le bilan des dernières origines d'importation :

$$\{ r_1(a, i) \} = \{ I^*(a, i) / \sum_{j=tt\ o} ( I^*(a, j) ) \} \quad (1)$$

avec

$$0 \leq r_1 \leq 1$$

$$\sum_i r_1(a,i) = 1$$



Mais au **second ordre**, il faut tenir compte des origines antérieures, évaluées pour chaque territoire de dernière origine, selon l'hypothèse du mélange parfait. Le flux apporté au territoire depuis chaque origine est donné par la somme des contributions de cette origine dans tous les flux entrants de toutes les provenances :

$$\{ r_2(a, i) \} = \{ [ \sum_{k=tt\ o} ( I^*(a, k) \cdot r_1(k,i) ) ] / \sum_{j=tt\ o} ( I^*(a, j) ) \} \quad (2)$$

Un logiciel, Amstram (Silvestre et al., in prep), a été mis au point pour automatiser l'analyse de ces données. Il permet de définir la répartition des aires d'approvisionnement en un produit quelconque de tout département ou ensemble de départements français (Figure 1). Ce logiciel fonctionne comme une application internet. Actuellement mis en ligne sous protection d'un mot de passe, il est en phase

d'essai par les différentes équipes du programme, avant d'être mis à la disposition des communautés scientifiques ou techniques intéressées par ce type d'analyse des données.

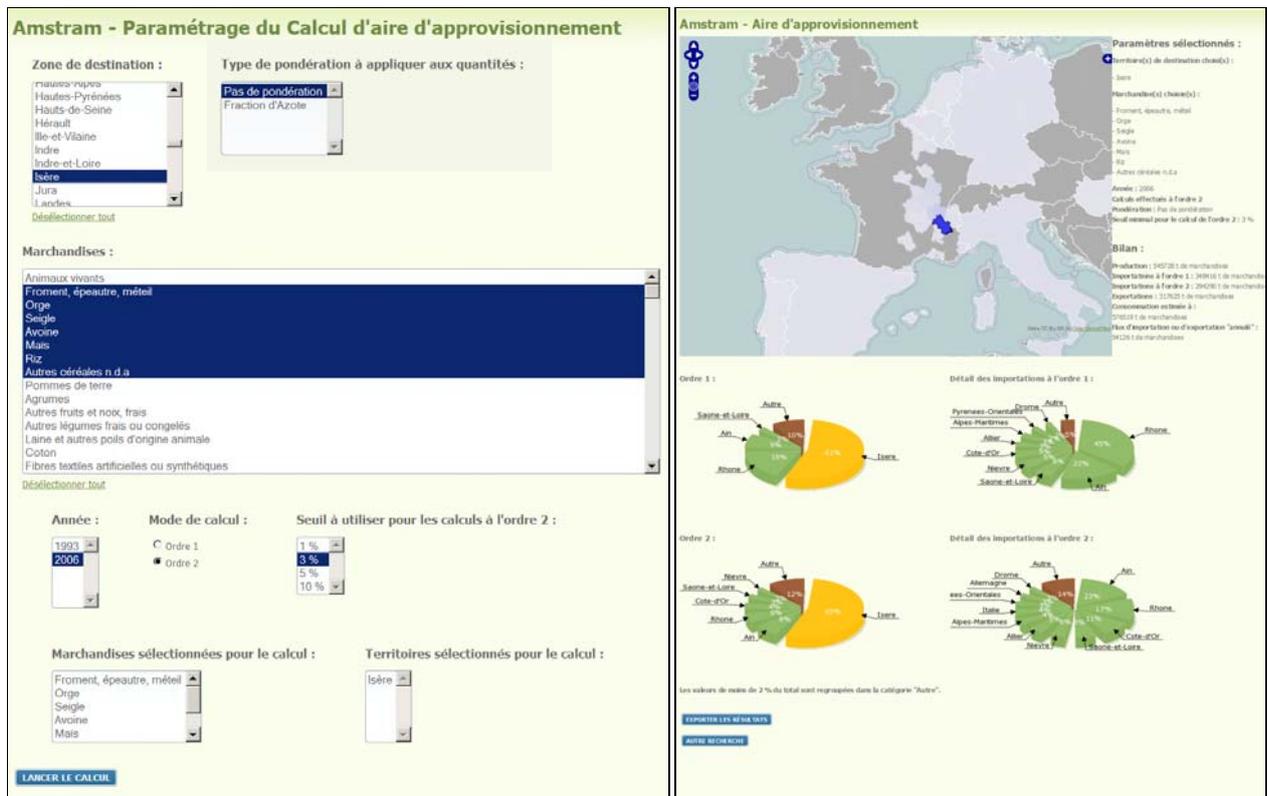


Figure 1. Interfaces du logiciel Amstram.

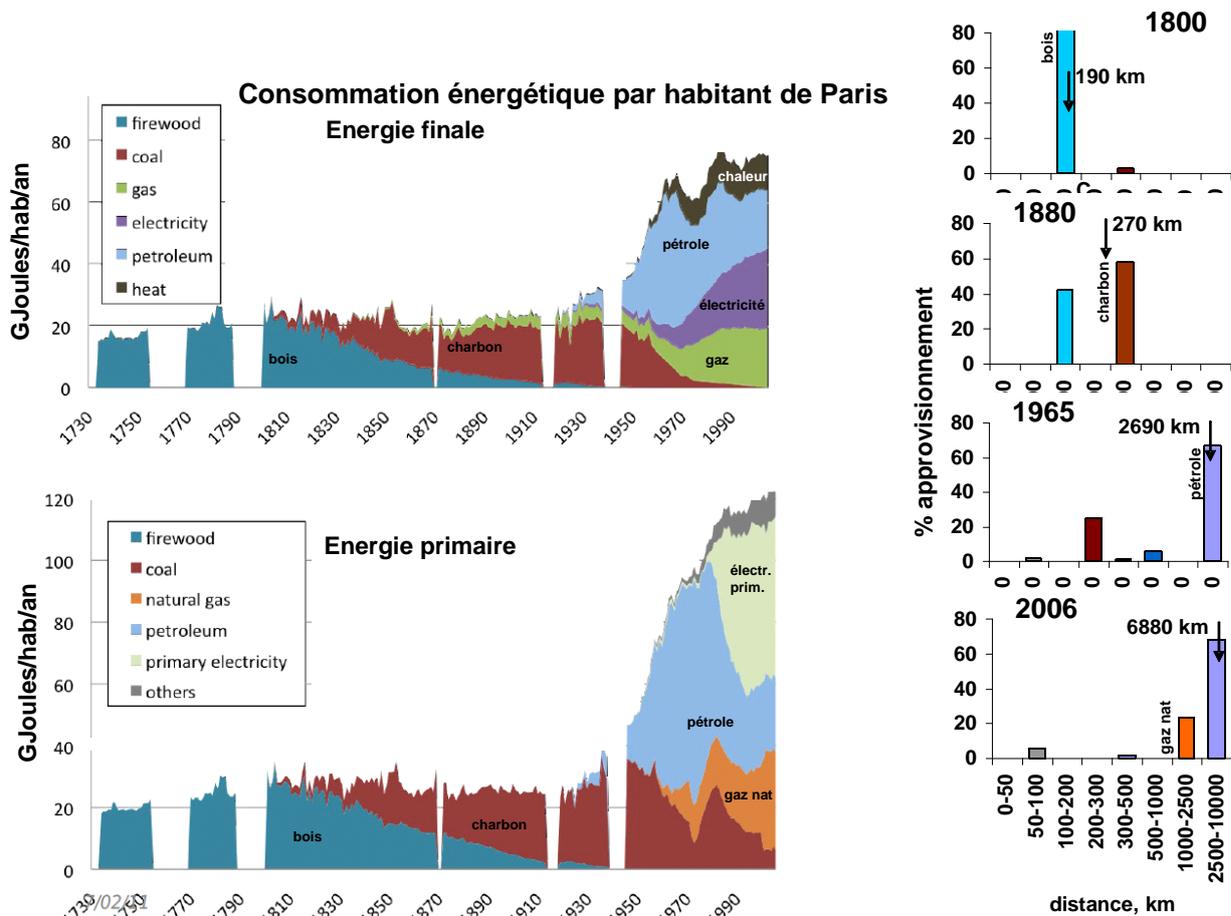
L'analyse de l'empreinte alimentaire parisienne a débouché sur une approche originale d'analyse du fonctionnement du système agricole en termes de circulation d'azote, qui permet de le mettre en lien avec les questions de qualité des ressources en eau. Cette approche a permis aussi la construction de scénarios alternatifs de fonctionnement du système (Billen et al., 2011a, b).

## L'approvisionnement énergétique de Paris

Les travaux de E. Kim ont permis de retracer l'évolution de l'approvisionnement énergétique de Paris, depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (Kim & Barles, 2011). Les résultats (Fig. 2) montrent bien :

\* un élargissement progressif des zones d'approvisionnement circonscrites d'abord par le bassin de la Seine (à cause de l'importance du flottage dans l'approvisionnement en bois et en fourrage) puis s'éloignant et se dispersant au fur et à mesure des transitions du bois au charbon puis au pétrole et au nucléaire.

\* un quadruplement de la consommation énergétique par capita au moment de la transition aux produits pétroliers.



**Figure 2.** Evolution de la consommation énergétique par habitant à Paris (en énergie primaire et en énergie finale) de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle à aujourd'hui. (Kim & Barles, 2011.)

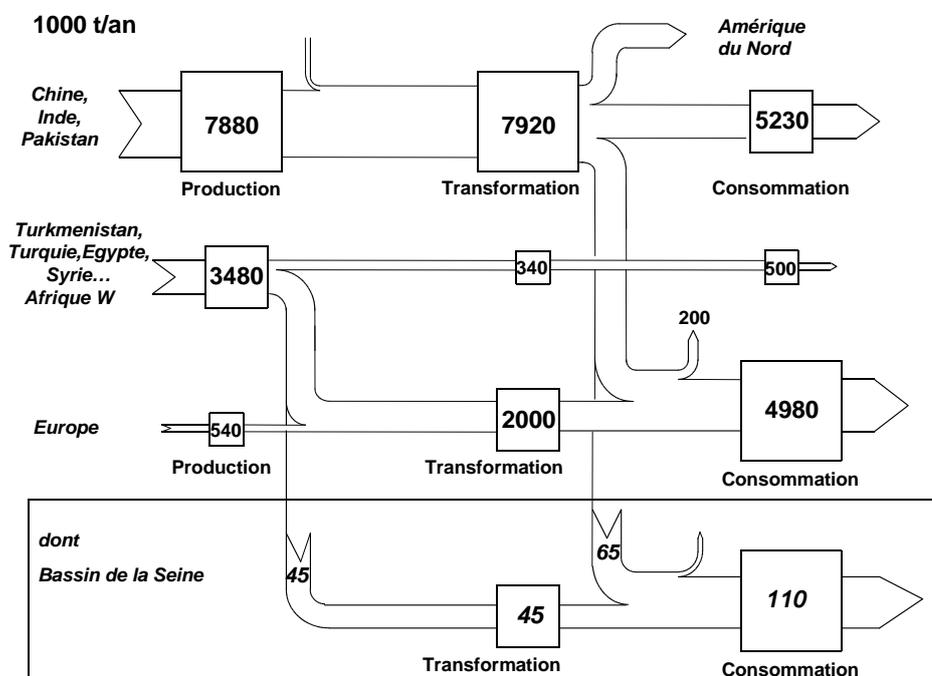
## L'approvisionnement de Paris en métaux non ferreux

L'analyse menée par L. Lestel (2011) des circuits de production et de transformations des biens en métaux consommés par Paris et son agglomération, montre bien comment la ville, d'abord lieu très actif de raffinage et de transformation des métaux au début de l'ère industrielle, perd progressivement ces fonctions et fini par n'être plus qu'un lieu de consommation finale de produits manufacturés à l'étranger. L'épuisement progressif des matières premières vierges confère cependant à la ville un rôle potentiel de gisement de ressources recyclables qu'elle n'exploite encore que très marginalement.

## L'approvisionnement en fibres textiles : le cas du coton.

Chaque habitant de l'agglomération parisienne 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. La région parisienne, et plus généralement le bassin parisien au sens large, est le siège d'une activité textile significative. Si l'on fait l'hypothèse que cette activité se comporte comme la moyenne européenne, il est possible de retracer la place des flux de coton du territoire 'bassin parisien' dans les grands échanges mondiaux de fibres (Figure 3). Pour son activité de transformation, le bassin parisien 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 la fourniture des biens consommés localement est assurée largement par l'importation de produits finis.

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 parisien en coton montre que ce territoire 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 » s'exerce dans des pays, en Asie et en Afrique, qui manquent cruellement d'eau par ailleurs.

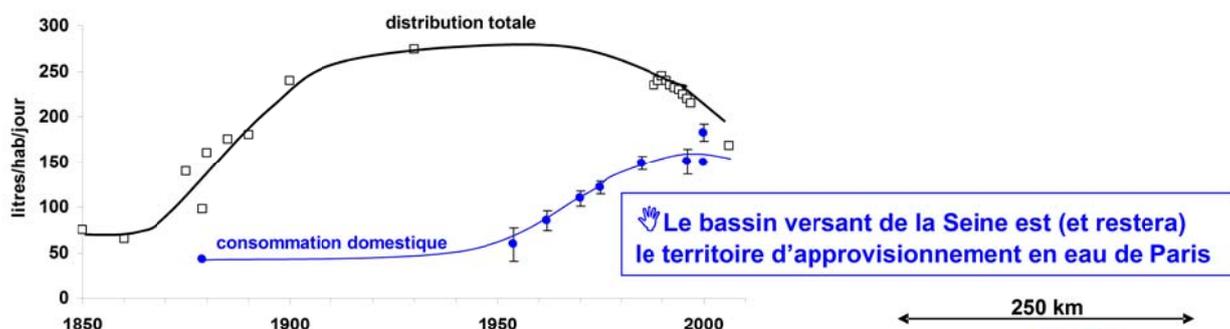


**Figure 3.** Représentation simplifiée des flux de coton (en milliers de tonnes par an) entre l'Europe et les principales régions du monde qui contribuent à son approvisionnement. Les flux correspondants à l'échelle du bassin parisien (encadré bleu) sont calculés sur base d'une consommation moyenne 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)

## L'approvisionnement en eau potable de Paris

L'aire d'alimentation de Paris en eau de distribution continue d'être circonscrite au bassin versant de la Seine (Fig. 4). Si les raisons en paraissent évidentes, il est bon de se rappeler qu'une telle situation n'est pas la règle. De nombreuses grandes agglomérations étendent leur aire d'alimentation en eau potable bien au-delà des limites du bassin versant dans lequel elles se situent. Athènes offre à cet égard le cas particulièrement frappant d'une ville qui s'est progressivement approprié les ressources en eau d'un vaste territoire bien au-delà des frontières hydrographiques (Stergiouli & Hadjibiros, in press). La même situation se retrouve à New York (Swaney et al, subm), qui constitue de plus un exemple de ville qui, en matière d'aménagement des territoires ruraux environnant, privilégie de manière volontariste la production d'une eau potable de qualité à la production agricole.

### Distribution et consommation domestique d'eau potable (en litres/hab/jour) dans l'agglomération parisienne



### Origine de l'AEP de l'agglomération parisienne (2006)

eau de surface		m3/jour	%
Seine	(Choisy, Orly, Ivry)	500 000	30
Marne	(Neuilly, Joinville)	405 000	24
Oise	(Méry)	164 000	10
eau souterraines			
aqueduc du Loing		51 600	3
aqueduc de la Vanne		118 250	7
aqueduc de la Voulzie		36 350	2
aqueduc de l'Avre		46 900	3
autres		365 300	22
<b>total</b>		<b>1 687 400</b>	<b>100</b>

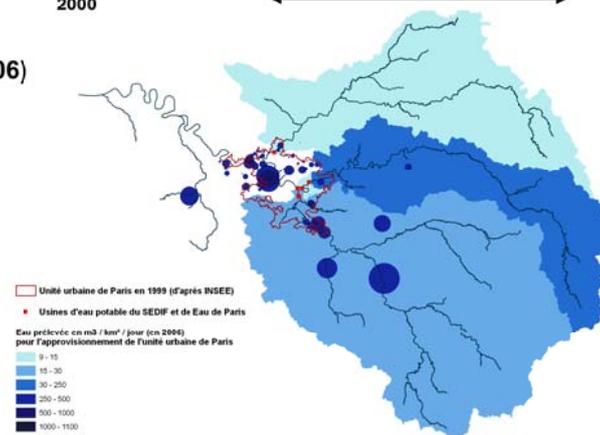


Figure 4. Approvisionnement en eau potable de l'agglomération parisienne.

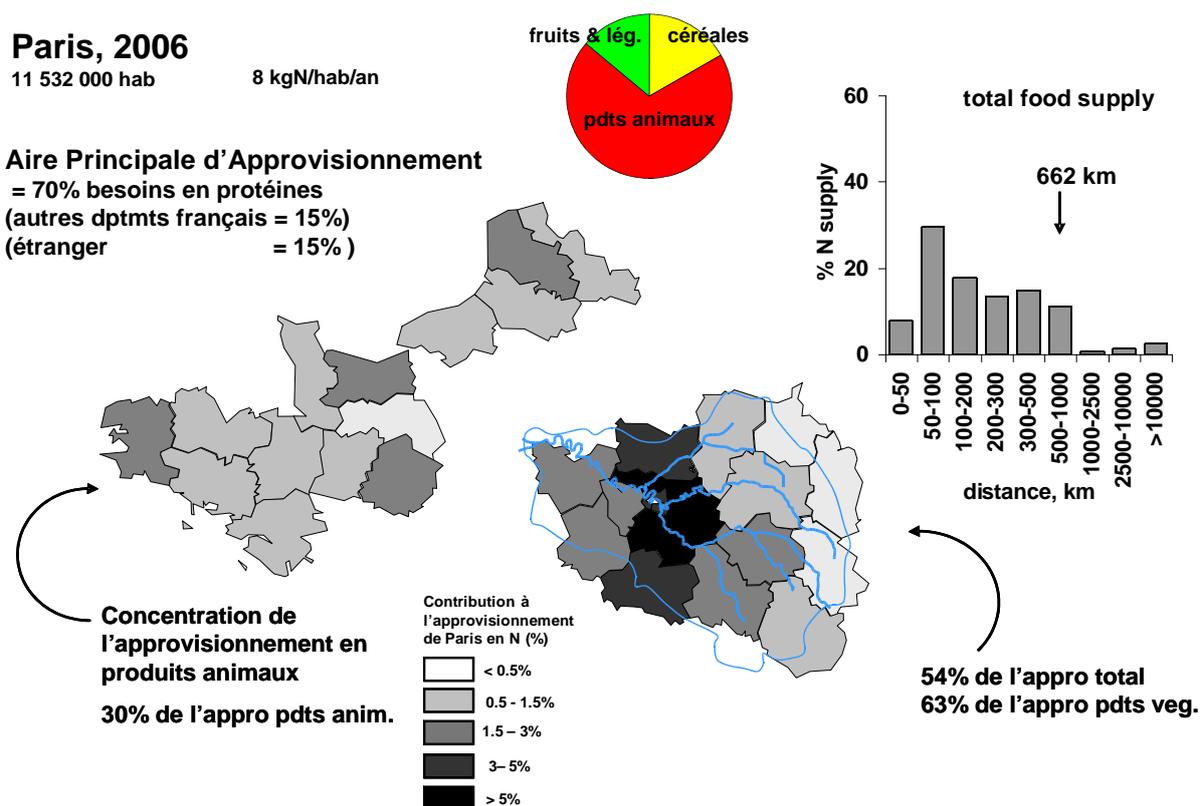
## L'approvisionnement alimentaire de l'agglomération parisienne

L'analyse historique de l'aire d'approvisionnement alimentaire de Paris (Billen et al., 2009) montre que jusqu'au début du XXe siècle, le milieu rural du bassin parisien a suivi de très près l'accroissement d'un facteur 10 de la demande alimentaire urbaine, en décuplant son pouvoir d'exportation commerciale de produits agricoles grâce à une meilleure maîtrise de la culture des légumineuses fourragères et de la fertilisation animale. Le formidable essor des moyens de transport qui caractérise le XIXe siècle n'a pas conduit, dans le cas de Paris, à un considérable élargissement des aires d'approvisionnement alimentaire.

Après la seconde guerre mondiale, quand l'agglomération parisienne double encore sa population, la généralisation du recours aux engrais de synthèse rompt le lien fonctionnel entre agriculture et élevage, permettant une spécialisation sans précédent des territoires ruraux. Leur potentiel d'exportation s'accroît aussi considérablement; s'en suit une ouverture complète des marchés

internationaux tant pour l’approvisionnement en aliments pour le bétail que pour la commercialisation des céréales. Toutefois l’analyse des statistiques du transport de marchandises (base de données SitraM) montre que l’approvisionnement alimentaire parisien reste, dans une plus large mesure qu’on ne pourrait le penser, ancré dans ce qui constituait son hinterland nourricier traditionnel. Il en est ainsi clairement en ce qui concerne le marché des céréales. En ce qui concerne les produits animaux, la contribution du Grand Ouest est devenue largement dominante, suite à la disparition de l’élevage dans le centre bassin parisien. Enfin en ce qui concerne les fruits et légumes, s’il subsiste d’importantes zones d’approvisionnement de proximité, l’éclatement des aires d’approvisionnement est ici particulièrement sensible (Billen et al, 2011).

Globalement, il est possible de définir une zone d’approvisionnement alimentaire principale de l’agglomération parisienne, qui couvre 70% de ses besoins en protéines. Les 30% restant se répartissent pour moitié entre l’étranger et les autres départements français (Figure 5).



**Figure 5.** L’aire principale d’approvisionnement alimentaire de l’agglomération parisienne.

En ce qui concerne son cycle de l’azote, le système agraire du bassin de la Seine se caractérise par une dominance des grandes cultures, avec un recours massifs aux engrais azotés de synthèse, un élevage peu développé (sauf dans ses franges périphériques Est et Ouest) et un recours très limité à la fixation symbiotique d’azote par les légumineuses (Figure 6). Ce territoire, exporte plus de 80% de sa production végétale, mais n’assure que moins de 20% des besoins en produits animaux de sa population.

Le système agraire de l’autre composante de l’aire principale d’approvisionnement parisien (Bretagne-Normandie-Pas de Calais) est caractérisé au contraire par un très grand développement de l’élevage (81 UGB/km<sup>2</sup>, plus de 4 fois la densité de bétail du bassin de la Seine) (Figure 6). Son cycle de l’azote est ainsi dominé par les flux d’alimentation et d’excrétion du bétail. Une part importante de l’alimentation du bétail provient de denrées importées, pour l’essentiel du soja Brésilien et des tourteaux de soja en provenance d’Argentine. La base de données SitraM conduit à estimer les importations de soja vers les départements constitutifs de cette région à 300 ktonN/an. Sur base des tables de rationnement des animaux d’élevage, on arrive à un chiffre moitié moindre (160 ktonN/an) mais qui reste considérable en termes de part des protéines importées par rapport à la production

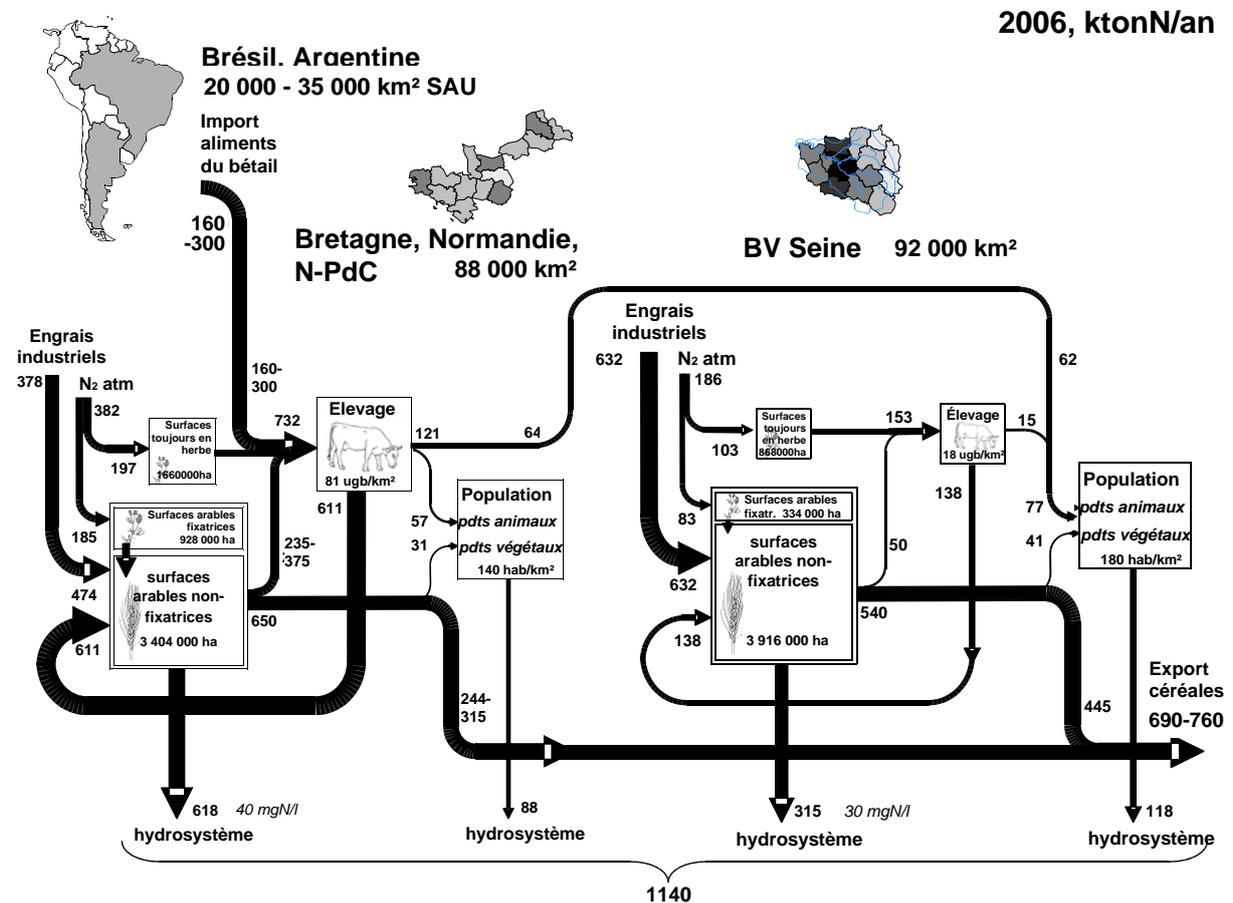
locale. Ce territoire exporte une quantité considérable de produits animaux (viande et produits laitiers). S'il exporte également des produits végétaux, leur contenu protéique ne représente guère plus que celui des aliments pour bétail importés. Compte tenu du rendement de la culture du soja en Amérique latine (env 25 qx/ha/an, soit 88 kgN/ha/an) les importations vers notre agro-système représentent une surface agricole utile de quelque 20000 à 35000 km<sup>2</sup>, soit un territoire de taille comparable à celui considéré ici.

On voit ainsi comment la consommation alimentaire de la région parisienne dépend actuellement pour l'essentiel de 3 territoires de taille sensiblement identique mais au fonctionnement radicalement différent (Figure 6):

\* Le bassin de la Seine, après avoir longtemps assuré le rôle d'interland nourricier traditionnel de la région parisienne, est maintenant principalement tourné vers la production céréalière écoulée à 80% sur des marchés extérieurs.

\* Les territoires de la Bretagne, de la Normandie et du Nord Pas de Calais assurent une large part des besoins en produits animaux de la région parisienne tout en important massivement des aliments pour bétail.

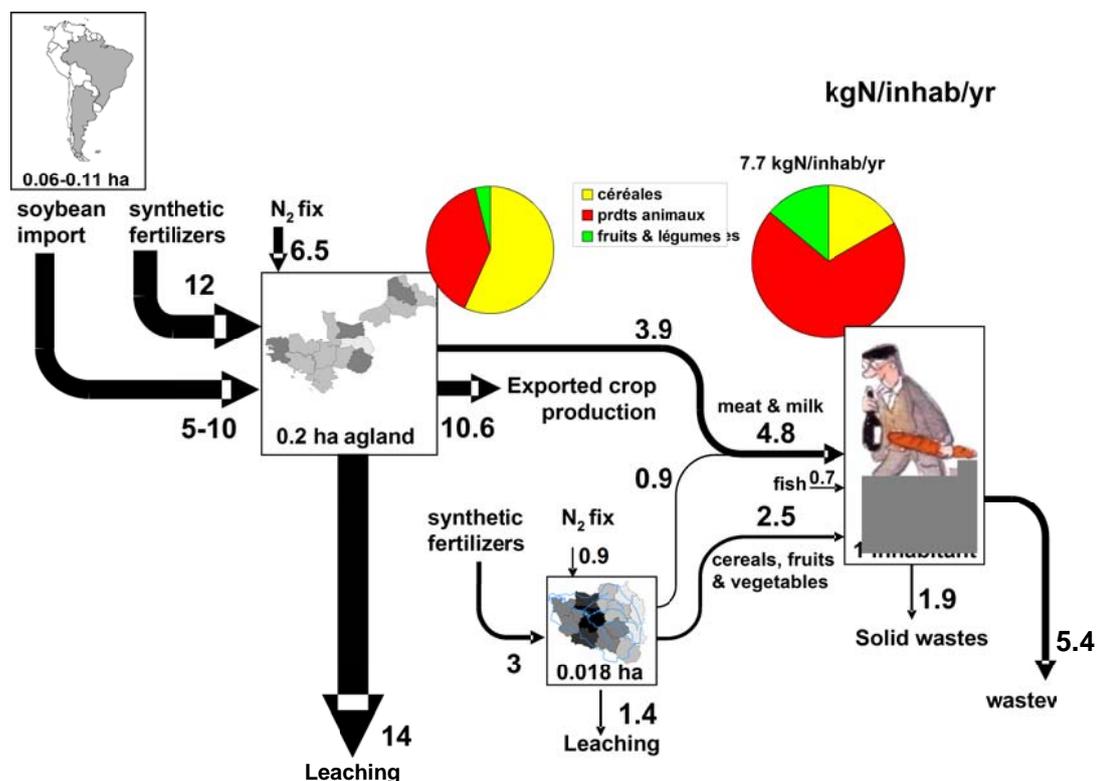
\* Des régions d'Amérique latine spécialisées dans la production de soja assurent l'essentiel de ces dernières importations.



**Figure 6.** Flux d'azote dans l'agro-système des trois territoires impliqués principalement dans l'approvisionnement alimentaire de l'agglomération parisienne en 2006 (Flux en ktonN/an). (sources : Agreste, 200 ; SitraM, 2006, FAOstat, 2006)

En ramenant par habitant les chiffres de la figure 6, il est possible de décomposer l'empreinte alimentaire azotée individuelle du francilien moyen, et de définir en quelque sorte un équivalent habitant généralisé qui représente les flux d'azote générés à tous les stades de la chaîne agro-alimentaire par l'alimentation d'une personne habitant la région parisienne (Figure 7). L'équivalent habitant classiquement considéré comme représentatif de la charge azotée individuelle dans les eaux usées urbaines est de 15 gN/hab/jour ou 5.4 kgN/hab/an. La différence avec le chiffre de la

consommation brute totale de 8 kgN/hab/an est une estimation de la production de déchets solides générés entre l'approvisionnement en produits agricoles bruts et la consommation finale effective. Des pertes de l'ordre de 20-30% sont en effet citées par plusieurs études qui se sont intéressées à cette question. Pour simplifier le diagramme, nous avons considéré, comme nous y invite l'analyse des aires d'approvisionnement, que l'essentiel de la consommation francilienne de produits végétaux est issue d'agrosystèmes similaires à celui du bassin de la Seine, tandis que l'essentiel de la consommation de produits animaux provient d'agrosystèmes du type Bretagne-Normandie-Pas de Calais. La consommation de produits de la mer (poissons, mollusques, crustacés, soit env. 0.7 kgN/hab/an) est exclue de l'analyse.

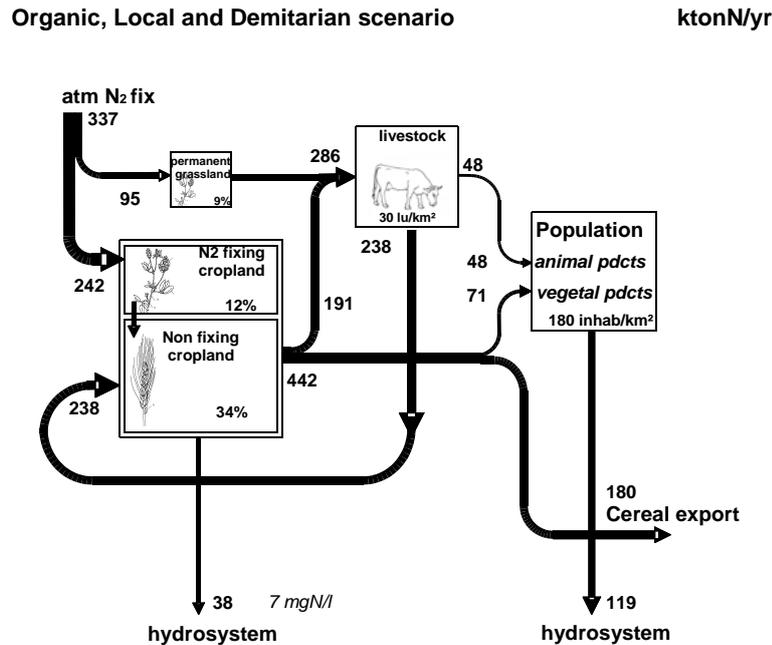


**Figure 7.** L'empreinte azote du Francilien moyen en 2006 (généralisation de la notion d'équivalent habitant) (Flux en kgN/habitant/an). (Billen et al., subm)

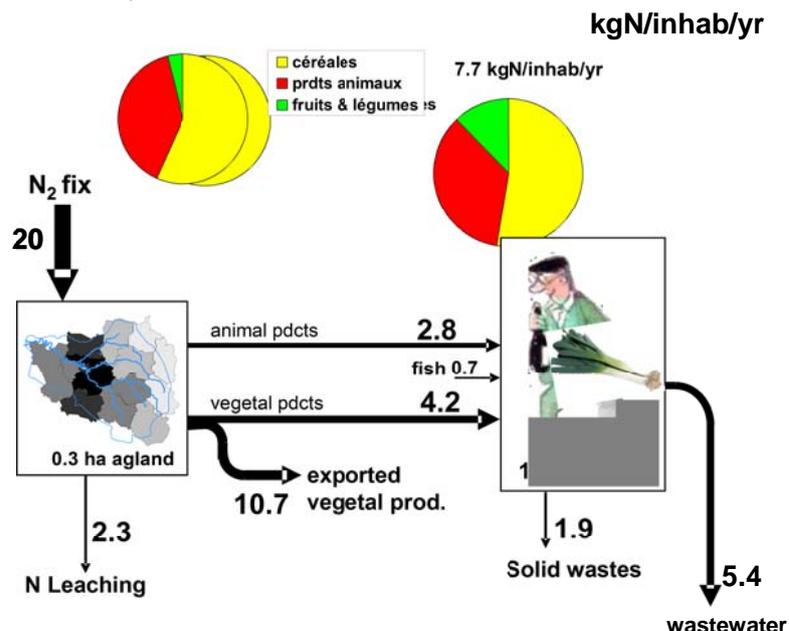
Cette analyse montre que la fourniture de l'alimentation d'un habitant ne requiert que 0.018 ha de surface agricole utile, fertilisée à raison de 3 kgN/an plus 0.9 kgN/an issus de la fixation symbiotique par les légumineuses, et donnant lieu à une perte vers l'hydrosystème de l'ordre de 1.4 kgN/an. Cette même surface agricole ne produit cependant que moins de 20% de la consommation de protéines animales de notre habitant. Pour produire le complément, une surface agricole dix fois plus importante (0.2 ha) est nécessaire, et met en œuvre des flux d'azote beaucoup plus considérables, incluant l'importation de 10 kgN/an de soja latino-américain (produit sur 0.11 ha), l'utilisation de 12 kgN/an de fertilisant industriels et de 6.5 kgN/an fixés symbiotiquement. Cette surface produit également un surplus de production végétale exporté de 10.6 kgN/an. Elle donne lieu à des pertes environnementales d'azote potentiellement polluantes pour l'hydrosystème de l'ordre de 14 kgN/an, soit 3 fois l'équivalent habitant classique. À l'évidence, la production des protéines animales, au dessus de la fraction qui peut être produite par un système de polyculture élevage équilibré, est responsable de la plus grande part de l'empreinte alimentaire, et est source de tensions entre production de nourriture et production d'eau potable.

A l'échelle du bassin de la Seine, il a été montré que la poursuite des tendances récentes en matière de pratiques agricoles compromettrait gravement la pérennité des ressources actuelles d'eau potable et la qualité écologique des eaux de surface (Thieu et al, 2010). La généralisation des 'bonnes pratiques agricoles' (rationalisation des doses de fertilisants, introduction des cultures intermédiaires piège à nitrates,...) aboutirait au mieux à stabiliser la situation, sans vraiment inverser les tendances. Ceci indique la nécessité d'une modification beaucoup plus radicale de l'agriculture.

Divers scénarios, de caractère tout à fait utopique, ont alors été construits (Billen et al., 2011). Ils ont en commun une volonté de relocalisation de l’approvisionnement alimentaire parisien au territoire du bassin de la Seine ainsi que la généralisation d’une agriculture sans intrants, ayant uniquement recours aux ressources fertilisantes de la fixation symbiotique de légumineuses et à la production locale de fourrage pour le bétail. Dans le scénario le plus audacieux, on fait en outre l’hypothèse d’une réduction de la part des protéines animales dans la diète humaine de 65 à 40%. Ce scénario (Figure 8), qui réduit considérablement l’empreinte alimentaire par habitant (Figure 9), permet la compatibilité entre production locale de nourriture et production d’eau potable, tout en permettant encore une exportation de céréales du même ordre que celle exportée aujourd’hui et ne remettant donc pas en cause la vocation céréalière exportatrice de ce territoire.



**Figure 7.** Flux d’azote dans l’agro-système du bassin de la Seine dans un scénario bio, local et demitarien. (Flux en ktonN/an)



**Figure 9.** L’empreinte alimentaire du francilien moyen dans un scénario d’agriculture biologique, relocalisée au bassin de la Seine et moyennant l’hypothèse d’un régime alimentaire demitarien, c’est-à-dire comportant seulement 40% de protéines d’origine animale.

## Conclusion

Des cas étudiés ci-dessus découle une sorte de typologie des relations ville-hinterland qui permet de resituer le débat sur la relocalisation de l'économie dans la réalité des échanges de matière qui caractérisent aujourd'hui le fonctionnement des systèmes urbains.

Dans le cas de l'approvisionnement énergétique et de la fourniture en biens de consommation durables tels que les objets métalliques ou les textiles, on voit bien l'intervention d'un marché mondial caractérisé par une extrême spécialisation géographique des activités productrices et des échanges. L'empreinte d'une ville comme Paris sur ces marchés se superpose à celle de tant d'autres villes que les territoires productifs concernés n'entretiennent avec elle aucune relation privilégiée. Paris n'est qu'un nœud parmi d'autres d'un réseau mondial de transactions anonymes, et toute tentative de territorialisation des échanges semble vouée à rester marginale. Encore l'épuisement des ressources en matière premières et en énergies fossiles conduira-t-il peut-être à terme à remettre à l'ordre du jour l'exploitation locale des gisements urbains d'énergie renouvelable et de matières premières secondaires, ce qui impliquera un certain degré de relocalisation économique.

Le cas de l'approvisionnement alimentaire, en ce compris la fourniture d'eau potable, contraste fortement de ce point de vue. Un territoire correspondant grosso modo au bassin parisien dans son acception géologique, ou au bassin hydrologique de la Seine, a longtemps constitué l'hinterland nourricier principal de Paris. En matière de fourniture d'eau potable, il l'est resté exclusivement jusqu'à ce jour (au contraire du cas de plusieurs autres grandes villes occidentales qui ont dû étendre très largement leur zone de captage d'eau potable au-delà des limites de leur bassin versant). En matière de fourniture alimentaire, l'extension de la zone d'approvisionnement principale de l'agglomération parisienne est essentiellement liée à la spécialisation territoriale entre production céréalière et production animale qui a abouti dans la seconde moitié du XXe siècle à exclure l'élevage du centre du bassin parisien pour le concentrer dans le Grand Ouest. L'approvisionnement alimentaire de Paris reste cependant assez resserré géographiquement pour donner lieu à des enjeux territoriaux extrêmement forts. Au premier rang de ceux-ci figurent la question de la compatibilité entre production alimentaire et fourniture d'eau potable par les mêmes territoires ruraux, ainsi que la volonté d'une fraction toujours plus grande des consommateurs urbains à renouer des liens plus directs, plus humains, plus sains, avec la production alimentaire.

Ces enjeux aboutissent à la remise en cause des systèmes agro-alimentaires extrêmement spécialisés et ouverts qui, en amont de l'approvisionnement urbain lui-même, caractérisent les territoires ruraux nourriciers. Nous avons montré qu'il était possible de concevoir pour ces territoires un mode de fonctionnement alternatif qui leur permettrait de subvenir aux besoins des populations qu'ils nourrissent tout en produisant une eau potable de qualité et réduisant très considérablement l'empreinte environnementale de la consommation urbaine.

## Références

Billen, G., Barles S, Garnier J, Rouillard J., Benoit P (2009) .The Food-Print of Paris: Long term Reconstruction of the Nitrogen Flows imported to the City from its Rural Hinterland. *Regional Environmental Change* 9: 13-24

Billen, G., Barles, S., Chatzimpiros, P., Garnier, J. (2011). Grain, meat and vegetables to feed Paris: where did and do they come from? Localising Paris food supply areas from the eighteenth to the twenty-first century. *Regional Environmental Changes*. DOI 10.1007/s10113-011-0244-7

Billen, G.; Garnier, J.; Thieu, V.; Silvestre, M.; Barles, S.; Chatzimpiros, P. (2011). Localising the nitrogen imprint of the Paris food supply: the potential of organic farming and changes in human diet. *Biogeosciences Discuss.* 8, 10979-11002

Kim, E., and Barles, S. (2012). The energy consumption of Paris and its supply . *Regional Environmental Change* (In press)

Lestel, L. (2011). Non-ferrous metals (Pb, Cu, Zn) needs and city development: the Paris example (1815–2009) *Regional Environmental Change* DOI: 10.1007/s10113-011-0255-4

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.

Stergiouli, M.L. and Hadjibiros, K. (2011) The growing water imprint of Athens (Greece) throughout history *Regional Environmental Changes*. DOI: 10.1007/s10113-011-0260-7

D. Swaney, , R. Santoro, RW. Howarth, B. Hong, K. Donaghy. Historical changes in the food and water supply systems of the New York City Metropolitan Area. *Regional Environmental Changes* DOI: 10.1007/s10113-011-0266-1

Thieu, V., Garnier, J., Billen, G. (2010). Assessing the effect of nutrient mitigation measures in the watersheds of the Southern Bight of the North Sea. *Science of the Total Environment*. 408: 1245–1255