

Agronomie

environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

Défi alimentaire et Agronomie

Enjeux alimentaires : quels défis pour l'agronomie ?

Rendements et qualité sont-ils conciliables ?

Nouvelles structurations et fonctionnement des bassins de production alimentaire.

Quelle utilisation de l'espace en zone rurale et périurbaine ?

Défi alimentaire, politiques agricoles, environnement.

Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : douhairi@supagro.inra.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clés pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication

Thierry DORÉ, président de l'Afa, professeur d'agronomie AgroParisTech

Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial

Guy TRÉBUIL, chercheur Cirad

Philippe PRÉVOST, Directeur de l'enseignement Montpellier SupAgro

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, Directeur de recherches Inra
- Bernard BLUM, Directeur d'Agrometrix
- Jean BOIFFIN, Directeur de recherches Inra
- Matthieu CALAME, Directeur de la Fondation pour le Progrès de l'Homme
- Jacques CANEILL, Directeur de recherches Inra
- Joël COTTART, Agriculteur
- Cécile COULON, Ingénieure Inra
- Thierry DORÉ, Professeur d'agronomie AgroParisTech
- Philippe ÉVEILLARD, Responsable du pôle agriculture, environnement et statistiques de l'Unifa
- Sarah FEUILLETTE, Chef du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Yves FRANCOIS, agriculteur
- Jean-Jacques GAILLETON, Inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole
- François KOCKMANN, Chef de service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71
- Nathalie LANDÉ, Ingénieure Cetiom
- François LAURENT, Chef du service Conduites et Systèmes de Culture à Arvalis-Institut du végétal
- Francis MACARY, Ingénieur de recherches Irstea
- Jean-Robert MORONVAL, Enseignant d'agronomie au lycée agricole de Chartres
- Christine LECLERCQ, Professeur d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais
- Philippe POINTEREAU, Directeur du pôle agro-environnement à Solagro
- Philippe PRÉVOST, Directeur de l'enseignement et de la vie étudiante à Montpellier SupAgro
- Guy TRÉBUIL, Chercheur Cirad.

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément

(voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa, veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

p.7// Avant-propos

T. Doré (Président de l'Afa) et O. Réchauchère (Rédacteur en chef)

p.9// Édito

G. TRÉBUIL (Cirad, vice-président de l'Afa, coordonnateur du numéro)

p.13// Enjeux alimentaires : quels défis pour l'agronomie ?

p.15- The challenges facing contemporary food systems : policy and governance pathways to sustainable production and consumption - D. BARLING (City University, Londres)

p.27- La place de l'exercice Agrimonde dans la multiplication récente des perspectives agricoles et alimentaires mondiales - S. TREYER (Iddri)

p.37- Comment l'évolution des systèmes alimentaires interroge-t-elle l'agronomie ? - T. DORÉ (AgroParisTech), E. MALÉZIEUX (Cirad, Persyst) et G. TRÉBUIL (Cirad, ES)

p.49// Rendement et qualité sont-ils conciliables ?

p.51- La filière blé : entre évolutions technologiques et sociétales

J. ABECASSIS (Inra, Umr late)

p.59- Conception et conduite de systèmes de culture céréalières conciliant rendement et qualité

C. LOYCE (AgroParisTech, Umr Agronomie), M.H. JEUFFROY (Inra, Umr Agronomie)

P.73// Nouvelles structurations et fonctionnement des bassins de production alimentaire

p.75- Analyse et conception de systèmes de production végétale à l'échelle des bassins d'approvisionnement agro-alimentaires

M. LE BAIL (AgroParisTech) et P.Y. LE GAL (Cirad, Umr Innovation)

p.87// Quelle utilisation de l'espace en zones rurales et péri-urbaines ?

p.89- Cultiver les milieux habités. Quelle agronomie en zone urbaine ?

C. SOULARD (Inra-Sad) et C. AUBRY (Inra-Sad)

p.103// Défi alimentaire, politiques agricoles, environnement

p.105- Politique et dynamique des systèmes de production : comment concilier défi alimentaire, compétitivité et environnement ?

V. CHATELLIER (Inra, Lereco) et P. DUPRAZ (Inra, Smart & Agrocampus Ouest)

p.117- Les territoires d'alimentation des villes : empreinte alimentaire et territoire d'approvisionnement, deux concepts de l'agronomie des territoires

M. BENOÎT (Inra-Sad, Aster), P. CHATZIMPIROS (Université Paris Est-Marne la Vallée) et V. THIEU (European Commission)

p.131// Restitution des débats lors des Entretiens du Pradel

p.137// Notes de lecture

p.139- Afterres 2050 - Scénario d'utilisation des terres agricoles et forestières pour satisfaire les besoins en alimentation, en énergie, en matériaux, et réduire les gaz, de SOLAGRO (T. Doré)

p.143- Pour une alimentation durable : réflexion stratégique duALIne de C. Esnouf, M. Russel & N. Bricas (G. Trébuil)

p.147- Food Policy de T. Lang, D. Barling & Carragher (G. Trébuil)



Défi alimentaire, politiques agricoles, environnement

Les territoires d'alimentation des villes : empreinte alimentaire et bassin d'approvisionnement, deux concepts de l'agronomie des territoires

Territories to feed the cities: food print and feeding basin, two concepts of landscape agronomy

Marc BENOIT*, Petros CHATZIMPIROS**
et Vincent THIEU***

* SAD, UR ASTER ; 662, avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt ; benoit@mirecourt.inra.fr (auteur correspondant)

** Université Paris Est-Marne la Vallée, département génie urbain, 5 boulevard Descartes, Champs-sur-Marne, 77454 Marne-la-Vallée Cedex2 ; petros.chatzimpiros@univ-mlv.fr

***European Commission, Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability, Rural, Water and Ecosystem Resources, Via Fermi, TP 460 21027 Ispra (VA), Italie ; vincent.thieu@jrc.ec.europa.eu

Résumé

Les agronomes qui abordent les enjeux de compatibilité entre production, alimentation et préservation des ressources naturelles doivent modifier leur paradigme d'approche, et soutenir les recherches et solutions conçues et mises en œuvre en privilégiant les territoires, comme objet de travail. Ces territoires sont vus comme des espaces à enjeux et gérés. L'article applique le concept de bassin de consommation à l'agglomération parisienne en mobilisant deux outils de l'agronome : le diagnostic, pour évaluer les dynamiques passées des systèmes agraires et le pronostic, pour proposer des devenir possibles sous forme de scénarios.

La première partie présente un diagnostic centré sur le concept d'empreinte alimentaire appliqué au cas de l'alimentation carnée de l'agglomération parisienne. La seconde partie illustre une construction et évaluation de scénarios où la production du bassin de la Seine est mobilisée pour alimenter sa population en modifiant les régimes alimentaires et les systèmes de production. En se basant sur deux exemples de travaux appliqués à

un territoire commun, celui du bassin de la Seine, l'objectif est d'une part de parvenir à une représentation des dynamiques territoriales qui se sont établies et notamment l'augmentation de l'empreinte alimentaire des parisiens, et

d'autre part de pouvoir mettre en perspective les évolutions possibles et les enjeux associés à l'échelle de ce bassin de consommation majeur.

Mots-clés

Empreinte alimentaire, scénarios, flux biogéochimiques, agronomie des territoires, bassin de la Seine.

Abstract

To evaluate the compatibility between production, feeding and natural resources preservation, agronomists have to sustain research and design processes at large land scale. These territories, analyzed as land managed by local communities, are diverse: food shed, watershed, biodiversity reserves. Based on the case of Paris metropolis, we use two tools of the agronomist to assess such compatibility: the diagnosis to evaluate the past dynamics of agrarian systems, and the prognosis to build diverse scenarios.

The first part deals with a diagnosis of the food print of Paris city in the case of meat consumption. The second one proposes a scenario to feed Paris population through a modification of both its food regimes and of the production systems in the Seine basin. The effects of new cropping systems on nitrogen contamination of ground and surface water in the Seine watershed are assessed. Two scenarios are compared: a 'business as usual' (FA) one and a 'radical' one based on widespread adoption of organic agriculture (ABG) practices.

The aim of this article based on two doctoral research theses is twofold : to show how agronomy is mobilized to display past agrarian dynamics on one hand, and to build scenarios used to assess the territorial food print of a large metropolis on the other hand. Through this analysis, we propose to develop an in-depth reflection on what amount of land is needed to support a large population depending on its food regime. Based on the case of the Seine basin food needs, meat consumption and water quality (contamination by nitrates), the authors propose a workable concept in agronomy: the city feeding print.

Keywords

City hinterland, food print, scenarios, food system planning, landscape agronomy, Seine basin.

Introduction

Les réglementations internationales impactent et orientent les dynamiques des systèmes agraires, créant ainsi des flux de productions agricoles qui tendent à se mondialiser. Depuis la création du marché commun, et d'une Politique Agricole Commune (PAC) dont une nouvelle réforme est attendue pour 2013, l'Europe a considérablement modifié la nature de ses échanges avec le reste du monde. Exprimés en flux d'azote, ces échanges traduisent une dépendance « azotée » croissante de l'Europe depuis plus d'un demi-siècle. En effet, même si l'Europe a

été, durant une courte période (1985 à 2005) un exportateur net de céréales, les importations massives de fourrages (aliments du bétail sous forme notamment de protéagineux dont principalement du soja) constituent un poids largement

supérieur dans la balance des échanges agricoles internationaux, induisant une dépendance toujours croissante en aliments du bétail. Les fonctionnements des systèmes agraires européens accroissent leurs dépendances en azote importé.

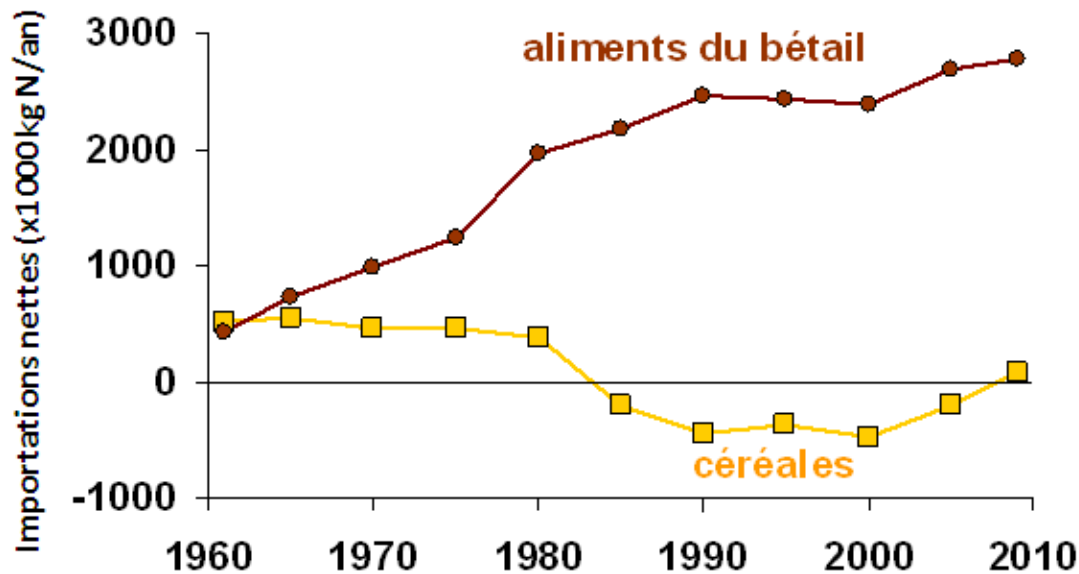


Figure 1. Evolution de la balance azotée de l'Europe en milliers de tonnes N/an (source : Billen et al., 2011 ; source FAOstat).

D'autre part, au sein du territoire européen, les dynamiques territoriales qui interrogent l'agronome sont principalement de deux types :

- Les territoires agricoles sont porteurs d'enjeux de production, créant des interactions entre zones de production et de consommation, tant pour des raisons de recherche d'autonomie alimentaire à l'échelle des pays, que pour des logiques de fonctionnement de bassins de production.

- Les territoires agricoles sont aussi porteurs d'enjeux environnementaux, et ce de façon de plus en plus généralisée. Ces enjeux peuvent être locaux dans le cas de zones de protection de l'environnement (bassins d'alimentation en eau, réserves de biodiversité), ou globaux (adaptation au changement climatique). Ce lien avéré entre l'organisation spatiale de l'occupation du sol dans les paysages agricoles et des enjeux environnementaux locaux a été récemment traité par les agronomes à propos de la gestion quantitative des eaux (Leenhardt et al., 2004), du maintien de la biodiversité (Joannon et al., 2008 ; Moonen et Bàrberi, 2008), de la réduction du ruissellement érosif (Joannon et al., 2006), ou du maintien de la qualité des eaux (Benoît et Papy, 1998 ; Mignolet et al., 2007).

Il n'en reste pas moins qu'au-delà de déterminants internationaux ou régionaux (contexte pédoclimatique, économique, politiques agroenvironnementales, etc.) l'organisation spatiale des territoires agricoles résulte en grande partie des décisions des agriculteurs au sein de leurs exploitations agricoles (Benoît, 1990 ; Le Ber et Benoît, 1998 ; Joannon et al., 2008 ; Thenail et al., 2009, Schaller et al., 2012). L'intégration de ces décisions crée des réorganisations territoriales dont nous pouvons saisir les régularités spatiales sur de grands territoires (Mignolet et al., 2004, Mignolet et al., 2007, Lazrak et al., 2011).

Ainsi, nous proposons de relier, les territoires, les activités de production agricoles et les pressions sur les ressources naturelles. Nous développerons successivement deux points de vue d'agronomes travaillant sur de grands territoires : (i) les choix nutritionnels induisent une empreinte alimentaire sur certains territoires, dont l'évolution au cours du temps traduit celle de ces choix, (ii) cette répartition des productions agricoles à finalité alimentaire induit des pressions environnementales, étudiées ici sous forme des flux azotés. Cette réflexion permet de mettre en valeur deux thèses récentes : l'une évalue l'empreinte environnemen-

tale de la consommation de viande et de lait de Paris (Chatzimpiros, 2011), la seconde construit des scénarios de systèmes agraires en évaluant leurs impacts sur les flux azotés dans le bassin de la Seine (Thieu, 2009). Les deux points de vue sur les territoires agricoles développés dans ces thèses se relient par la répartition spatiale des systèmes de culture : il s'agit de comprendre son évolution due aux choix alimentaires et d'en évaluer les conséquences environnementales directes ou putatives en construisant des scénarios de cette répartition.

L'empreinte des choix alimentaires de Paris, le cas des viandes

La problématique majeure développée par Chatzimpiros (2011) porte sur les relations villes – territoires d'approvisionnement, thème que nous pouvons insérer dans les travaux d'agronomie des territoires. Nous étudions ici, le cas de l'approvisionnement en viande de Paris en caractérisant les territoires mobilisés, sur une portée historique de deux siècles. La longue durée nous semble un enjeu majeur pour les agronomes car elle permet d'extraire des motifs bien caractérisables des dynamiques des systèmes agraires (Billen *et al.*, 2009a).

Le concept d'empreinte alimentaire

L'empreinte alimentaire est un concept récent permettant d'évaluer les territoires impactés par des choix alimentaires et l'ampleur de cet impact. Son intérêt est de territorialiser les choix alimentaires en localisant les systèmes de culture mobilisés pour produire un aliment. Nous étudierons ici l'Empreinte Spatiale de la Consommation d'un Aliment (ESCA).

Ainsi, l'empreinte spatiale de la consommation de viande est la somme des surfaces mobilisées pour alimenter les animaux. Chaque aliment est une composante de cette empreinte, dont l'étendue et la localisation sont fonction des niveaux de production par hectare et des lieux de production des fourrages et concentrés. Cette empreinte spatiale est donc la somme des surfaces des systèmes de culture mobilisés pour produire la viande consommée. Lorsque les aliments ne sont pas produits au sein du territoire des exploitations

d'élevage, nous prenons en compte les surfaces des aliments importés dans chaque exploitation. Ainsi, l'empreinte d'un aliment permet d'accéder au territoire mobilisé pour le produire, où qu'il soit situé sur la planète Terre. De cette manière, nous construisons un indicateur des surfaces mobilisées par divers systèmes agraires pour une demande alimentaire donnée, dans notre exemple celle de viandes bovine, ovine et porcine par l'agglomération parisienne (Chatzimpiros, 2011).

Dans toute production animale, nous pouvons distinguer deux composantes dans l'empreinte spatiale : le territoire de l'exploitation et les territoires qui comblent ses déficits fourragers en palliant ainsi à son manque d'autonomie fourragère. L'analyse de ces deux composantes, interne et d'importation dans l'exploitation d'élevage, nous donne pour les productions de viande l'évolution des surfaces mobilisées pour l'approvisionnement des consommateurs. Comme le souligne Chatzimpiros (2011), nous disposons d'un indicateur agronomique qui évalue la dépendance des systèmes d'élevage, en intégrant deux dimensions des techniques agricoles, une dimension socio-politique et une dimension biogéochimique : sociopolitique d'une part car connaître la géographie de l'alimentation des animaux destinés à l'approvisionnement urbain revient à mettre en évidence l'appropriation des ressources naturelles, proches ou lointaines, par les citoyens et à réfléchir les politiques d'approvisionnement dans un cadre de solidarité intra-générationnelle ; biogéochimique d'autre part car l'importation des fourrages, qu'il s'agisse de flux intra-régionaux, interrégionaux ou internationaux, est synonyme d'importation de nutriments, entre autres l'azote qui, en tant qu'élément biogène, influence le potentiel de production primaire des environnements anthropiques et naturels aux lieux de destination.

Les consommations de viande de Paris

Les consommations totales annuelles par habitant sont quasi constantes depuis le début du XIX^{ème} siècle, mais les types de viande changent en passant d'une domination de viande bovine à une prééminence de la viande porcine (Figure 2). La diminution de la viande bovine est marquée à partir de 1970, et continue à s'accroître (Chatzimpiros, 2011). La compensation via l'augmentation de

consommation de viande porcine modifie considérablement les systèmes de production et les

territoires mobilisés pour élaborer ces viandes consommées par l'agglomération parisienne.

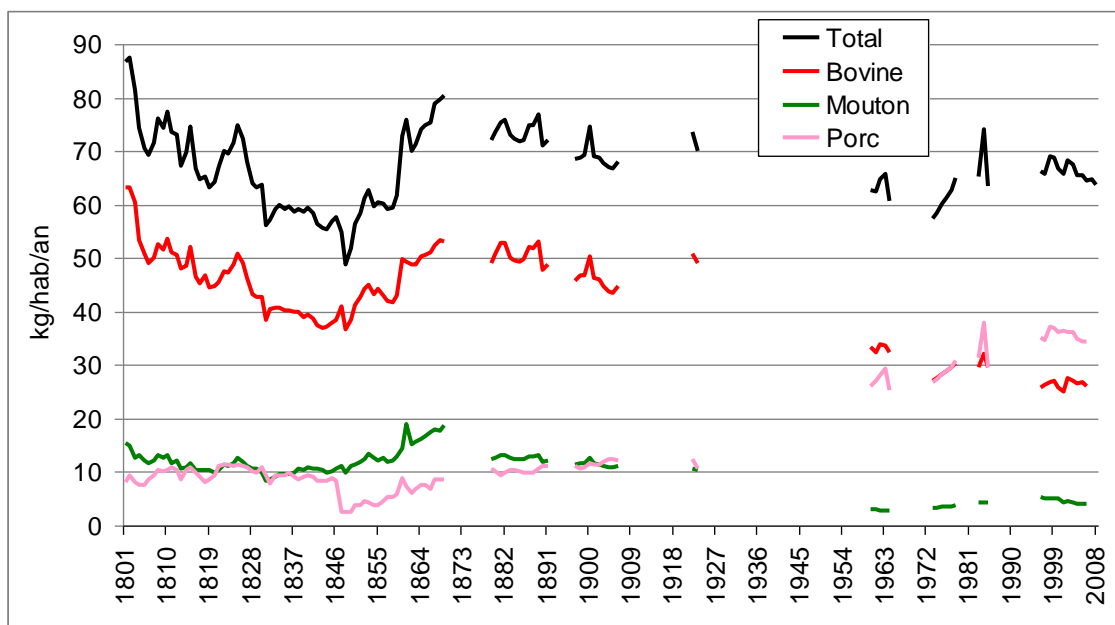


Figure 2. Évolution de la consommation de viande (bovine, ovine et porcine) de l'agglomération parisienne en kg par habitant et par an, de 1801 à 2008.

Seule l'augmentation de la population modifie considérablement les importations de viande de

l'agglomération parisienne, comme indiqué sur la figure 3.

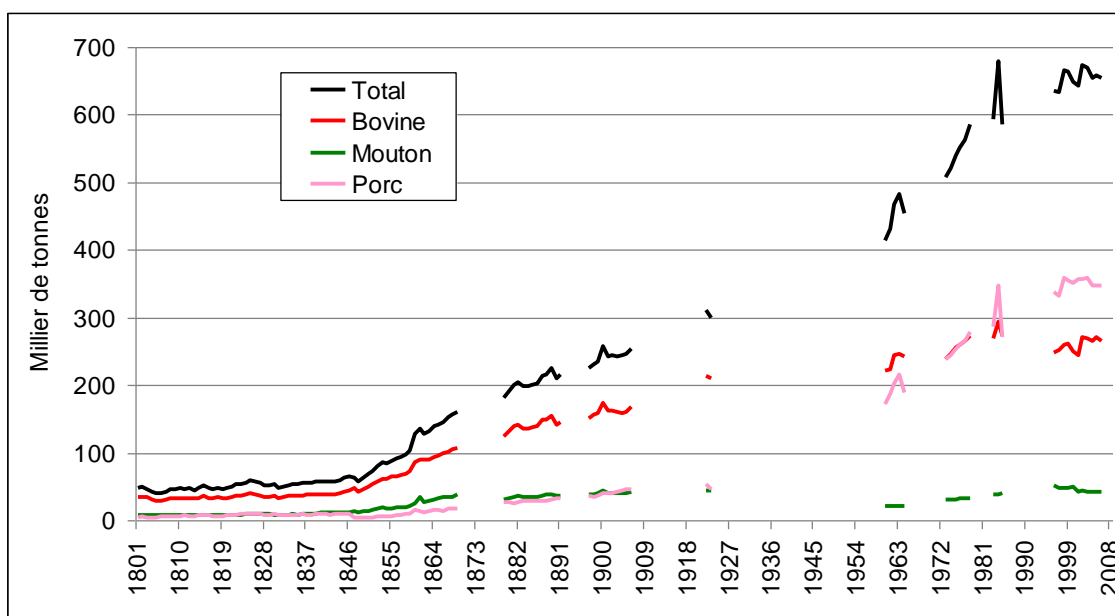


Figure 3. Importations totales de viande bovine, ovine et porcine de l'agglomération parisienne entre 1801 et 2008, en milliers de tonnes (Chatzimpiros, 2011).

Les dynamiques spatiales des ESCA liées aux consommations de viande à Paris

Les cartes des figures 4 et 5 montrent deux périodes contrastées : le début du XIX^{ème} siècle avec

une empreinte localisée essentiellement aux auroles nord, sud et ouest de Paris, puis au cours du XX^{ème} siècle, un basculement vers des territoires beaucoup plus vastes : grand ouest français, Europe et Amérique du sud (Chatzimpiros, 2011).

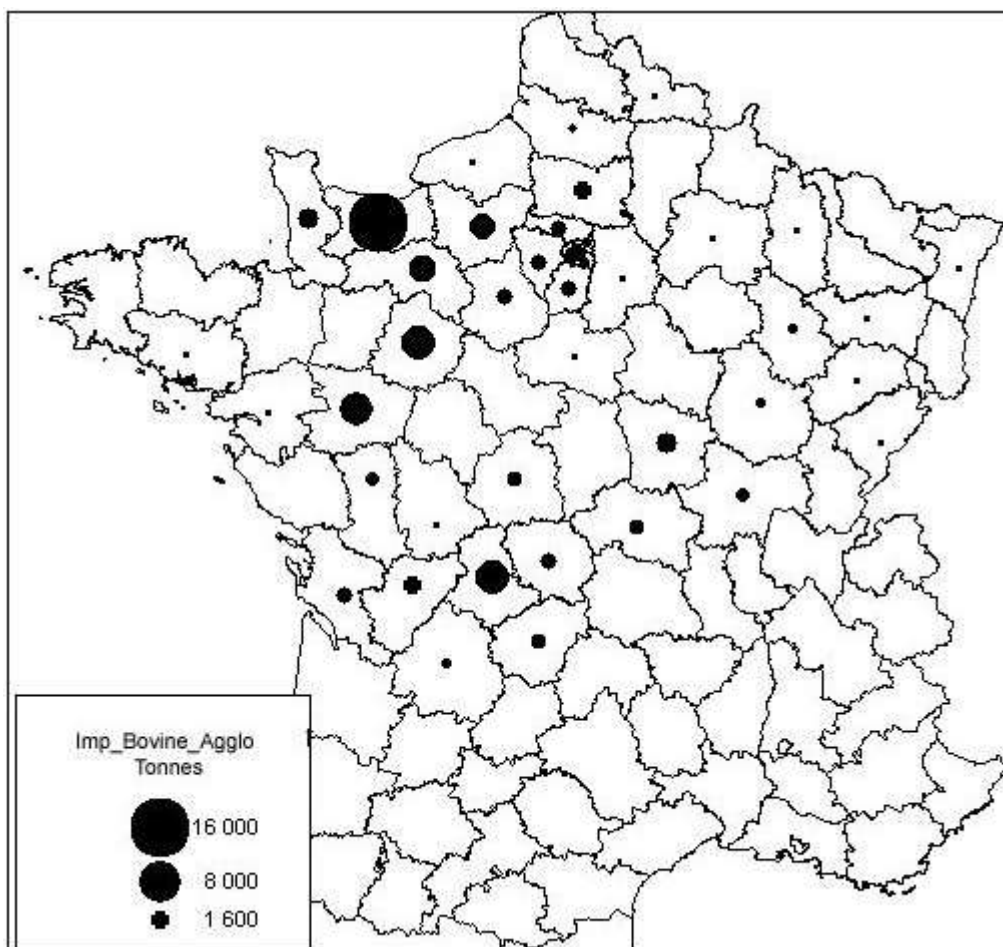


Figure 4. Importations pour l’approvisionnement de Paris en viande bovine par lieu de provenance en 1812, en tonnes de carcasse par département (Chatzimpiros, 2011).

La dimension territoriale de ce changement dans l’alimentation carnée est structurante du fonctionnement du bassin d’alimentation. En effet, les bovins mobilisaient, et continuent de mobiliser des territoires proches de Paris. Les tendances récentes ouvrent ce territoire d’approvisionnement aux territoires agricoles d’Amérique pour l’approvisionnement en soja alimentant des troupeaux laitiers qui produisent l’essentiel des consommations de viande bovine. La viande porcine

est maintenant très dépendante de la production de soja d’Amérique, contrairement aux productions de porcins au XIX^{ème} siècle et début du XX^{ème} siècle forts consommateurs de sous-produits de l’élevage laitier, le « petit lait », de déchets de l’alimentation humaine, ou encore de légumineuses fourragères fixatrices d’azote via une conduite d’élevage autonome au sein de nombreuses petites exploitations.

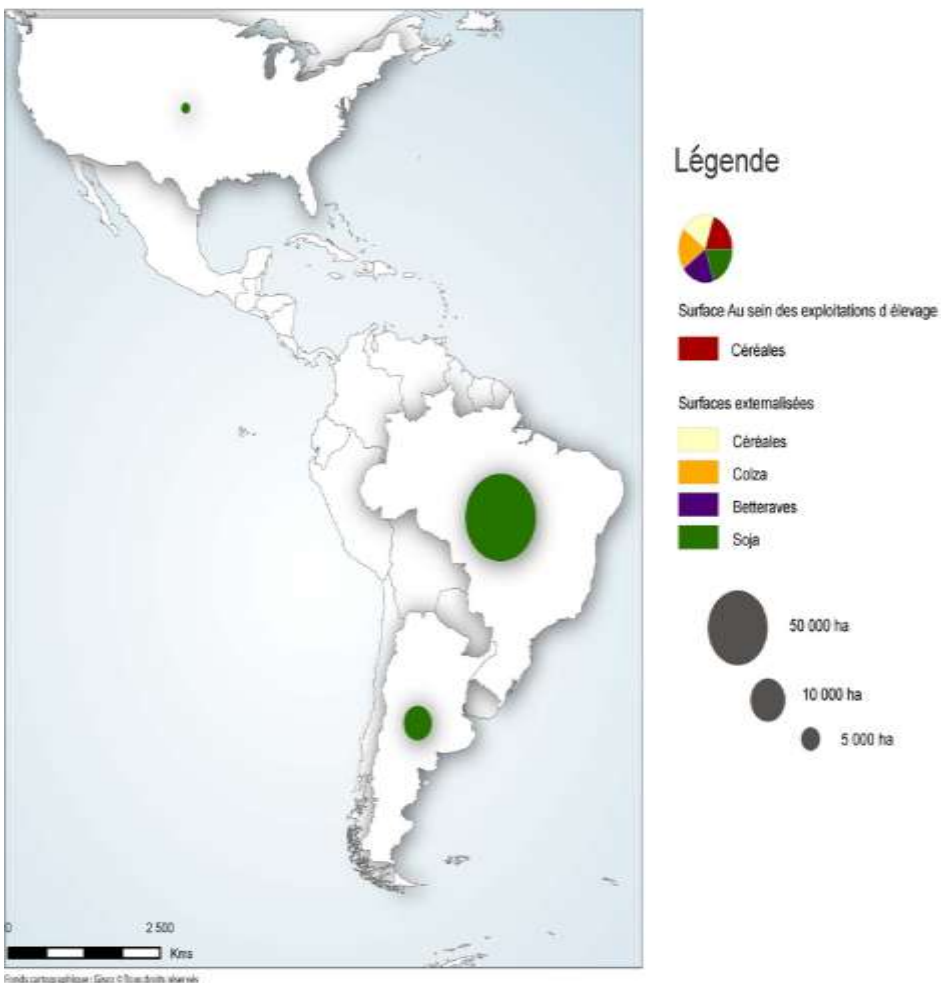
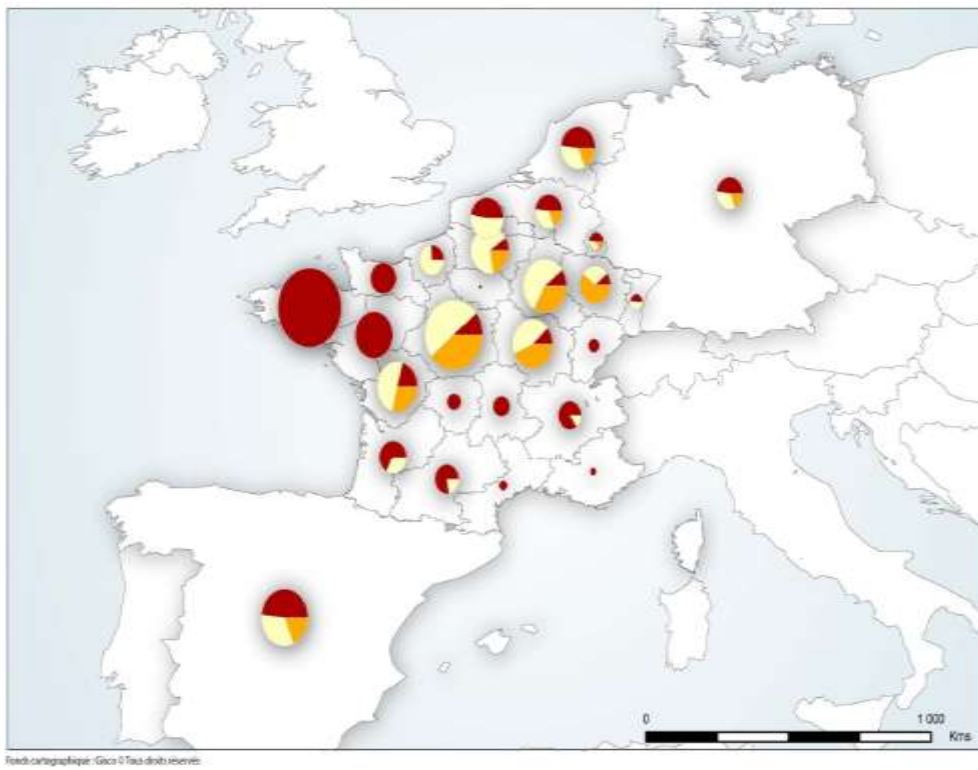


Figure 5. Empreinte spatiale (en ha) de l’approvisionnement parisien en viande au début XXI^{ème} siècle, par type et origine géographique du fourrage utilisé (Chatzimpiros, 2011)¹.

¹ En mobilisant les informations des statistiques (consommation, et RGA), des services des douanes (importations) et de la DGAL (panels de consommation), nous pouvons tracer l’origine des viandes consommées et les provenances des aliments utilisés.

Une extension considérable de l'ESCA dans le cas des viandes consommées par l'agglomération parisienne

Trois facteurs expliquent ces changements majeurs dans l'ESCA dans le cas des viandes consommées par l'agglomération parisienne : (i) l'augmentation de la consommation de l'agglomération due à l'augmentation de sa population, (ii) un basculement de consommation de viandes bovines engraisées à l'herbe au bénéfice de viandes porcines essentiellement nourries en grains (céréales, soja et colza), (iii) une globalisation des approvisionnements en aliments pour animaux avec une part grandissante du commerce transatlantique mondialisant l'empreinte de Paris pour la consommation de ces viandes.

Via la relocalisation progressive des systèmes de culture, les empreintes alimentaires induisent, une nouvelle géographie des pressions exercées sur plusieurs ressources naturelles à la fois et qui sont à l'origine d'impacts environnementaux dont l'ampleur par ressource est fonction de la structure des systèmes d'élevage. Par exemple, deux tiers du triplement de la production bovine du grand ouest français au cours du XIX^{ème} siècle s'est accompli par le doublement des terres occupées par l'élevage, tandis que le quadruplement de la production au cours du XX^{ème} siècle n'a pratiquement pas mobilisé de nouvelles terres mais a été accompagné d'une forte intensification des prélèvements d'eau et l'ouverture du cycle biogéochimique de l'azote (Chatzimpiros et Barles, 2010). Actuellement, les pertes d'azote au sein des systèmes d'élevage approvisionnant Paris en viande bovine et de porc s'élèvent à cinq fois la quantité d'azote importé en ville sous forme des viandes et sont spatialement éclatées entre les exploitations d'élevage et les territoires qui en comblent les déficits fourragers, à raison de 75 % et 25 % pour la production de viande bovine et 35 % et 65 % pour la production de viande porcine (Chatzimpiros et Barles, 2012). Ces résultats soulignent à la fois l'ampleur des rejets indirects d'azote d'un habitant de Paris et les écarts en termes de géographie des rejets entre les deux types d'élevage.

Dans la partie suivante nous étudions l'état actuel et l'évolution possible de ces flux d'azote dans le territoire du bassin de la Seine au moyen de deux scénarios. Ces pressions impactent les ressources

en eau, aliment stratégique. Ainsi, les stratégies alimentaires, les empreintes alimentaires et les impacts sur les ressources en eau sont liés.

Scénarios possibles du système agricole du bassin parisien sous la pression de deux choix alimentaires contrastés

Le choix de récits de scénarios

L'exercice de prospective induit de choisir un récit (Sebillotte et al., 2003). Pour construire une vision agronomique d'un scénario, nous proposons d'en définir trois étapes :

- a - Son récit, soit les enchaînements de faits techniques qu'il organise,
- b - L'impact potentiel, soit l'évaluation des effets du scénario,
- c - Les conditions qui déterminent son existence.

Nous construisons deux scénarios contrastés du bassin de la Seine, l'un proche du fonctionnement actuel, l'autre reposant sur une hypothèse de rupture forte : la généralisation de l'agriculture biologique. L'ambition est d'évaluer l'impact de ces scénarios contrastés sur la pression azotée dans un grand territoire, prolongeant ainsi des travaux déjà réalisés aux échelles parcellaires (Drinkwater et al., 1998 ; Koersaeth et al., 2000).

Le scénario Fonctionnement Actuel (FA)

a - L'empreinte alimentaire de la consommation parisienne de viande dépasse le bassin parisien. Pour le bassin parisien, les cycles biogéochimiques sont très ouverts avec une introduction massive d'azote d'origine industriel, des pertes importantes vers les ressources en eau, et des exportations végétales importantes. L'enjeu est double, l'augmentation de la biomasse, en grande partie exportée, d'une part, et, pour l'élevage, la maximisation de l'énergie produite d'autre part, les compléments azotés sous forme de tourteaux d'oléo-protéagineux étant massivement importés. Chaque habitant consomme environ 70 kg de viande par an, et une importante proportion des productions végétales est exportée. Cette exportation est la part non consommée par les habitants de ce bassin.

b - Ce scénario est évalué sur les pertes d'azote qu'il engendre vers les ressources en eau, sur la production agricole, et sur les exportations possibles.

c - Ce scénario est très lié à la possibilité de disposer de fortes quantités d'engrais minéraux, donc d'énergie, et sur le recours aux importations en oléo-protéagineux essentiellement sud-américains.

Le scénario Agriculture Biologique Généralisée (ABG)

a - Les cycles biogéochimiques sont moins ouverts, la fixation symbiotique de l'azote est au cœur du « moteur de production », les aliments consommés proviennent uniquement du bassin versant (à l'exception de la viande et des produits laitiers), les pertes azotées sont réduites, ainsi que les exportations. En accord avec les critères d'agriculture biologique, les apports d'engrais azotés sont nuls, et les engrais organiques issus de l'élevage sont valorisés. Ainsi, les activités d'élevage se développent légèrement, par rapport au scénario FA. L'alimentation du cheptel dans un contexte de large excédent de la production céréalière, permet d'inclure une hypothèse supplémentaire d'autonomie de l'alimentation animale en supprimant les importations d'oléo-protéagineux.

b - Ce scénario est évalué sur la production et les surplus agricoles, ainsi que sur la contamination nitrique des milieux aquatiques depuis les rivières jusqu'aux zones côtières.

c - Ce scénario est très lié à la capacité à consommer en priorité les aliments produits. Bien que très théorique, cet exercice prospectif montre l'intérêt de reconsidérer l'importance de la viande dans les régimes alimentaires et une des conditions de faisabilité est l'évolution des régimes alimentaires des habitants en réduisant de 50 % leur consommation de viande. Un autre facteur non négligeable est l'équilibre économique des échanges agricoles, avec une diminution significative des exportations céréalières de 65% pour ce scénario.

Pourquoi élaborer un scénario de rupture?

Un tel scénario s'appuie sur les avancées scientifiques les plus récentes, qui ont démontré que seule une modification profonde des systèmes de production agricole permettrait d'atteindre les objectifs de qualité des eaux de surface portés par la Directive cadre européenne, tant pour la con-

tamination en nitrate des eaux souterraines (Ledoux et al. 2007), de surface (Thieu, 2009), que pour les eaux côtières, en particulier les blooms d'algues vertes (Lancelot et al., 2011). De plus, en construisant un tel scénario basé sur la généralisation de l'agriculture biologique à l'échelle d'un des principaux bassins européens de population humaine, nous voulons tester sa capacité à concilier :

- La demande en aliments et les besoins de la population du bassin de la Seine,
- Un bon fonctionnement écologique des écosystèmes aquatiques,
- Une émission faible et équilibrée de flux de nutriments vers les zones côtières.

Quels sont les effets du scénario Agriculture Biologique Généralisée ?

Le premier effet du scénario ABG est qu'il permet un meilleur équilibre entre la production et les besoins de la consommation. Le territoire de ce bassin qui contient une des aires urbaines les plus peuplées de la planète (915 habitants au kilomètre carré en Île-de-France en 1999), peut largement produire via l'agriculture biologique les protéines nécessaires aux consommations humaines et animales, laissant même un surplus exportable de plus de 1600-1800 kg N/km²/an. Cette capacité exportatrice dépasse le tiers des quantités exportées dans le scénario FA.

La diminution de moitié de la consommation de viande par habitant est nécessaire pour éviter une dépendance trop marquée par rapport aux importations de viande et de lait. En effet, en maintenant le niveau de consommation actuel de 70 kg de viande par habitant et par an, le scénario ABG couvre 52 % des besoins en viande et lait du bassin de la Seine, contre seulement 37% dans le cas du scénario FA dont la capacité exportatrice est donc toute relative ! Afin de réduire les importations de viande et de produits laitiers à long terme, le scénario ABG est efficace s'il est adjoint d'un régime alimentaire diminuant de moitié les apports en protéines animales.

Les résultats du scénario ABG concernant les fonctionnements écologiques sont clairs : à long terme, les pertes en nitrates diminuent considérablement, et ceci plus que dans tous les scénarios de mitigations testés (Cultures Intermédiaires Pièges À Nitrates - CIPAN, Mesures Agro-Environnementales Territorialisées de réduction de fertilisation azotée - MAET; Thieu et al., 2010). Il

permet d'abaisser la concentration en nitrates par litre d'eau de la plupart des rivières du bassin de la Seine (75000 km²) sous le niveau de 10 mg/l qui est souvent considéré comme une limite au bon état écologique des eaux de surface (Camargo et Alonso, 2006).

Discussion de ces scénarios

Ces scénarios sont évalués seulement sur le territoire du bassin de la Seine devenu l'ESCA de l'agglomération parisienne dans le scénario ABG. Ainsi, les impacts environnementaux, par exemple sur les ressources en eau, n'ont pas été pris en compte dans le scénario FA quand ils concernaient les territoires situés hors du bassin de la Seine mobilisés pour alimenter Paris. Or, comme nous l'avons illustré dans la première partie de cet article (figure 5), plus de la moitié des surfaces mobilisées pour élaborer les viandes consommées dans l'agglomération parisienne sont hors du bassin de la Seine, dont un tiers en Amérique latine. Ainsi, nous sommes loin d'un bassin parisien qui nourrit ses habitants, du moins en viandes.

Cette modification profonde de l'agriculture moderne par généralisation de l'agriculture biologique n'est pas atteignable à court terme, car l'agriculture biologique ne concernait, en 2006, que 3,9 % des surfaces en Europe (de 2% en France à plus de 11 % en Autriche ; Bonny, 2006). Cependant, en mobilisant les exigences du Grenelle de l'environnement qui vise 20 % de la surface agricole française en agriculture biologique en 2020, et la capacité innovante des agriculteurs du bassin parisien, une augmentation conséquente des surfaces en agriculture biologique n'est qu'une question de volonté collective qui impacte aussi fortement les exportations agricoles du bassin. Ceci d'autant plus que les consommateurs ont fait évoluer leurs pratiques induisant une augmentation annuelle de leurs achats en produits agricoles biologiques de 10 à 15 % (Bonny, 2006). L'autosuffisance alimentaire de l'agglomération parisienne est en jeu via une augmentation nécessaire et ample des cultures biologiques au sein du bassin parisien, et le scénario ABG présenté ci-dessus permet d'instruire pour le bassin de la Seine la question « l'agriculture biologique peut-elle nourrir le monde ? » posée par Badgley et Perfecto en 2007.

Conclusion

En étudiant le cas de l'approvisionnement en viande et en lait de Paris sur une portée historique de deux siècles, ce cas vise à enrichir le regard sur les relations villes - territoires d'approvisionnement : comment expliquer la dégradation de l'empreinte de l'approvisionnement alimentaire d'une ville ? En tant qu'agronome, nous voyons se construire un enjeu de taille qui incite à un effort de recherche : l'urbanisation marquée de la planète et les impacts croissants des consommations urbaines sur l'évolution des systèmes agraires. Le choix de la ville de Paris, historiquement anticipatrice dans ces tendances et disposant d'un corpus d'informations dense, est particulièrement pertinent pour lier consommations urbaines et productions agricoles via l'information d'un indicateur de synthèse de ces relations tel que l'ESCA.

De façon complémentaire, l'analyse de la pression azotée subie par le bassin de la Seine instruit une dimension de cette empreinte alimentaire. Cette pression azotée actuelle des systèmes agraires du bassin peut être comparée à un scénario innovant : un bassin de la Seine produisant pour ses habitants, consommateurs de produits biologiques et diminuant de moitié leur consommation de viande. Ainsi, la pression azotée de ce scénario permet d'obtenir une concentration en nitrate inférieure à 10 mg/l dans quasiment tous les cours d'eau du bassin de la Seine (Thieu *et al.*, 2011).

Un résultat méthodologique majeur des deux thèses mobilisées dans cet exercice est de fournir un regard critique sur la traduction d'un corpus d'informations statistiques très hétérogènes en deux indicateurs synthétiques : l'empreinte alimentaire d'une ville sur ses systèmes agraires d'approvisionnement, et la pression azotée sur les hydro-systèmes de ces systèmes agraires. En liant ces deux apports, les agronomes disposent de concepts intégrateurs pour évaluer les relations villes-territoires d'approvisionnement, et les systèmes agraires ainsi induits par les pratiques alimentaires urbaines à leurs impacts sur les hydro-systèmes.

La construction et l'évaluation de scénarios complète la lecture rétrospective d'évolution d'un territoire, en fournissant des ordres de grandeur susceptibles d'aider les acteurs à mieux maîtriser les conséquences de leurs actes (Ledoux *et al.*, 2007).

Ainsi, le scénario ABG permet de proposer une image de l'avenir du bassin de la Seine où la compatibilité entre production alimentaire et protection des ressources en eau est possible (Thieu et al., 2011).

Bibliographie

- Badgley, C., et Perfecto, I. 2007. Can organic agriculture feed the world? *Renewable Agriculture and Food Systems* 22, 80-86.
- Benoît M., et Papy F. 1998. La place de l'agronomie dans la problématique environnementale. In : Vilotte O. Barrès D., Dossier de l'Environnement de l'INRA n° 17 "Sciences de la société et environnement à l'INRA, matériaux pour un débat" : 53-62.
- Benoît M. 1990. La gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain. *Mappemonde*, 90/4 : 15-17.
- Billen G., Barles S., Garnier J., Rouillard J., Benoît P. 2009a. The food-print of Paris: Long term reconstruction of the nitrogen flows imported into the city from its rural hinterland, *Regional Environmental Change*, 9 (1) : 13-24.
- Billen, G., Thieu, V., Garnier, J., and Silvestre, M. 2009 b. Modelling the N cascade in regional watersheds: The case study of the Seine, Somme and Scheldt rivers. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133, 234-246.
- Billen, G., Garnier, J., Thieu, V., Passy, P., Rioussset, P., Silvestre, M., They, S., Vilain, G., Billy, C. 2011. La Cascade de l'azote dans le bassin de la Seine. Fascicule 15 de la collection du programme PIREN-SEINE, (eds) Agence de l'eau Seine Normandie.
- Bonny, S. 2006. L'agriculture biologique en Europe : situation et perspectives. Notre Europe (www.notre-europe.eu/fileadmin/IMG/pdf/Bonny_Agribio.pdf).
- Camargo, J., et Alonso, Á. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International* 32, 831-849.
- Chatzimpiros, P. et 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(20), 4644-4653.
- Chatzimpiros, P. 2011. *Les empreintes environnementales de l'approvisionnement alimentaire : Paris, ses viandes et lait, XIXe- XXIe siècles*. Université de Paris-Est. 364 pages.
- Chatzimpiros, P. et Barles, S. 2012. Nitrogen food-print: N use and N cascade from livestock systems in relation to beef, pig and milk supply to Paris, *Biogeoscience discussion*, doi:10.5194/bgd-9-1971-2012.
- Drinkwater, L. E., Wagoner, P., et Sarrantonio, M. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature* 396, 262-265.
- Joannon A, Souchère V, Martin P, et Papy F. 2006. Reducing runoff by managing crop location at the catchment level, considering agronomic constraints at farm level. *Land Deg Develop* 17(5) : 467-478.
- Joannon A, Bro E, Thenail C, et Baudry J. 2008. Crop patterns and habitat preferences of the grey partridge farmland bird. *Agron Sustain Dev* 28 : 379-387.
- Korsaeth, A., and Eltun, R. 2000. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79, 199-214.
- Lancelot C, Thieu V, Polard A, Garnier J, Billen G, Hecq W, Gypens N. 2011. [Cost assessment and ecological effectiveness of nutrient reduction options for mitigating Phaeocystis colony blooms in the Southern North Sea: An integrated modeling approach](#), *Science of the Total Environment*, 409(11) : 2179-2191.
- Lazrak EG, Mari JF, et Benoît M. 2011. Landscape regularity modelling for environmental challenges in agriculture. *Landscape Ecol* 25 : 169-183.
- Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J. M., Viavattene, C., Viennot, P., Ducharme, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C., et Mary, B. 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of the Total Environment* 375, 33-47.
- Le Ber F, et Benoît M. 1998. Modelling the spatial organization of land use in a farming territory. Example of a village in the Plateau Lorrain. *Agronomie* 18(2) : 103-115.
- Leenhardt D., Trouvat J.L., Gonzales G., Perarnaud V., Prats S., et Bergez J.E. 2004. Estimating irrigation demand for water management on a regional scale: I. ADEAUMIS, a simulation platform based on bio-decisional modelling and spatial information, *Agric. Water Manage.* 68(3), 207-232.
- Mignolet C., Schott C., et Benoît M. 2004. Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory : a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin, *Agron.* 24(4), 219-236.
- Mignolet, C., Schott, C., et Benoît, M. 2007. Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin : Methods for agronomic approaches on a regional scale. *Science of the Total Environment* 375, 13-32.
- Moonen A.C., et Bàrberi P. (2008) Functional biodiversity : An agroecosystem approach. *Agriculture. Ecosyst. Environ.* 127,7-21.
- Schaller N. Lazrak G., Martin P., Mari J.-F., Aubry C., et Benoît M. 2012. Combining farmers' decision rules and landscape stochastic regularities for landscape modelling. *Landscape Ecology*. (sous presse).
- Sebillotte, M. et al., 2003. *Prospective : Eau et Milieu aquatique*. INRA-Cemagref. 267 pages.
- Thenail C, Joannon A, Capitaine M, Souchère V, Mignolet C, Schermann N, Di Pietro F, Pons Y, Gauchere C, Viaud V, et Baudry J. 2009. The contribution of crop-rotation organiza-

tion in farms to crop-mosaic patterning at local landscape scales. *Agriculture Ecosyst Environ* 131:207-219.

Thieu V. 2009. Modélisation spatialisée des flux de nutriments (N, P, SI) des bassins de la Seine, de la Somme et de l'Escaut : impact sur l'eutrophisation de la Manche et de la Mer du Nord. Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie. 207 pages.

Thieu V., Billen G., Garnier J., et Benoît M. 2011. Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds. *Regional Environmental Change*, 11:359-370.

Thieu, V., Garnier, J., et 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.