

Projet Seine-Aval 5 **RESET**

« Rôle de l'Estuaire de Seine dans l'Ecologie
Territoriale de la Normandie : cycles des
nutriments et systèmes hydro-agro-alimentaires »

Annexes du rapport de recherche

Janvier 2018

Coordination : Josette Garnier



LISTE DES ANNEXES

- Sabine Bognon, Sabine Barles (2017). Le système alimentaire et sa trajectoire : méthodologie. Annexe 1. RESET, 13 pp.
- Sabine Bognon, Sabine Barles (2017). La trajectoire du système alimentaire normand, XXe-XXIe siècles. Annexe 2. RESET, 25 pp.
- Sabine Bognon, Sabine Barles (2017). Le fonctionnement actuel du système alimentaire normand : entre régime dominant et signaux faibles. Annexe 3. RESET, 36 pp.
- Josette Garnier, Gilles Billen (2017). L'évolution de l'agriculture Normande de 1960 à 2010. RA Seine Aval, Annexe 4. RESET, 8pp.
- Marie Silvestre (2017). Amstram, un logiciel de calcul de bilans d'approvisionnement. Application aux flux alimentaire en Normandie. Annexe 5. RESET, 25 pp.
- Gilles Billen, Josette Garnier, Julia Le Noë (2017). Evolution du métabolisme territorial des régions normandes et adjacentes. RA Seine Aval, Annexe 6. RESET, 16 pp.
- Josette Garnier, Gilles Billen, Antsiva Ramarson, Estela Romero, Vincent Thieu, Julia Le Noë, Sabine Barles, Sabine Bognon, Jérôme Castaing, Romain Legendre, Philippe Riou, Marie Silvestre, Sylvain Théry, Nicolas Bacq, Cédric Fisson (2017). Etablissement de scénarios contrastés du système socio-écologique normand et traduction en termes de fonctionnement biogéochimique de l'estuaire. RA Seine Aval, Annexe 7. RESET, 21pp.
- Sabine Bognon, Sabine Barles (2017). Les scénarios RESET au prisme du terrain normand. RA Seine Aval, Annexe 8. RESET, 21 pp.
- Gilles Billen, Antsiva Ramarson, Josette Garnier, Julia Le Noë (2017). La chaîne GRAFS-Seneque-Riverstrahler 3.7 pour la modélisation des transferts de nutriments du bassin versant à l'exutoire du réseau hydrographique, RA Seine Aval, Annexe 9. RESET, 16 pp.
- Estela Romero, Josette Garnier, Gilles Billen, Romain Le Gendre, Cédric Fisson, Marie Silvestre, Philippe Riou (2017). Évolution de la qualité de l'eau dans l'estuaire et la partie basse du bassin de la Seine. RA Seine Aval, Annexe 10. RESET, 16pp.
- Romain Le Gendre, Estela Romero, Philippe Riou, Jérôme Castaings, Antsiva Ramarson, Gilles Billen, et Josette Garnier (2017). Modélisation estuarienne et marine avec le modèle ECO-MARS 3D, exploration des Scénarios. RA Seine Aval, Annexe 11. RESET, 22 pp.

Le système alimentaire et sa trajectoire : méthodologie

Sabine Bognon, Sabine Barles

UMR 8504 Géographie-Cités, 13 rue du Four, 75006 Paris

1. Définition des concepts et notions mobilisés

Par **système alimentaire** nous entendons la mise en réseau des biens, des moyens et des acteurs qui assurent sa subsistance à une population. Nous partons des avancées produites par le traité d'économie agro-alimentaire de Louis Malassis (Malassis 1979; Malassis 1997a; Malassis 1997b; Malassis et Padilla 1986) pour analyser ce système. Cette grille de lecture distingue sommairement trois sphères principales autour desquelles s'articulent les activités économiques du système alimentaire : la production, la distribution, la consommation. Nous l'enrichissons en y spécifiant les aspects liés à la transformation (industries agro-alimentaires), au transport et à la logistique (ports et fret) et en détaillant le volet commercial (figure 1).

Cette simplification permet une première approche du terrain, certes sectorielle et quelque peu cloisonnée, mais qui ouvre la voie à la compréhension systémique du territoire normand. Il s'agit de comprendre les déterminants politiques, écologiques, économiques et sociaux qui fondent la géographie du système alimentaire régional. Ce travail présente aussi des enjeux opérationnels puisque la connaissance produite sur le territoire et les mécanismes qui ont conduit au système alimentaire contemporain peuvent donner aux acteurs locaux des clés de décisions pour parer aux défis à venir d'un territoire en mutation.

Cette analyse se fonde sur **deux cadres théoriques interdisciplinaires** récemment formalisés et donc toujours en discussion : celui de l'écologie territoriale et celui des trajectoires socio-écologiques.

Le territoire, entendu de manière globale et générique peut porter « l'idée d'une société visant à équilibrer ses besoins en fonction de ses ressources » (Buclet 2011), p. 199). Depuis le début des années 2000, le terme « écologie territoriale » apparaît propre à la communauté scientifique française et peut être défini comme une « écologie industrielle inscrite spatialement, qui prend en compte les acteurs des flux de matière, s'interroge sur les modalités de leur gestion et ne néglige pas les conséquences économiques et sociales de ces flux » (Barles, 2010, p. 71). L'intérêt de cette acception réside en la territorialisation pluriscalaire du métabolisme, incluant sa matérialisation à l'échelle urbaine (Ibid.). Ainsi, comprendre le métabolisme passe par l'étude quantitative de paramètres déterminant les flux, mais pour être complète, doit être assortie d'une analyse croisant d'autres sciences humaines et sociales (géographie, économie, science politique, etc.). La dimension territoriale de l'écologie permet l'examen d'une dimension sociale du métabolisme par l'étude des

acteurs et des institutions, mais aussi des techniques dont résulte une gouvernance qui administre les processus « naturels » à l'origine d'un métabolisme (Ibid.).

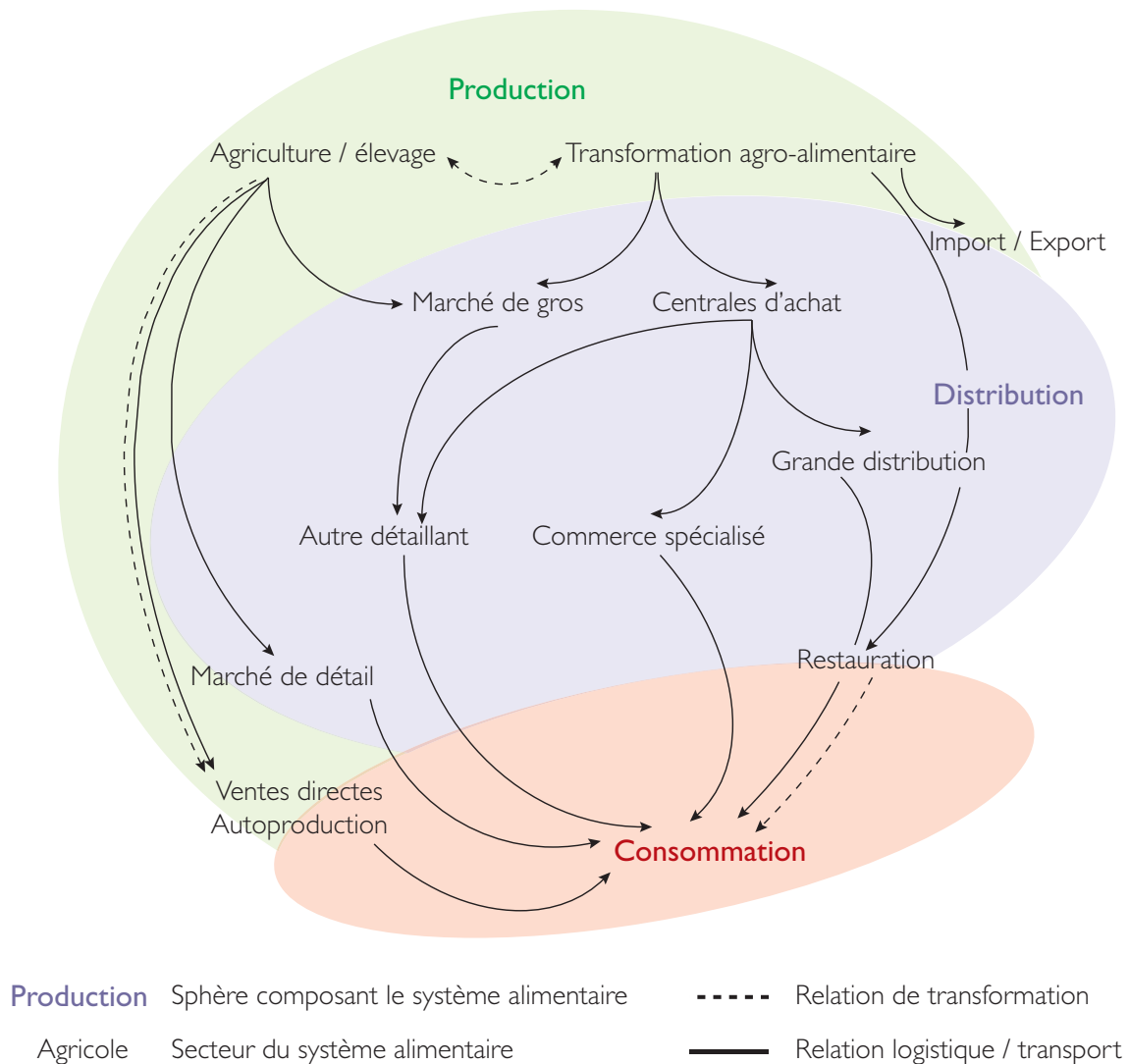


Figure 1. Fonctionnement systémique de la subsistance d'un territoire : le système alimentaire.

Réalisation : S. Bognon, 2015, d'après Malassis, 1979 ; Malassis, Padilla, 1986 ; Malassis, 1997a et 1997b.

De ce point de vue, les questionnements de l'écologie territoriale sont scientifiquement proches de ceux de l'écologie sociale développée par l'Institut éponyme de Vienne. Ils suggèrent aussi une approche interdisciplinaire des relations entre systèmes sociétaux et systèmes naturels (Fischer-Kowalski 2011). Les principaux axes de recherche de cet institut sont orientés par les mêmes sources scientifiques que l'écologie territoriale et s'attachent à mettre en regard les données liées à la biosphère avec des analyses historiques et économiques afin d'élaborer des hypothèses tendancielles d'évolution des sociétés (Ibid.). Le travail que nous menons participe à la compréhension des périodes stables et des périodes transitionnelles qui rythment l'histoire du système alimentaire normand. En cela, élaborons le récit de sa trajectoire socio-écologique.

2. Méthodes d'enquêtes sur le terrain

L'enquête de terrain a été menée entre novembre 2014 et juin 2015. Elle mobilise des sources d'information variées et met à contribution des partenaires académiques et institutionnels.

Un premier travail bibliographique a consisté en un dépouillement systématique de tous les numéros des revues scientifiques spécialisées dans l'analyse du territoire normand¹ et d'autres sources académiques traitant du système alimentaire régional (revues et ouvrages). Par ailleurs, les archives locales ont été exploitées² avec le même objectif.

Des entretiens ont été menés sur le terrain avec des acteurs clés du système alimentaire, notamment avec la collaboration d'étudiant-e-s en second cycle de l'Université Pierre et Marie Curie (Tableau 1). Les entretiens ont été conduits selon deux grilles. La première (figure 2) a été conçue pour déterminer de manière compréhensive et par évaluation des éléments de discours la perception de l'état du système alimentaire par nos interlocuteurs. En fonction de leur description, nous engageons le dialogue pour co-construire une analyse dynamique de l'état actuel du système alimentaire ; incluant donc leur analyse des facteurs qui y ont conduit et des potentiels changements en cours qu'ils soient perçus de manière tangibles ou souhaités. La seconde grille a été conçue par les étudiants de l'UPMC (figure 3) : n'étant pas familiers du recueil de données qualitatives, ils ont élaboré une grille analogue à la première sur le fond mais davantage guidée par une série d'interrogations et de thématiques à aborder.

Tableau 1. Entretiens réalisés sur le terrain

Date	N° ³	Institution	Interlocuteur	Type d'entretien ⁴	Enquêteur	Durée
29 janvier 2015	1	Institut régional de qualité agroalimentaire de Normandie	Directrice	Grille 1	Sabine Bognon (SB)	40 min.
30 janvier 2015	2	Service des marchés	Responsable approvisionnement	Grille 1	SB	45 min. Ø
4 mars 2015	3	MIN de Rouen	Surveillant général	Balade commentée Grille 1	SB	130 min.
6 mars 2015	4	AHNORIA	Déléguée générale	Grille 1	SB	40 min.
27 mai 2015	5	Coopérative légumière CRIMART	Directrice	Grille 2	Adrienne Jonnet*	71 min.
	6	Comité régional de tourisme en Normandie	Responsable du marché international – pôle promotion	Grille 2	Marie Terzi*	54 min.
	7	AHNORIA	Déléguée générale	Grille 2	Claire Gautier*	73 min.
	8	Chambre d'agriculture	Responsable du pôle territoire	Grille 2	Quentin Le Bihan	72 min.
	9	Région Haute Normandie, Gestion de	Chargée de l'organisation opérationnelle	Grille 2	Coralie Giraud*	45 min. Ø

¹ Principalement *les Annales de Normandie*, *Études Normandes* et la revue *Norois*.

² Archives départementales du Calvados à Caen et archives municipales du Havre.

³ Le numéro attribué aux entretiens est celui par lequel nous y faisons référence dans le texte.

⁴ Sauf mention contraire, tous les entretiens ont été menés de visu et de manière semi-directive.

		l'alimentation des lycées	Coordinateur technique de la restauration collective			
	10	Réseau AMAP Haute-Normandie	Présidente	Grille 2	Mélody Géhin*	71 min.
	11	DRAAF, service régional de l'information statistique et économique	Chef de service	Grille 2	Arthur Brunaud*	85 min.
28 mai 2015	12	Les défis ruraux	Chargée de projet Circuits Courts	Grille 2	Anouk Jentgen*	62 min.
28 mai 2015	13	Tropisme – conseil en stratégie de développement d'entreprise agro-alimentaire	Directeur	Grille 2	Agathe Pernot*	65 min.
	14	La croisée des chemins – magasin de producteurs	Gérante et productrice de volailles	Grille 2	Matthieu Gendre*	28 min.
	15	Lepicard Agriculture – coopérative bétailière	Responsable collecte	Grille 2	Marie Terzi*	42 min.
	16	Agence d'Urbanisme RBSE	Chef de projets Cohérence du développement des territoires Cheffe de projets Population et société Chargé d'études développement économique	Grille 2	Claire Gautier*	106 min.
	17	Cuisine centrale de Rouen	Directeur	Grille 1 et 2	Louis Léveillard*, SB	69 min.
	18	GRANDDE – développement économique durable	Président de l'association	Grille 2	Benjamin Péhaut*	92 min.
	19	Lemarchand – grossiste produits carnés	Directeur	Grille 2	Solène Thiriet*	73 min.
	20	École supérieure d'ingénieurs et de techniciens pour l'agriculture	Enseignant-chercheur agronome	Grille 2	Olivier Jusseaume*	57 min.
	21	Interbio – association de producteurs en AB	Chargé de mission filières	Grille 2	Jason Derilly*	54 min.
	22	Alternoo, commerçant de produits AB normands	Gérant, fondateur	Grille 2	Elisa Mitko*	53 min.
29 mai 2015	23	HAROPA – Port de Rouen	Délégué commercial et logistique agro-alimentaire	Grille 1 et 2	Adrienne Jonnet*, SB	65 min.
	24	Rouen Métropole	Directrice adjointe de l'environnement, de l'écologie urbaine et	Grille 2	Matthieu Gendre*	35 min.

			rurale			
	25	Obongoo – boulangerie en gros	Associé	Grille 2	Agathe Pernot*	35 min.
	26	Biotope – BE ingénierie écologique	Directeur	Grille 2	Emeline Porcher*	76 min.
	27	DRAAF, service régional de l'alimentation	Adjointe au chef de service Cheffe de projets	Grille 2	Elisa Mitko*	65 min.
	28	Seine Saveur Bio, traiteur bio en SCOP	Associé	Grille 2	Arthur Brunaud* Oliver Jusseaume*	33 min.
22 juin 2015	29	Cap Seine – coopérative agricole	Responsable logistique et approvisionnement	Téléphonique Grille 1	SB	35 min.

Ø : entretien non enregistré à la demande des enquêtés. Les données qui en sont extraites proviennent des notes prises lors de l'entretien.

* les enquêteurs dont le nom est marqué d'une astérisque sont les étudiants du Master pro parcours Sol, eau, environnement de l'Université Pierre et Marie Curie qui ont participé à l'enquête de terrain.

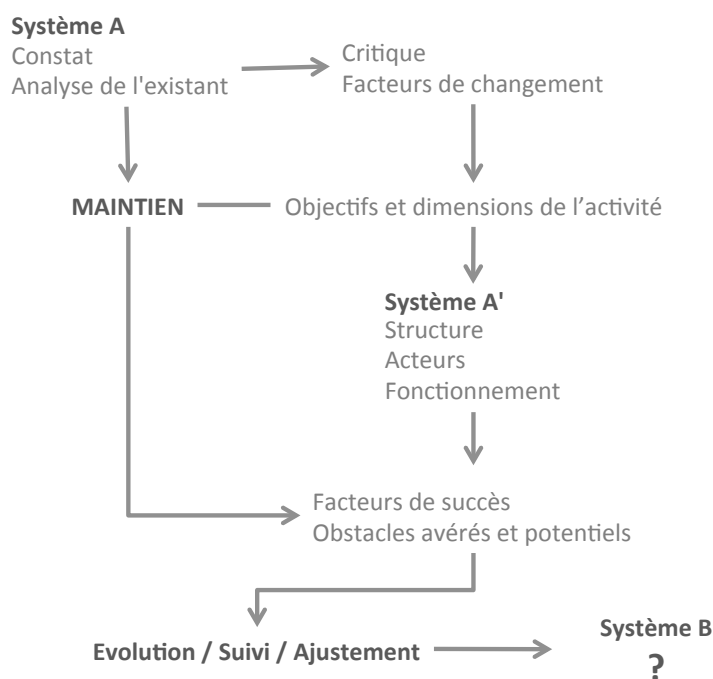


Figure 2. Grille n° 1 de conduite des entretiens.

- Structuration du système alimentaire normand
 - ☐ Sphère du système alimentaire de l'interlocuteur
 - ☐ Périmètre de l'activité de l'interlocuteur (géographique, chalandise, clientèle)
 - ☐ Autres acteurs dans le secteur de l'interlocuteur : Qui sont vos partenaires ? Qui sont vos concurrents ? Qui domine ce marché ? Qui sont les nouveaux acteurs sur le marché ?
 - ☐ Nature des échanges avec les autres acteurs du secteur
 - ☐ Acteur central du secteur en termes d'activités et de localisation
 - ☐ Interactions avec les autres sphères du système alimentaire normand

- ☐ Interaction avec les systèmes alimentaires régionaux voisins. Discussion possible sur Basse Normandie et Ile de France.
- ☐ Existence de liens entre l'interlocuteur, son secteur d'activité et la métropole parisienne. Quelles formes ces interactions prennent-elles ? S'agit-il d'une volonté de votre part, ou une obligation ? Y'a-t-il des interdépendances ? Y'a-t'il une influence de Paris ?
- Trajectoire socio-écologique du système alimentaire normand
 - ☐ Votre activité a-t-elle toujours été la même ? Qu'est-ce qui a changé ? Pourquoi ? Depuis combien de temps travaillez-vous dans ce domaine ? Dans votre structure ? Depuis votre arrivée, avez-vous vécu des moments-clés qui ont modifié la stratégie, la politique de l'activité ?
 - ☐ Échelle d'impact de ces évolutions et représentativité d'une spécificité normande ou d'une tendance plus générale.
 - ☐ Appréhension des évolutions à venir et stratégies d'adaptation pour l'activité de l'interlocuteur. Rôle des politiques diverses dans ces évolutions.
 - ☐ Lien de l'activité à la réglementation : contrainte ou faveur ?
 - ☐ Nouveaux acteurs du système alimentaire : quels sont-ils, leur apparition se fait-elle au détriment d'autres ? Avez-vous vu émerger des nouveaux secteurs sur le marché de l'alimentation (nouveaux modes de distribution (drive, paniers), traçabilité, comportement alimentaire...) ? Est ce que l'émergence de ces nouveaux secteurs se sont fait au détriment des autres ? À destination de collectivités : intégration des nouveaux acteurs à la programmation et à la planification politique du territoire. / À destination d'interlocuteurs privés : influence des nouveaux acteurs sur la stratégie économique de l'activité.
 - ☐ Appréhension du degré d'intégration des acteurs locaux au sein d'un système alimentaire régional. Impacts de la fusion régionale à venir.
 - ☐ Axes de développement du système alimentaire pour s'adapter aux récentes évolutions. Existence d'une gouvernance alimentaire actuelle et prospective. Appréhension des mesures existantes, structurantes, efficaces, inutiles, etc.
- Système alimentaire et environnement : une transition écologique ?

La transition écologique implique une utilisation rationnelle et efficace vis-à-vis de toutes les ressources, y compris la sollicitation des régulations naturelles (climat, écosystèmes), et de résilience face aux aléas climatiques pour les territoires, les procédés industriels et agricoles, les biens et les services.

 - ☐ Vision de l'interlocuteur sur les pratiques dans son activité, et plus globalement au sein du système alimentaire normand, en rapport avec l'environnement.
 - ☐ Gouvernance environnementale et système alimentaire : existence, efficacité, levier ou frein ? Intégration des politiques environnementales dans les pratiques du système alimentaire normand.
 - ☐ Appréhension de la sensibilisation des consommateurs.
 - ☐ Définition par l'acteur d'une transition éventuellement en cours ou à venir.

Figure 3. Trame des entretiens semi-directifs menés par les étudiants du Master pro parcours Sol, eau, environnement du 27 au 29 mai 2015 (grille n° 2).

Enfin, pour aborder la prospective, différentes sources ont été mobilisées : les dires des acteurs rencontrés sur l'avenir du système alimentaire normand ont été complétés par l'étude de documents émis par les institutions du territoire (chambres consulaires, agences d'urbanisme, etc.). En outre, les étudiants du Master 2 Transport et mobilités de l'École d'urbanisme de Paris (UEPM) ont été mobilisés en février 2017 pour y contribuer (figure 4.). Peu familiers des questions de recherche qui guident ce travail, ils ont appliqué leur regard à la fois naïf sur l'avenir d'un système alimentaire régional, et connaisseur des politiques, potentialités et tendances en matière de transport régional

et de leur articulation avec l'aménagement du territoire. Ils ont produit des pistes de réflexions pour l'avenir logistique du système alimentaire normand.

Groupe de travail scenario 1	Groupe de travail scenario 3
Dominique Cramer	Mathilde Chocat
Lucas Henriat	Marion Ferré
Cassandre Nenesse	Clément Gautier
Andrea Paoli	Pierre Hyvernaud
Julien Pasquier	Thomas Ilhe
Lise Rambaud	Rémi Mahen
Noaman Saouat	Élise Rouya
Max Zanartu	
Groupe de travail scenario 2	Groupe de travail scenario 4
Nabil Benzid	Sophie Beret
Belén Bucheu	Diana-Carolina Bouget
Martin Drozière	Dorine Combettes
Chaimaa Fellah	Clément Dislaire
Charles Monnais	Victor Dorland
Sébastien Parnaud	Margaux Dreux-Piquet
Carlos Soliman	Nicolas Dumoulin-Bels
Yuiki Takahashi	Thibault Janik
Khady Touré	Yann Guégan
Camille Treil	Thibault Namy
	Betty Pasquine
	Ludivine Pirot

Figure 4. Étudiants du Master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris ayant contribué à la définition des enjeux de transport et de logistique pour les scenarios RESET, le 8 février 2017.

3. Présentation et justification du territoire étudié

Le périmètre retenu pour l'exploitation de ces données est double. Haute et Basse Normandie ont été réunies au 1er janvier 2016⁵, mettant fin aux débats qui animent depuis longtemps (Musset 1983) la partition de la région normande historique en deux régions administratives distinctes. Sur ce point, ni la géographie, ni la démographie n'apparaissent comme des facteurs discriminants les deux régions : si l'axe Seine semble tenir ensemble les départements haut-normands dans leur lien avec la région capitale (Attali 2010), il a été démontré qu'il est une construction récente et que, de plus, la diversité de la géographie normande ne tient pas sur les d'une séparation entre Haute et Basse Normandie (Gay 1983). En outre, si des variations de peuplement et de dynamique démographiques sont notables entre tous les départements, d'aucun estiment que la réunion des deux régions serait « à la bonne échelle pour faire un contrepoids relatif à l'influence parisienne » (Gay 1983, p. 19). Jusqu'en 2016, le maintien de la séparation en deux régions tenait donc par les mêmes ressorts que ceux qui l'ont fait se réunir : la volonté politique. Ainsi, l'influence des préfets emblématiques dans les deux régions, pilotant la déconcentration puis la décentralisation souhaitaient maintenir l'indépendance relative de leurs deux territoires (Gay 1983) ; cette indépendance s'incarnant jusqu'il

⁵ Loi n° 2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République.

y a peu, voire encore aujourd'hui, dans l'atonie de la proximité institutionnelle dans les domaines administratif et culturel générant des cultures professionnelles cloisonnées⁶.

RESET ayant pour objectif « de retracer les trajectoires socio-écologiques [...] pour relier l'évolution de l'écosystème estuaire aux choix économiques et techniques qui ont été faits en matière de développement de la Normandie, plus particulièrement en ce qui concerne les fonctions liées au système hydro-agro-alimentaire » (projet RESET), nous nous sommes focalisés dans un premier temps sur l'analyse de région Haute-Normandie et de ses liens avec l'axe Seine. Sa trajectoire est guidée par plusieurs déterminants formalisés à l'échelle des pôles urbains de la région que sont Rouen et Le Havre – ne serait-ce qu'en termes de consommation, ces deux villes capitalisent le plus d'habitants et dominent économiquement la demande alimentaire de la Normandie réunifiée.

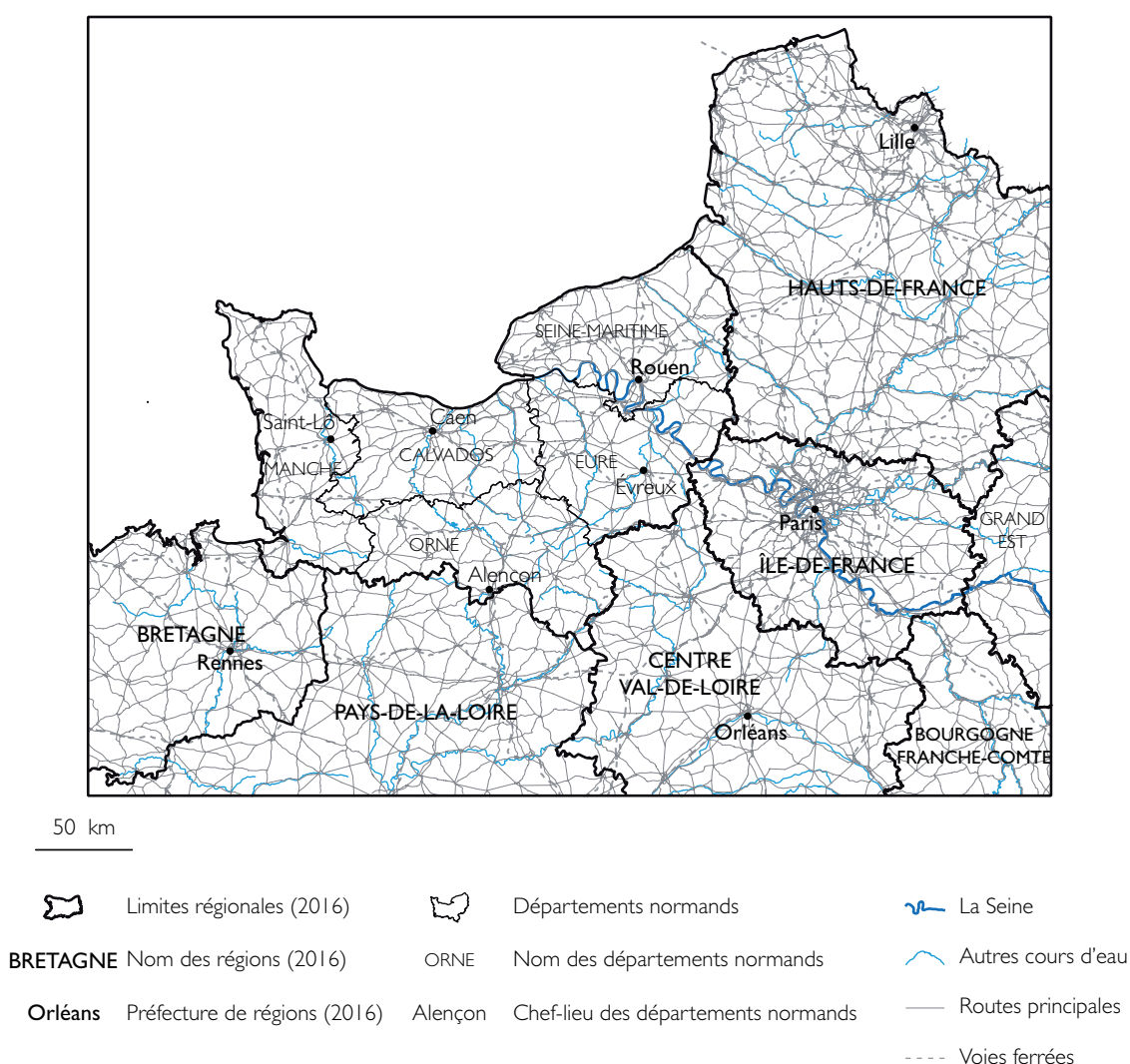


Figure 5. Présentation du territoire d'étude dans son contexte⁷.

Réalisation : S. Bognon, 2015.

⁶ F. Gay (1983) cite par exemple l'existence de deux bureaux régionaux de l'INSEE, de deux grands quotidiens polarisants (Ouest-France en Basse-Normandie et Paris-Normandie en Haute-Normandie).

⁷ Cette figure pourra être consultée en cours de lecture pour des précisions toponymiques et contextuelles qui ne sont pas nécessairement rappelées dans la démonstration.

La situation géographique de la région en fait un exutoire et un hinterland de la métropole parisienne : la Haute-Normandie et l'Île-de-France sont limitrophes. Paris trouve à l'embouchure de son fleuve, une zone d'interface naturelle avec le reste du monde, tant pour les échanges matériels et monétaires qu'elle génère que pour la main d'œuvre dont elle a besoin pour acheminer ces échanges. Le développement économique contemporain de la Haute-Normandie est donc en grande partie conditionné par sa situation géographique. Depuis les grands travaux de réticulation du territoire national au 18^{ème} et surtout au 19^{ème} siècle (RECLUS Groupement d'intérêt public 2000), la Seine est vue par l'État siégeant à Paris comme une « grande rue » (Le Lay 1956) ou le sillon d'une « région-couloir » (Gay 1983) par lequel arrivent les marchandises nécessaires à la vie parisienne et par lequel s'écoulent les biens exportés depuis la région capitale. D'un point de vue infrastructurel, la Haute-Normandie et l'estuaire de la Seine sont donc un territoire majeur de l'externalisation du métabolisme parisien, et au-delà du bassin de la Seine et des territoires qui y ont accès. Rouen est un port fluvial naturel : il présente « le gros avantage de permettre aux navires de mer de débarquer leurs cargaisons au plus près de la région consommatrice » (Le Lay 1956, p. 107). Mais la relative insécurité de navigation de la Seine-Maritime favorise aussi l'essor, plus artificiel⁸, du Havre comme un « avant-port détaché à l'entrée de l'estuaire [...] au contact de deux grands axes de circulation, la Manche et la Seine » (Le Lay 1956, p. 107). Ainsi, si « Rouen a toujours été un port d'exportation » (Entretien n° 23), son hinterland est cantonné à la France (Pays de la Loire, Picardie, Bourgogne, Champagne-Ardenne, principalement), tandis que Le Havre a une vocation plus internationale (son hinterland s'étend jusqu'au Royaume-Uni, en Allemagne et aux Pays-Bas) (Entretien n° 23). Les pôles urbains normands se développent comme des nœuds de transports entre Paris et la mer, relais économiques de la puissance parisienne, « où s'écoule le fleuve énergétique, un flux de matières premières et de demi-produits, et même une réserve de personnel qualifié pour la région parisienne dont témoigne l'ampleur des migrations alternantes depuis la zone amont et Rouen vers Paris » (Gay, 1983, p. 20). Pourvoyeurs de fonds pour le développement régional, Rouen et Le Havre façonnent l'économie et il en résulte sinon « l'absence d'un véritable arrière-pays régional et une vie en grande partie étrangère à la Normandie » (Le Lay 1956, p. 107), au moins des centres de pouvoirs importants, dont les aires urbaines fonctionnelles regroupent en 2010 80 % de la population régionale et même le quart des terres agricoles et plus de la moitié des exploitations de la Haute-Normandie (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie 2013). Pour structurer les liens inter-régionaux par l'activité portuaire, une institution est créée en 2012 afin d'« harmoniser la politique portuaire en vallée de Seine » (Entretien n° 23) : HAROPA (pour Le HAVre, ROuen, PARis) regroupe les trois ports majeurs de l'axe Seine et englobe les territoires de 34 communes, et trois départements. C'est un Groupement d'Intérêt économique stratégique qui a vocation à développer les volets du commerce, de la communication et des réseaux.

La recherche a donc été menée sur les bases historiques de la partition régionale, et sur les bases politiques et économiques des liens privilégiés entre la Haute-Normandie et l'amont de la Seine, en particulier avec la région capitale. Dans l'intérêt du programme RESET nous avons ensuite inclus, plus ponctuellement, des données qui concernent la région Basse-Normandie sans lesquelles la trajectoire du système alimentaire normand serait incomplète. Partant, nous caractérisons l'état actuel du système alimentaire bas-normand en essayant de faire émerger les déterminants de sa trajectoire : le récit n'est donc pas aussi détaillé que celui qui concerne la trajectoire haut-normande et seuls les points saillants de l'évolution du système alimentaire depuis l'après-guerre seront abordés. Il s'agit en particulier de saisir les perspectives qu'offre la fusion régionale de 2016 et

⁸ De nombreux autres ports d'ampleur internationale bordent la côte normande depuis longtemps et il semble que Le Havre ait été choisi pour les conditions géographiques de son port naturel « que ne possède nul autre point de la baie de la Seine ou de la Manche française » (Le Lay, 1956, p. 107). Ce caractère artificiel des liens entre les deux ports est d'ailleurs illustré par l'absence relativement tardive de ponts entre les rives de la Seine en aval de Rouen : le pont de Tancarville est le premier achevé en 1959, puis plus en amont et en 1977 le pont de Brotonne, et enfin, en aval à la naissance de l'estuaire, le pont de Normandie a été mis en service en 1995.

d'élargir aux deux régions historiques les implications que supposent leur situation d'interface globale dans un contexte de mondialisation des échanges.

4. Bibliographie

Cette bibliographie est mobilisée dans le chapitre 3 du rapport de synthèse du projet RESET et dans les annexes 1, 2, 3 et 8.

AGRESTE Basse-Normandie, 2012. *Mémento de la statistique agricole*. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

Attali J., 2010. Paris et la mer : la Seine est capitale, Paris, Fayard.

Barles S., 2010. « Écologie urbaine, industrielle et territoriale », in Coutard O., Lévy J.-P. (dir.), *Écologies urbaines*. Paris : Economica, p. 61-83.

Barles, S. 2015. The Main Characteristics of Urban Socio-Ecological Trajectories: Paris (France) from the 18th to the 20th Century. *Ecological Economics* 118, p. 177-185.

Barles S., Bognon S., 2010. « Synthèse de l'enquête sur la provenance des produits alimentaires consommés en ville », *Rapport de recherche pour le projet CONFLUENT*, Champs-sur-Marne : LATTS.

Beyer A., 2015. « Le transport fluvial, élément-clé de compétitivité de la filière européenne du blé. Le cas du Bassin parisien », *Le Déméter*, n° 22 p. 281-301.

Blogowski A., 2012. « Les régulations publiques », in Rastoin J.-L., Bouquery J.-M., *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 180-197.

Bréchet, A. 1924. Hygiène publique et industrielle. Paris.

Buclet N., 2011. Écologie industrielle et territoriale. Stratégies locales pour un développement durable. Villeneuve d'Ascq : Presses Universitaires du Septentrion.

Cardona A., 2014. « Le développement de l'agriculture biologique : effets directs et indirects dans le monde agricole et non agricole », *Économie rurale*, vol. 2014/1, n° 339-340, p. 183-194.

CCI de Rouen. S. d. Le grand port maritime de Rouen. www.rouen.cci.fr/grandrouen/fr/pdf/FR_TR_trafic_maritime_port_Rouen.pdf

Chageau M., Reith V., 1996. « La guerre de la banane », *Alternatives Économiques*, n° A136.

Chervel M., 1981. « Les calculs économiques: origines et destinations », *Canadian Journal of Development Studies / Revue canadienne d'études du développement*, vol. 1981/2, n° 2, p. 259-300.

Clary D., 1977. La façade littorale de Paris: le tourisme sur la côte normande, étude géographique, Paris : Ophrys.

Colletis G., Pecqueur B., 1996. « Les facteurs de la concurrence spatiale et la construction des territoires », in Peraldi M., Perrin É. (dir.), *Réseaux productifs et territoires urbains : cultures urbaines, marchés, entreprises et réseaux*, Toulouse : Presses universitaires du Mirail, p. 167-182.

Concato F., Thuillier J.-P., 1980. « La pénétration étrangère dans l'industrie haut-normande », *Études normandes*, vol. 1980, n° 3, p. 5-23.

Cornière P., 2001. « Deux siècles d'agriculture dans la Manche », *Études normandes*, vol. 2001, n° 3, p. 69-79.

Dasi P., 2013. « Quand le département de la Manche tournait le dos à la mer (du milieu du XIXe siècle aux années 1930) », *Annales de Normandie*, vol. 63, n° 1, p. 111-135.

Dionnet M.-C., 1987. « Évolution de la production de camembert en France », in *Histoire et géographie des fromages : actes du colloque de géographie historique*, Caen, 1985, Centre de recherches sur l'évolution de la vie rurale, Caen : Université de Caen, p. 109-117.

Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Basse-Normandie, 2014. *Panorama des industries agro-alimentaires. Région Basse-Normandie*. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie, 2013. *Atlas agricole et rural de Haute-Normandie. L'agriculture et le monde rural en cartes et en chiffres*, Rouen : Agreste Haute-Normandie.

Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie, Service régional pour l'information statistique et économique, 2010. *Le territoire haut-normand : entre agriculture et artificialisation*, Rouen : Agreste Haute-Normandie.

Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute-Normandie, 2014. *Panorama des industries agro-alimentaires. Région Haute-Normandie*. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

Dubuc A., 1953. « La culture de la pomme de terre en Normandie avant et depuis Parmentier », *Annales de Normandie*, vol. 3, n° 1, p. 50-68.

Dupré P., 1984. « Les stations balnéaires de la côte du Calvados (suite) », *Annales de Normandie*, vol. 34, n° 1, p. 69-94.

Dupré P., 1983. « Les stations balnéaires de la côte du Calvados. Genèse et développement », *Annales de Normandie*, vol. 33, n° 3, p. 239-256.

Dutil J., 2012. « Le goût de Montréal : regard sur la notion de désert alimentaire », *Pour*, vol. 3, n° 215-216, p. 377-383.

Fischer-Kowalski M., 2011. « Analyzing sustainability transitions as a shift between socio-metabolic regimes », *Environmental Innovation and Societal Transitions*, vol. 1, n° 1, p. 152-159.

Fischer-Kowalski, M., Rotmans, J., 2009. Conceptualizing, observing, and influencing socio-ecological transitions. *Ecol. Soc.* 14, 3.

Foulquier E., 2015. « Transport maritime sous régime de froid. Mondialisation des circulations des marchandises périssables », *Le Déméter*, n° 22, p. 259-279.

Frémont A., 2013. « Le Havre, l'axe Paris-Seine et les routes maritimes mondiales », *Esprit*, vol. Juin 2013, n° 6, p. 69-80.

Frémont A., 1967a. *L'élevage en Normandie : étude géographique. Volume 2*, Caen : Association des publications de la Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université de Caen.

Frémont A., 1967b. *L'élevage en Normandie : étude géographique. Volume 1*, Caen : Association des publications de la Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université de Caen.

Frémont A., 1957. « L'agriculture dans la partie occidentale du pays de Caux (région du Havre) », *Études normandes*, vol. 22, n° 1, p. 157-184.

Filippi M., 2012. « Les coopératives : caractéristiques, ancrages et mutations », in Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.), *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 77-100.

Fruit J.-P., 1991. « L'évolution récente de l'agriculture en Haute-Normandie. Une typologie cantonale. », *Études normandes*, vol. 1991, n° 1, p. 73-95.

Fruit J.-P., Lesperrier C., 1991. « L'évolution récente de la rurbanisation. Le cas de la périphérie de Rouen », *Études normandes*, vol. 1991, n° 1, p. 10-23.

Gay, F., 1983. « Une ou deux Normandies ? Le point de vue du géographe », *Études normandes*, vol. 32, n° 1, p. 15-28.

Goudeau J.-C., 1977. *Le transfert des Halles à Rungis*, Paris : J.C. Lattès.

INSEE. 1983. Recensement général de la population de 1982. Composition communale des unités urbaines. Paris, Imprimerie nationale.

INSEE. 1990. Annuaire rétrospectif de la France. Séries longues. 1948-1988. Paris, Imprimerie nationale.

Insee Haute-Normandie, 2014. « Les retombées économiques du tourisme en Normandie. Près de 5 milliards d'Euros de consommation touristique », *Aval*, n° 148, 8 p.

Joulot, A. 1946. Les ordures ménagères : Composition, collecte, évacuation, traitement. Paris.

Justafre M., 1992. « La Fromagerie Fromage-Roussel à Boisse : 1808-1957. L'exemple de l'ascension sociale d'Edmond Roussel (1840-1899) », *Annales de Normandie*, vol. 42, n° 3, p. 277-307.

Lachiver M., 1959. « Le Havre, port importateur de coton et de café », *Études normandes*, n° 116, p. 225-243.

Lacoste R., 2015. « Transport de céréales. Navires, couverture des risques, conteneurisation : un système en pleine évolution », *Le Déméter*, n° 22, p. 235-257.

L. Lafay (coord.) 2009. Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 2 (INCA 2) 2006- 2007, version 2, Maison-Alfort : AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments).

Lamblin, V., Theys, J. 2003. Radioscopie de la France en mutation, 1950-2030. Rapport pour le compte du ministère de l'Équipement. Paris, Futuribles.

Laisney C., 2012. « L'empreinte de la société civile », in Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.), *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 139-158.

Laroque L., 2001. *Le ravitaillement des Havrais de 1939 à 1949*, Mémoire de Maîtrise d'Histoire Contemporaine, Lenemorel A. (dir.) Université du Havre.

Le Lay E., 1956. « Le port du Havre. Première partie », *Études normandes*, vol. 18, n° 1, p. 106-144.

Lemarchand N., 1992. *Commerce et structure urbaine*, Guérmon Y. (dir.), Thèse de doctorat, Université de Rouen.

Lepicard J., 1959. « Modernisation des marchés de gros », *Études normandes*, n° 30, p. 17-30.

LSA, 2009. « Les Mousquetaires repartent au combat. Les 40 ans d'une saga », *LSA, Le magazine de la grande consommation*, Hors-Série, 84 p.

Malassis L., 1973. Économie agro-alimentaire, tome 1. Économie de la consommation et de la production agro-alimentaire. Paris : Cujas.

Malassis L., 1997a. Économie agro-alimentaire, tome 2. Les trois âges de l'alimentaire. Livre 1. L'âge pré-agricole et l'âge agricole. Paris : Cujas.

Malassis L., 1997b. Économie agro-alimentaire, tome 2. Les trois âges de l'alimentaire. Livre 2. L'âge agro-industriel. Paris : Cujas.

Malassis L., Padilla M., 1986. Économie agro-alimentaire, tome 3. L'économie mondiale. Paris : Cujas.

Mazoyer M., Roudart L., 2002. Histoire des agricultures du monde : du néolithique à la crise contemporaine, Paris : Seuil.

- Ministère de l'Agriculture (1936). Statistique agricole de la France. Résultats généraux de l'enquête de 1929. Paris, Imprimerie nationale.
- Ministère de l'Agriculture (1938). Statistique agricole de la France. Annexe à l'enquête de 1929. Monographie départementale du département du Calvados. Paris, Imprimerie nationale.
- Muller C., 1972. « Les marchés de gros de consommation de fruits et légumes en Normandie », *Noroi*, vol. 73, n° 1, p. 47-65.
- Musset, L., 1983. « L'unité de la Normandie. Le point de vue de l'historien », *Études normandes*, vol. 32, n° 1, p. 5-14.
- Observatoire régional de la compétitivité, 2012. *L'industrie agroalimentaire. Une industrie singulière et performante*, Rouen : Chambre de Commerce et d'Industrie de Région Haute-Normandie.
- Pluvinage J., 2015. « Biocoop, construire une filière alimentaire moderne, entre efficacité économique et valeurs éthiques », *Pour*, vol. 2015/3, n° 227, p. 169-176.
- Raimbeault M., 1996. « La redistribution agro-alimentaire », *Noroi*, vol. 169, n° 1, p. 145-152.
- Raoulx B., 1996. « Cherbourg et Caen : deux modèles de relation entre la ville et le port », *Noroi*, vol. 169, n° 1, p. 93-109.
- Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.) 2012. Les industries agroalimentaires en France. Paris, La Documentation Française.
- Rastoin, Jean-Louis. 2012. « Enjeux et prospective », in Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.), *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 219-241.
- RECLUS groupement d'intérêt public, 2000. *Atlas de France*, Montpellier, RECLUS.
- Renault C., 2012. « Entreprises et secteurs : des IAA plurielles », in Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.), *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 55-77.
- Rio, Yves. 2012. « Les dispositifs interprofessionnels de gouvernance », in Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.), *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 161-179.
- Robinne A., 1966. « Le Vieux marché de Rouen. Hier, aujourd'hui, demain », *Études normandes*, vol. 56, n° 4, p. 4 p.
- Rottier, G., Albert, J. 1959. Les consommations alimentaires et la production agricole de 1938 à 1958. *Économie rurale* 39(1), p. 117-126.
- Ruffini P.-B., 1986. « Une spécificité havraise : le négoce de café », *Études normandes*, vol. 1986, n° 4, p. 48-55.
- Sieper M., 1996. « L'agriculture bas-normande : stabilité et mutations », *Noroi*, vol. 169, n° 1, p. 113-127.
- Sireix, Lucie. 2012. « Les consommateurs et leur alimentation », in Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.), *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 119-137.
- Soumagne J., 1996. Géographie du commerce de détail dans le Centre-Ouest de la France, Poitiers : J. Soumagne.
- Streiff, R. 1955. Les ports de commerce de Normandie. *L'information géographique* 19(5), p. 197 :207.
- TEHN. 1979-2009. Tableaux économiques de la Haute-Normandie. Paris, INSEE.

Teil G., 2012. « Le bio s'use-t-il ? Analyse du débat autour de la conventionalisation du label bio », *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires*, n° 332, p. 102-118.

Thuillier J.-P., 1986. « Les échanges internationaux en Haute-Normandie. Le cadre commercial et financier », *Études normandes*, vol. 1986, n° 4, p. 31-47.

Torre A., Pham H.-V., 2012. « Des usines, des champs et des villes : maillage territorial et polarisation régionale », *in* Rastoin J.-L., Bouquery J.-M. (dir.), *Les industries agroalimentaires en France*. Paris: La Documentation Française, p. 25-54.

Vivier M.-N., Le Bigot S., 1987. Histoire et géographie des fromages : actes du colloque de géographie historique, Caen, 1985, Caen : Université de Caen.

La trajectoire du système alimentaire normand, XXe-XXIe siècles

Sabine Bognon, Sabine Barles
UMR 8504 Géographie-Cités, Paris

NB. Les éléments théoriques, les méthodes mises en œuvre, ainsi que les références bibliographiques sont consultables dans l'annexe 1, qui vaut pour les annexes 2, 3 et 8.

1. Introduction

L'agriculture normande est marquée depuis longtemps par une orientation technico-économique tournée vers l'élevage et les cultures céréalières. Le système alimentaire du premier XIXe siècle (section 2) est caractérisé par des exploitations d'envergure familiale couplant souvent polyculture, élevage et agriculture de subsistance. La Normandie se nourrit, en grande partie elle-même, tout en exportant, essentiellement vers Paris. L'industrie agro-alimentaire est limitée aux minoteries, à l'abattage et à la transformation du lait.

Une transition est engagée à partir des années 1960 (section 3) : la spécialisation séculaire du paysage agricole s'affirme et s'intensifie, du fait de l'agrandissement des exploitations en voie de modernisation et dans le contexte économique et technique national. L'agriculture a dorénavant vocation à l'exportation nationale et internationale. Ce constat est à nuancer en ce qui concerne la Basse-Normandie : pendant la même période, cette région semble avoir conservé une forme de diversité des productions agricoles qui sont pour partie consommées localement. Si les surfaces agricoles diminuent légèrement et si l'activité agricole régresse au profit de l'industrie et de la croissance urbaine, celle-ci reste une ressource économique non négligeable pour la région. Simultanément, l'inversion des attributions commerciales des ports hauts-normands, une forme de spécialisation du paysage agro-industriel haut-normand apparaît du fait du haut degré d'ouverture économique des industries de ce secteur. Celles-ci trouvent au Havre comme à Rouen l'opportunité d'une expansion économique mondiale. En Basse-Normandie, comme pour le secteur agricole, l'activité est plus autocentrée et, de toute manière, les opportunités d'exportation littorales sont bien moins importantes que dans la région voisine. La distribution alimentaire a globalement suivi le même schéma en Normandie qu'à l'échelle nationale (à quelques nuances temporelles près) : les commerces de proximité et l'artisanat commercial ont été phagocytés par le succès sans égal de la grande distribution qui demeure, depuis son apparition, le canal le plus prisé par les consommateurs pour leurs achats alimentaires. De manière générale, la consommation alimentaire normande suit celle de ses pôles urbains, toujours plus déconnectée des productions locales. Ce système

alimentaire est bien établi à partir des années 1980 et se maintient, voire se renforce, jusqu'au début du XXe siècle.

Malgré des difficultés sectorielles non spécifiques au contexte normand, un renouveau de la sphère agricole semble engagé depuis les années 2010 (section 4). La diffusion de critères environnementaux et qualitatifs, notamment mue par la demande des consommateurs, influence le monde agricole : de manière encore marginale en volumes, en surfaces et en nombre d'exploitations, on observe une diversification des denrées produites et des pratiques culturelles. Des circuits de distribution alternatifs se développent qui visent à reconnecter production et consommation, à pérenniser les surfaces agricoles en milieu périurbain, ou à permettre une conversion des activités agricoles vers des productions plus lucratives. Ces signaux faibles pourraient annoncer une transition qui n'est ni avérée, ni certaine.

2. Un système intégré au service du local et de Paris (début XXe - fin des années 1950)

La Normandie du premier XXe siècle se vide de sa population : c'est dans l'entre-deux-guerres qu'elle atteint son plancher le plus bas (2 270 000 habitants en 1921, contre 2 710 000 en 1851) ; tous les départements se dépeuplent à l'exception de la Seine-Maritime qui s'industrialise. L'exode rural nourrit en partie la croissance de l'agglomération parisienne. Au sein du territoire normand, les villes attirent des ruraux qui se tournent vers l'industrie, Le Havre bien sûr, mais aussi Évreux et Caen où l'on note, dans les années 1930, l'effet du « développement des usines et l'installation dans la banlieue de Caen des Hauts Fourneaux de la Société Normande de Métallurgie et des Chantiers Navals » (Ministère de l'Agriculture, 1938, p. 225), ainsi que dans une moindre mesure Rouen.

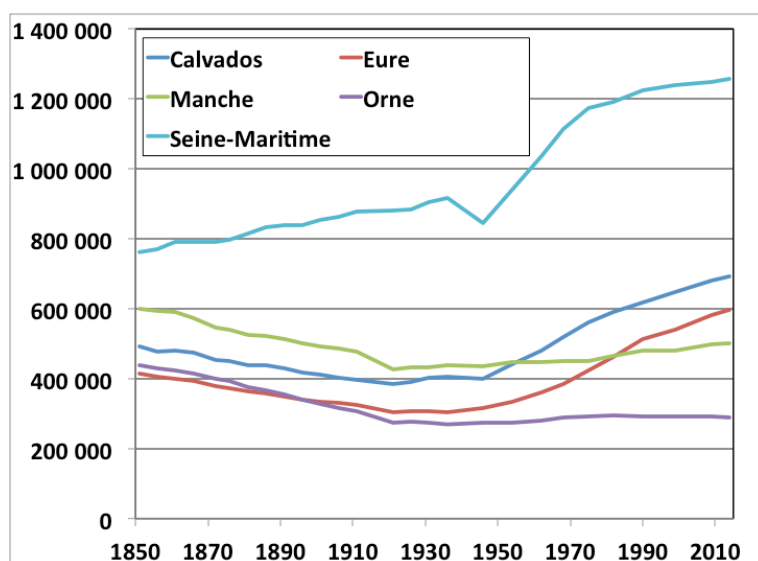


Figure 1. Evolution de la population dans les cinq départements de Normandie de 1859 à 2014.

Le paysage agricole normand est connu pour sa spécialisation précoce dans l'élevage bovin et la céréaliculture. Ces images du territoire sont héritées d'un façonnement séculaire daté pour la première de la fin de l'Ancien Régime et pour la seconde du XIXe siècle. Notons d'emblée que malgré sa situation littorale, la Normandie affiche assez peu la vocation d'exploitation halieutique qu'on pourrait en attendre. Cela pourrait s'expliquer par un retournement de l'activité agroalimentaire institué au XIXe siècle. Ainsi par exemple, si la Basse-Normandie littorale a été longtemps marquée par son importante activité de pêche et ses fortes concentrations démographiques côtières, avec la

révolution industrielle, « le système économique et social qui articulait, depuis des siècles, la mer, le littoral et les hinterlands ruraux s'effondre brutalement. Partout, sur la côte, les économies maritimes se contractent. [...] Dès lors, et plus que jamais, la Manche se mit à revendiquer son fort enracinement terrien en affichant sa ruralité comme étendard pluriséculaire que tous, gens d'ici et d'ailleurs, finirent par parfaitement intérioriser » (Dasi, 2013, p. 111).

Tableau 1. *Le paysage agricole normand dans les années 1950.*

Type d'exploitation	Surface	Productions	Caractéristiques	Part des exploit. concernées
« Petite ferme herbagère »	5-10 ha	Herbages (Fourrage)	Agriculture familiale / production de subsistance et d'appoint	1/3
« Ferme moyenne de type traditionnel »	10-30 ha	Cultures Élevage bovin	Assolement triennal simple	1/2
« Grosse ferme moderne »	> 35 ha	Élevage bovin intensif (laitier surtout) 30 % surfaces cultivées de manière intensive	Assolement quadriennal incluant une culture industrielle (lin) Motorisation et sélection génétique des races et variétés L'agriculteur « emploie de façon rationnelle des doses importantes d'engrais [...], dépense beaucoup plus, mais pour plus de profit. [...] Personnellement, il ne touche pas beaucoup à la terre. C'est un chef d'entreprise » (p. 161).	1/6

D'après Frémont, 1957 ; réalisation : S. Bognon 2015.

En ce qui concerne l'élevage, au XVIII^e siècle, la monarchie impose la mise en herbe du territoire qui se convertit alors « vers une économie agraire tournée vers l'embouche [à laquelle est couplée l'essor des activités liées à] la pomme et [aux] produits laitiers » (Justafre 1992, p. 277) : la politique agricole royale cherche à créer une offre alimentaire répondant à la croissance urbaine d'une région dynamisée par sa proximité avec la capitale. Le caractère céréalier de la région est flagrant depuis moins de temps : jusqu'à la fin du XIX^e siècle les légumes et tubercules¹ tenaient une place importante dans l'économie agraire, fournissant une agriculture de subsistance aux producteurs autant qu'un approvisionnement urbain non négligeable (Laroque, 2001). Pourtant, le couplage entre céréaliculture, cultures fourragères et élevage s'affirme au début du XX^e siècle, ce qui se traduit dans l'essor de l'activité coopérative de vente des produits agricoles : « À l'époque, l'entreprise collectait les excédents de grains des fermes avoisinantes et les revalorisait en nourriture pour animaux qu'elle conditionnait en sacs » (Entretien n° 15).

Ce couplage entre céréaliculture et élevage occupe une place prépondérante dans le système agricole normand (Cornière 2001). Hérité des politiques agraires d'un État fort, cette spécialisation

¹ À titre d'exemple, la pomme de terre est implantée en Normandie depuis la fin de l'Ancien Régime, d'abord dans les jardins botaniques puis de plus en plus pour remédier aux mauvaises récoltes de blé ou les compléter pour la fabrication de pain. Elle entre dans le régime paysan et sa consommation devient banale au milieu du XIX^e siècle, puis les deux guerres mondiales rendent sa culture très populaire dans les jardins, c'est une source d'autoproduction importante pour pallier les restrictions de la politique de ravitaillement (Dubuc, 1953).

duale est aussi le résultat des liens qu'entretient la région avec la capitale : la production est de moins en moins dévolue à la subsistance des populations locales et progressivement intégrée à des circuits commerciaux nationaux. C'est ce que les agronomes Marcel Mazoyer et Laurence Roudart (2002) appellent la première révolution agricole des temps modernes. En Normandie, cette agriculture dépend largement de la traction animale, mais le développement, en milieu rural, de la « profession toute moderne des électriciens-mécaniciens » (Ministère de l'Agriculture, 1938, p. 225), atteste d'un début de motorisation. Les rendements augmentent par ailleurs : 25 hl/ha en blé en 1929, contre 17 hl/ha en 1862 (Ministère de l'Agriculture, 1936).

Dans l'entre-deux-guerres, moulins et minoteries dominent l'industrie agricole (650 en 1929). Cependant, c'est dans le domaine des produits laitiers que l'industrialisation est manifeste : fromageries (340 en 1929, concentrées à 72 % dans le Calvados), beurreries (109 en 1929), laiteries (76 en 1929). Grande région laitière, la Normandie est le siège d'importantes industries de transformation fromagère. A. Frémont (1967b) explique que jusqu'après-guerre, il existe différentes formes de commercialisation des produits laitiers incluant la distribution directe et déjà, des formes très entremises incluant des intermédiaires de commerce, pour la commercialisation du lait des formes de distribution directe (figure 2).

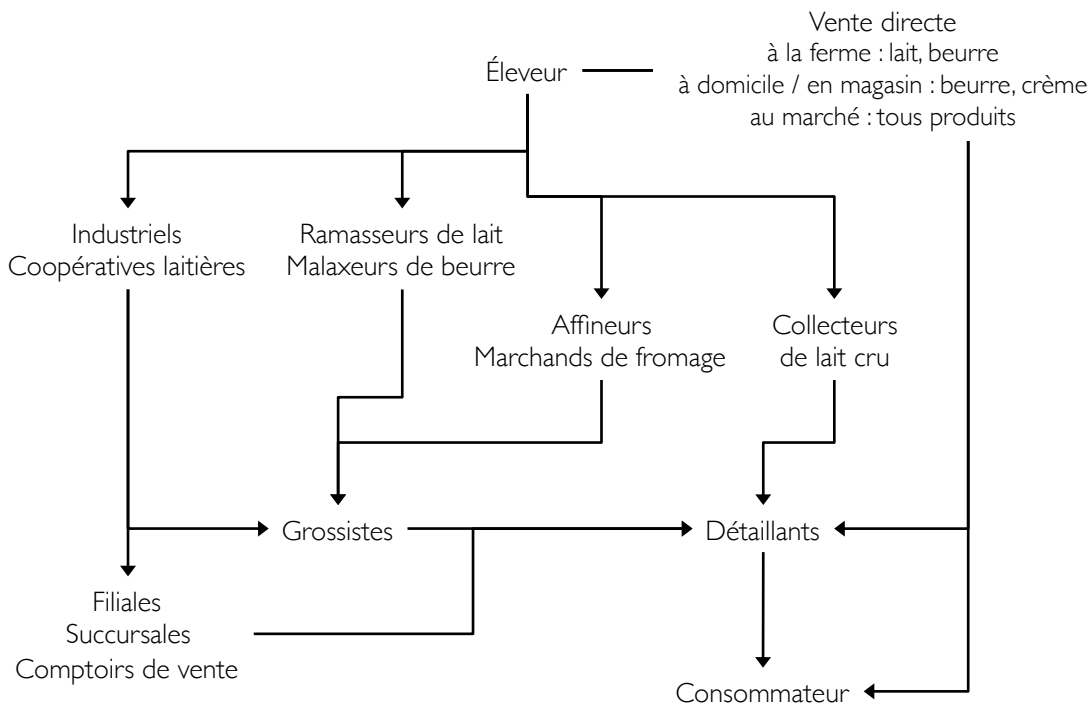


Figure 2. Circuit économique du lait normand à la fin des années 1950.
D'après Frémont, 1967, p. 195 ; réalisation : S. Bognon 2017.

Le reste de la transformation, quand transformation il y a, est opéré à la ferme, en particulier pour les produits non ou peu périssables, et pour ceux qui font l'objet d'une vente directe. Les animaux sont abattus au plus près de la consommation, dans les abattoirs publics et les tueries particulières encore très nombreuses. En 1929, on compte à peine sept entrepôts frigorifiques dans la région (Ministère de l'Agriculture, 1936). Les consommateurs participent au fonctionnement agro-industriel (consigne des emballages, approvisionnement en direct) : il existe une proximité tant géographique qu'organisée entre agriculture et consommation alimentaire. Bien qu'après la guerre et à l'échelle nationale, on note une augmentation de la consommation de certains produits, dont la viande, celle-ci reste très marquée par le pain, les pommes de terre, les légumes (tableau 2). Les repas normands

semblent néanmoins relativement carnés et fromagers dès l'entre-deux-guerres, en particulier dans les zones d'élevage (encadré).

Encadré. Les repas dans les familles rurales du Calvados (Ministère de l'Agriculture, 1938, p. 219-220)

« Les repas, dans les fermes calvadosiennes, sont au nombre de trois : le petit déjeuner est composé d'une soupe, que certains remplacent parfois par le pain et la viande froide ou le fromage. Le déjeuner de midi est copieux : son menu comprend toujours un bon plat de viande accompagné de légumes ; on donne surtout du lard ou du bœuf ; de temps en temps on sacrifie des animaux de basse-cour. Le soir, le dîner est constitué principalement par une soupe de légumes.

« Les œufs, le poisson frais, le gibier, les conserves de viande, de poisson et de crustacés, entrent aussi dans les menus.

« Le dessert est constitué, les jours ordinaires, par du fromage, des fruits frais, des compotes, marmelades ou confitures.

« Dans les grandes circonstances on prépare du riz au lait, de la « teurgoule » (riz crevé au four et parfumé à la cannelle), accompagnés de « fallue » (feuilleté), de galette normande, de gâteaux secs.

« Entre les repas, on prend des « collations », c'est-à-dire que l'on mange du pain, accompagné de boisson de cidre, d'abord vers dix heures du matin puis, dans la bonne saison, vers seize heures.

« Le repas du Bocage, les jours des grandes corvées, ne sont plus souvent constitués, comme autrefois, par la galette de sarrasin. Le pain de froment a partout remplacé celui de seigle et d'orge. L'usage de cuire le pain à la ferme a été peu à peu abandonné ; il ne survit guère en dehors de la région du Bocage, de même que celui de faire moudre le blé à façon.

« Dans la plupart des exploitations agricoles, on tue et met au saloir un ou plusieurs porcs chaque année. Le lard est en effet la viande que l'on y consomme le plus.

« Les salariés nourris à la ferme sont alimentés comme la famille ; ils mangent avec elle chez les petits exploitants. Dans les exploitations plus importantes, ils ont leur table dans la vaste cuisine ou même dans un réfectoire spécial.

« Le pain et le petit cidre sont donnés à discrétion ; le café et l'eau-de-vie de cidre ne leur sont point ménagés : le « Calvados » est même parfois absorbé en quantité exagérée, un préjugé voulant que l'alcool donne « plus de cœur à l'ouvrage. »

Au sortir de la Seconde Guerre mondiale, à l'image de ce qui se passe au Havre (Laroque, 2001), les productions agricoles de subsistance sont principalement destinées au marché régional (Frémont, 1957). Les filières d'agriculture de consommation courante normandes sont peu organisées pour exporter les productions : l'agriculture à vocation industrielle (lin, betterave à sucre) est un marché concentré dans les mains de peu d'opérateurs et la filière céréalière est pilotée par l'État (Ibid.). Dans les années 1950, la Haute-Normandie est maillée de plusieurs foires (Lepicard 1959) et leur commerce s'effectue aussi par les coopératives agricoles (qui tiennent depuis lors une place constante mais aujourd'hui relativement marginale considérant l'accroissement des volumes traités).

La Normandie se nourrit donc, en grande partie, elle-même. Dans les années 1930-40, à l'image du Havre, les grands pôles urbains ne sont tributaires que des productions locales pour une grande majorité des approvisionnements, même si « un complément est fourni par des expéditions en provenance de Normandie, de Bretagne et des Halles de Paris » (Laroque, 2001, p. 40). Beurre, œufs et fromages consommés au Havre sont des productions régionales ; les produits carnés proviennent des ports hauts-normands et des éleveurs locaux via la foire de Lillebonne ; les fruits et légumes sont issus des banlieues maraîchères même si des importations extrarégionales affluent déjà pour des

produits spécifiques. Notons aussi que 90 % du vin consommé au Havre provient d'Algérie, le reste venant du sud de la France (Laroque, 2001). La distribution de produits alimentaires se fait dans des épiceries et commerces de proximité de plus ou moins grande taille. Les marchés de gros (Caen, Le Havre, Rouen) constituent l'armature commerciale des échanges agricoles et agroalimentaires.

Tableau 2. Quantités consommées des principaux produits alimentaires en 1938, 1950 et 1957, kg/hab/an (France) (Rottier et Albert, 1959, p. 119)

	Moyenne 1934-38	1950	1957
Pain	131,1 à 143,0	121,6	103,8
Pâtes		5,9	6,3
Biscuits et pains d'épices		2,9	4,0
Biscottes	2,4	5,9	6,1
Pommes de terre d'hiver	154,9	122,2	111,2
Légumes secs	6,6	5,2	4,5
Autres légumes		148,3	144,8
Agrumes	6,9	9,3	12,5
Bananes	4,1	4,7	5,9
Pommes et poires	6,0	10,1	11,3
Autres fruits frais	8,3	12,5	11,8
Bœuf	11,4	12,9	17,1
Veau	5,8	5,8	6,2
Mouton	2,1	2,1	2,5
Cheval	0,7	1,1	1,5
Porc	15	17	21,4
Volailles	8,3	9,1	12,0
Œufs	9,0	8,6	11,4
Lait	92,9	105,4	108,9
Fromages	6,3	8,9	10,8
Beurre	6,6	8,4	11,3
Huile et autres corps gras	10,1	8,6	10,5
Vins courants		91,1	104,4
Autres vins		4,8	9,1

La région est aussi exportatrice, essentiellement vers Paris, de bétail, de viande, de produits laitiers, d'œufs, de céréales, de cidre et de pommes et poires à cidre, etc. Les chemins de fer permettent la circulation, intense, des produits agricoles au sein des et entre les départements normands, de même que vers la capitale et, pour certains produits, vers le reste de la France. La modernisation du système logistique normand dans la première moitié du XXe siècle va de plus conduire à une première internationalisation du système alimentaire. La situation littorale de la région en fait une porte de sortie naturelle des productions du bassin de la Seine et une entrée opportune pour l'approvisionnement national et celui de la région capitale, ainsi qu'en témoigne une affiche de l'exposition universelle de 1937.



Figure 3. Affiche promotionnelle de la SNCF pour l'exposition universelle de Paris de 1937.

Déjà au XIXe siècle par le port du Havre, la Haute-Normandie est une interface commerciale entre l'Europe et le monde : « tout gravitait autour du commerce. La ville industrielle n'était qu'une annexe du port [et comportait] plusieurs raffineries de sucre [...] » (Soulas, 1940, p. 206). Le début du XXe siècle marque une différenciation économique entre Rouen, port de pondéreux, et Le Havre, port de marchandises à haute valeur ajoutée : dès lors, s'établit « une division du travail constituant une des collaborations urbaines les plus fructueuses du monde contemporain » (Ibid., p. 213). Fort d'un accès direct à l'océan, d'un tissu productif varié et d'un bassin de consommation important², Le Havre est donc le port où s'échangent les denrées courantes. Rouen, plus en amont sur la Seine, moins peuplé³ et plus industriel, est une interface fluviale pour les produits bruts en provenance et à destination du bassin de la Seine. Par ses ports maritimes, la Normandie constitue ainsi une plaque tournante pour les produits exotiques. Dans les années 1910, plusieurs centaines de négoce de produits tropicaux se situent au Havre (Thuillier 1986), mettant à profit la proximité de la capitale et l'interface portuaire pour atteindre aisément les marchés d'importation et d'exportation. Cette situation se maintient et, jusque dans les années 1930-40, le port du Havre est le premier importateur de café en France et en Europe : « cette situation est due au fait que la France est, de loin, le premier consommateur de cette denrée sur le continent, et que le marché du Havre, organisé depuis plus d'un demi-siècle, jouit d'une réputation mondiale » (Lachiver 1959, p. 228). Après guerre, le Havre réduit quasiment de moitié sa contribution à l'importation de café en France. L'hinterland portuaire couvre néanmoins toujours tout le territoire national et s'étend jusque dans le Nord de l'Europe continentale et au Royaume-Uni. Sa desserte se fait majoritairement par le rail, mais aussi par la route et le cabotage (Lachiver 1959). Cependant, et malgré sa rapide rénovation après-guerre, le port du Havre reste trop cher, notamment du fait de la politique protectionniste de l'État (Thuillier 1986). Les transporteurs le désertent au profit d'autres ports français ou nord-européens ; d'autant plus que la concurrence internationale (décolonisation et marché commun) annonce la fin d'un

² Dès le début du XXe siècle, Le Havre compte un peu plus de 164 000 habitants (RP 1936).

³ Environ 123 000 habitants en 1936 (RP).

monopole (Lachiver 1959). Les bananes quant à elles « sont débarquées de navires norvégiens à Dunkerque en 1908, puis à Rouen en 1913 » (Foulquier 2015, p. 269). S'y ajoutent le cacao, ainsi que divers autres produits exotiques qui sont réexpédiés dans la région, vers Paris, dans toute la France, voire en Europe.

À l'inverse, la région bas-normande mobilise peu ses ports pour les échanges commerciaux : « inéluctablement, « [la Manche, comme le reste de la région] opta pour un développement plutôt autocentré » (Dasi, 2013, p. 134). En effet, historiquement, les ports bas-normands sont liés à la modernisation de fortifications médiévales : des activités militaires ou de défense s'y sont développées.

3. Industrialisation, mondialisation, sectorisation: un système ouvert

À partir des années 1960, plusieurs facteurs vont provoquer une transition majeure dans le régime que nous venons de brosser à grands traits, conduisant à l'émergence d'un nouveau régime qui atteindra son point culminant dans les années 1980.

Après la guerre, la population normande reprend son essor, et dépasse son niveau de 1851 en 1968 (2 758 000 habitants) (Figure 1). Depuis, cette croissance ne se dément pas. La Seine-Maritime, l'Eure, le Calvados, tirent leur épingle du jeu, tandis que les populations de la Manche et de l'Orne croissent très lentement. Cette population est de plus en plus urbaine et de plus en plus étalée. Les unités urbaines (commune ou ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (au plus 200 mètres entre deux constructions) qui comptent au moins 2 000 habitants) voient leur population et leur surface augmenter. À titre d'exemple, l'unité urbaine de Rouen compte 15 communes et 246 400 habitants en 1954 (Lamblin et Theys, 2003), 29 communes et 379 900 habitants en 1982 (INSEE, 1983, p. 86). Le déclin de la population rurale se confirme dans un premier temps. Cependant, la périurbanisation, engagée dès les années 1970, prend une ampleur telle qu'elle conduit à une diminution de la part de la population urbaine (qui augmente en valeur absolue jusqu'en 2007), si on l'assimile à celle des unités urbaines telles que définies ci-dessus par la continuité du bâti (Figure 4) : de près de 68 % en 1975, elle passe à 66 % en 1990 et 62 % en 2012 pour l'ensemble de la région. Désormais, les couronnes périurbaines accueillent l'essentiel de la croissance urbaine : les sols connaissent la même destinée que les autres ressources non renouvelables. L'essor des activités touristiques conforte ce processus.

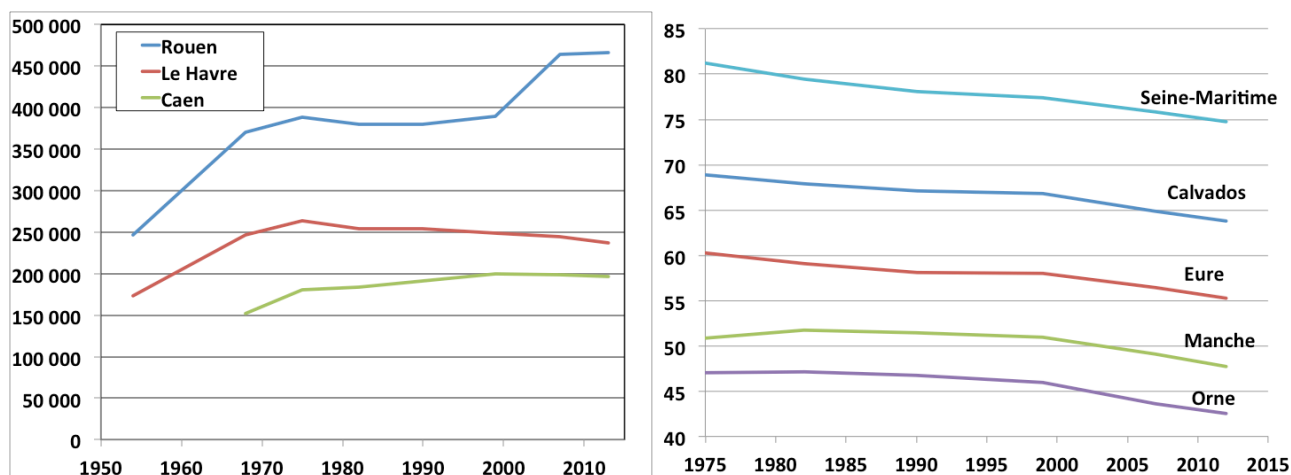


Figure 4. Evolution de 1954 à 2013 de la population des unités urbaines de Rouen, Le Havre et Caen (à gauche). Part en % de la population départementale résidant dans une unité urbaine, Normandie, 1975-2012 (à droite).

La deuxième révolution agricole des temps modernes et ses prolongements

Les progrès techniques dans les secteurs agricoles, agrochimiques et logistiques annoncent la deuxième révolution agricole des temps modernes (Mazoyer et Roudart, 2002) qui se traduit par une spécialisation, souvent monoculturelle⁴. Les effets de cette deuxième révolution agricole, largement encouragée si ce n'est provoquée par loi d'orientation agricole de 1960 et la première version, en 1962, de la politique agricole commune (PAC) se font réellement sentir en Normandie à partir des années 1970. La croissance économique forte des années d'après-guerre est une caution pour la politique agricole nationale de spécialisation des régions : l'État consacre la remise sur pied de l'agriculture normande à l'approvisionnement de tout le territoire national. Mais l'activité agricole décline à l'échelle régionale car les actifs du secteur sont de moins en moins nombreux et les reprises d'exploitations enregistrent un ralentissement (Sieper, 1996). Ce sont les effets de la deuxième révolution agricole (augmentation de la productivité par les intrants chimiques et la motorisation), mais aussi les conséquences de l'élévation du niveau d'instruction et de l'exode rural qui nourrit la croissance urbaine.

Evolution 1975-1988

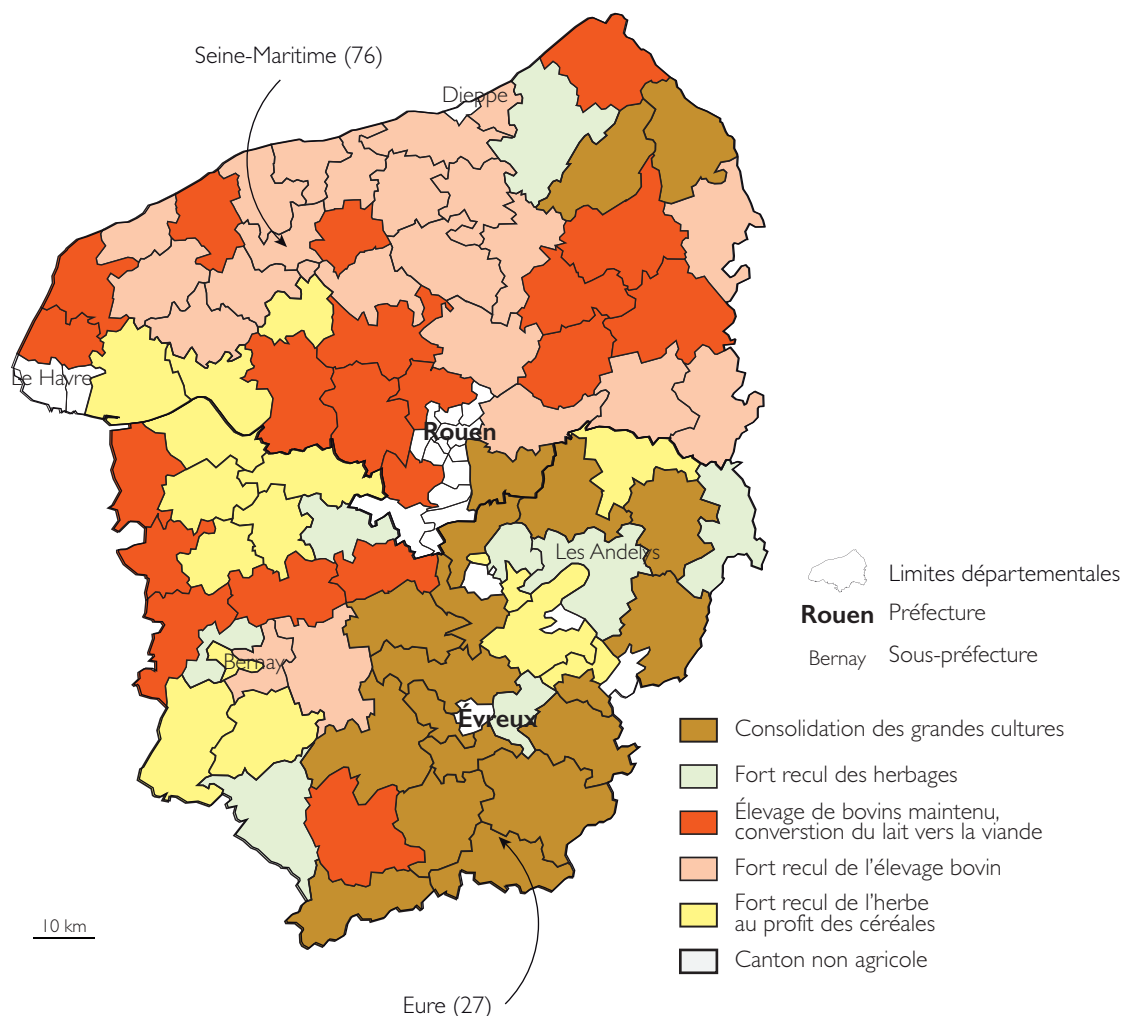


Figure 5. Typologie cantonale du paysage agricole haut-normand entre 1979 et 1988. Évolution de l'orientation technico-économique des exploitations selon la surface agricole utilisée.

Source : Fruit, 1991, p. 87 – Réalisation S. Bognon, 2015.

⁴ L'objectif est de faire correspondre au maximum les capacités productives des terres arables d'un territoire avec les opportunités des marchés vers lesquels leurs productions peuvent être vendues.

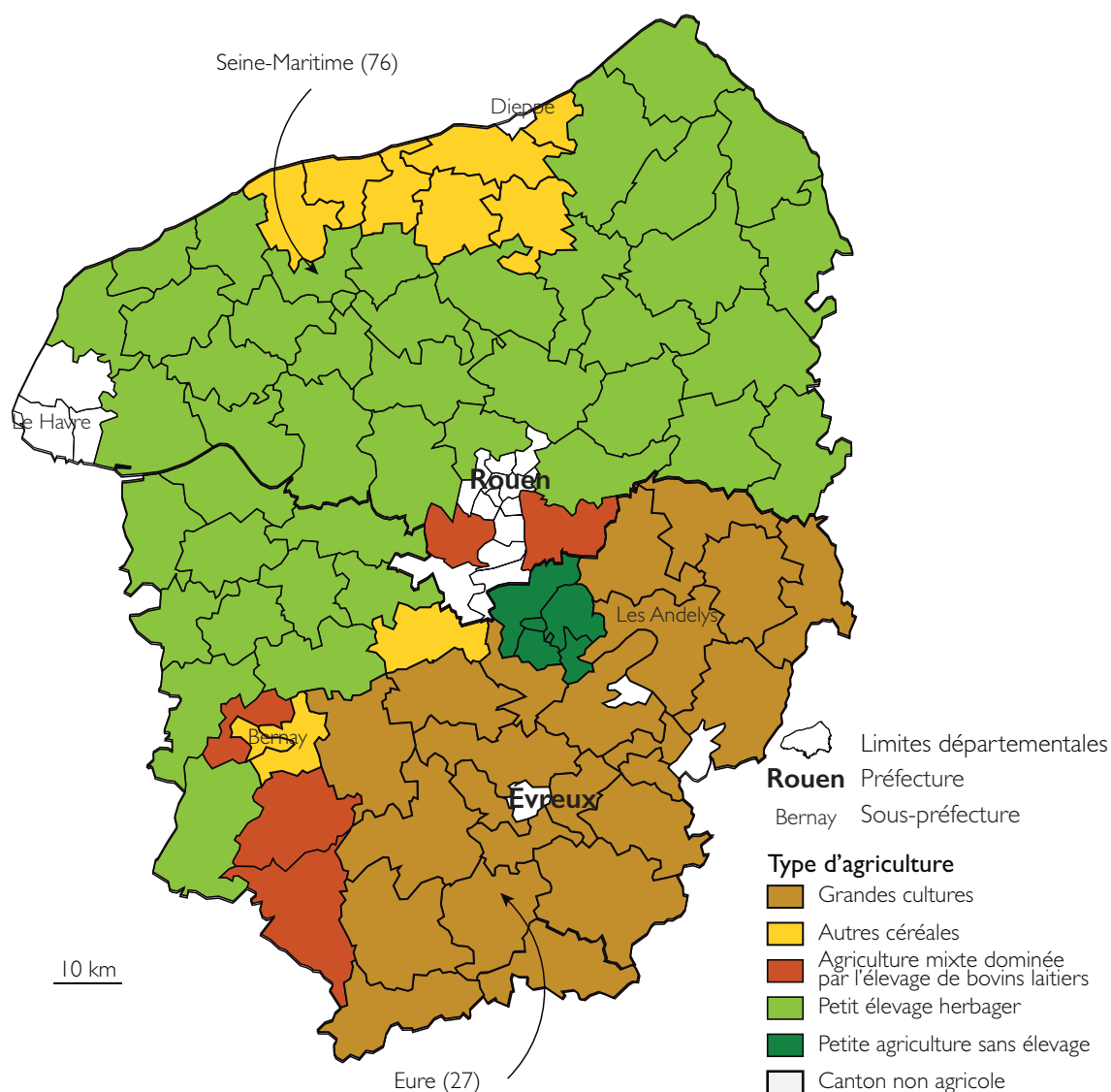


Figure 6. Paysage agricole haut-normand en 1988. Orientation technico-économique des exploitations selon la surface agricole utilisée dans chaque canton.
D'après (Fruit 1991), p. 80 – Réalisation S. Bognon, 2015.

Alors que la part du secteur agricole continue de décliner dans l'économie régionale, la spécialisation céréalière et bovine s'affirme (Figure 5) : d'une agriculture fermière destinée au marché régional et parisien, le tissu rural haut-normand tend à une production tournée vers l'exportation. Ainsi, les cultures de subsistance et destinées aux pôles urbains normands (maraîchage et polyculture) s'amenuisent, de même que le couplage entre polyélevage et cultures fourragères se perd.

À la fin des années 1980, une ligne de partage recoupant presque les frontières départementales de l'Eure et de la Seine-Maritime sépare le sud haut-normand céréalière, et le nord dynamisé par l'élevage bovin (figure 6). Les herbages reculent, tandis que l'élevage bovin est dorénavant orienté par une vocation laitière :

« [L'augmentation des rendements laitiers est due aux] progrès génétiques : on avait des vaches qui faisaient 3 000 litres de lait par an, maintenant on a des vaches qui font 7 000-8 000 litres de lait par an. Les exploitations laitières sont plus grandes. Il y a dix ans on avait en moyenne 35 vaches par troupeau, aujourd'hui on en a en moyenne 55 par troupeau » (Entretien n° 11).

En Basse-Normandie, il semble qu'une transition soit également repérable dans les années 1970-80 (autour du recensement agricole de 1979) : comme en Haute-Normandie et dans le reste de la France, depuis les années 1970, le nombre d'exploitations n'a cessé de décroître. La Manche devance toujours l'Orne et le Calvados (dont l'activité agricole reste la plus faible depuis 1970 mais dont la chute du nombre d'exploitation est la moins importante) (Agreste Basse-Normandie, 2012). Aux dires de l'une de nos interlocutrices (Entretien n° 5), une des caractéristiques de la Basse-Normandie, et de la Manche en particulier, explique la petite taille et le nombre relativement faible des exploitations maraîchères : le territoire bas-normand est maillé finement et depuis longtemps par une structure commerciale de taille réduite (coopératives et négociants), les maraîchers sont donc en lien direct et pour de petites quantités avec les commerçants et les consommateurs.

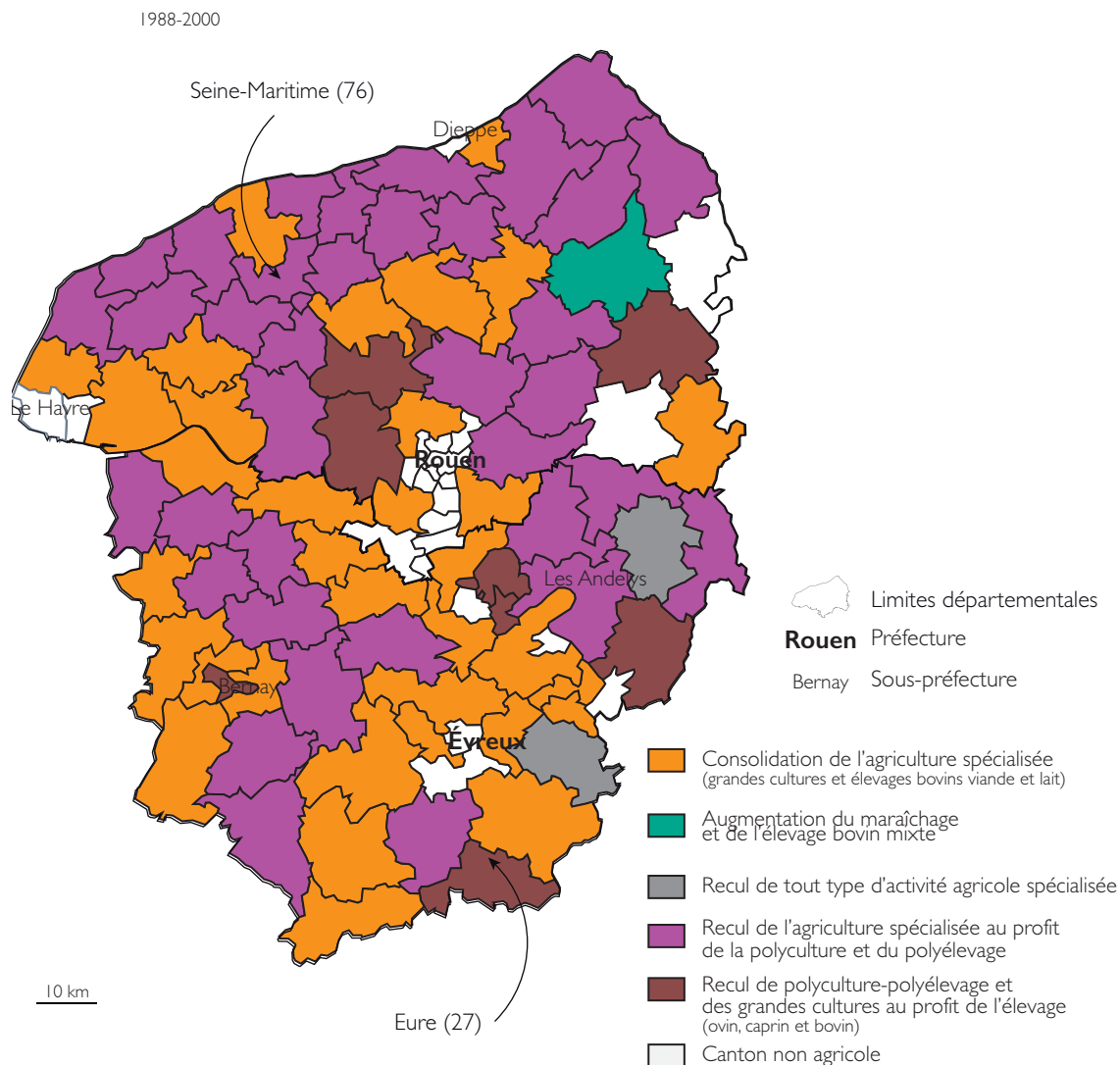


Figure 7. Typologie cantonale du paysage agricole haut-normand entre 1988 et 2000. Évolution de l'orientation technico-économique des exploitations selon la surface agricole utilisée.

Source : AGRESTE RA 1988 et RA 2000 – Traitement et réalisation S. Bognon, 2015.

Cependant on note, depuis les années 1980, le recul de l'agriculture en Haute-Normandie, au profit d'autres occupations du sol (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie 2013) et en particulier du fait de l'urbanisation. Les activités touchées sont principalement les fruits et cultures permanentes, les bovins laitiers et mixtes, les élevages porcins, la polyculture et le polyélevage ; tandis que continuent progresser les cultures céréalières et l'élevage d'autres herbivores (figure 7).

« [Dans les années 1990], c'était globalement les mêmes productions, il y en avait d'autres, qui ont presque disparu, on faisait beaucoup de pois fourragers dans la région. [Cette production est réduite à presque rien] parce que les agriculteurs trouvent que c'est une production risquée, compliquée à faire et les rendements sont rarement au rendez-vous dans la région, et puis les prix ne sont pas très attractifs [...]. Le pois n'est pas une culture qui est très adaptée à nos régions un peu septentrionales, il pleut beaucoup, c'est difficile à récolter, il y a beaucoup de maladies. Mais en termes écologiques c'est dommage, parce que le pois a des vertus sur les sols, ça enrichit les sols en azote sans mettre d'engrais, ça permet de rendre les rotations de cultures un petit peu plus performantes d'un point de vue environnemental, ça favorise la biodiversité, et surtout ça permet d'avoir une autonomie alimentaire, fourragère plus importante [...] » (Entretien n° 11).

« Il y a un recul de l'élevage au bénéfice des systèmes des grandes cultures même si les volumes produits restent identiques. Cette évolution peut s'expliquer par le fait que l'élevage est beaucoup plus contraignant (réglementation, charge de travail) et par l'évolution [favorable] des marchés des céréales au cours de ces dernières années » (Entretien n° 8).

Par ailleurs, le mitage péri-urbain conduit à l'enchevêtrement des tissus urbains et ruraux productifs : ainsi en Haute-Normandie, « plus de la moitié des exploitations agricoles sont situées dans le périmètre des aires urbaines. Celles de Rouen et du Havre recoupent une zone qui, du Pays de Bray à la Pointe de Caux, concentre la plus forte densité d'exploitations. Ces deux aires urbaines recouvrent le quart des terres agricoles de la région » (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie 2013, p. 8).

L'industrialisation agro-alimentaire

À partir des années 1960, l'État soutient le développement des industries agro-alimentaires⁵, en particulier dans le contexte de décolonisation et de construction européenne qui accompagne l'ouverture de nouveaux marchés. Ainsi se développe une approche de la filière définie comme une « succession d'opérations sur le produit et de liaisons entre acteurs de branches différentes » (Rastoin et Bouquery, 2012, p. 13). À la suite de cela, est créée en 1968 l'Association nationale des industries agricoles et alimentaires, institution sous tutelle du ministère de l'Agriculture ayant vocation à développer le secteur. Des développements technologiques accompagnent aussi son essor : « les réseaux d'entrepôts et de transport frigorifiques deviennent essentiels dans tout le pays. L'intégration verticale entre commerces de gros d'approvisionnements ou collectes agricoles et première transformation industrielle se développe, en particulier à travers les coopératives, ainsi qu'entre premières transformations et préparation alimentaires » (Rastoin et Bouquery, 2012, p. 12).

En Normandie, les améliorations techniques agricoles de production laitière, et technologiques en matière de transformation et de conservation des produits ont permis d'accroître les débouchés : « les produits laitiers normands débouchent sur un marché de consommation national où l'agglomération parisienne et la Normandie elle-même jouent un rôle dominant. La part des exportations augmente certes, et les transformateurs abordent dès les années 1960 la conquête du marché européen » (Ibid, p. 145). Dans ce contexte, la fabrication fermière de produits laitiers disparaît au profit de la concentration de cette production dans les industries agro-alimentaires. Dans les années 1970, s'opère une concentration des entreprises de production de marques commerciales individuelles en marques nationales qui gagnent en parts de marché par l'essor de la publicité (Bridel, Président, etc.). Dans la production fromagère, cette concentration « redonne la primauté à la Normandie [...] [même si] quatre ensembles [productifs] demeurent : la Basse-

⁵ Loi n° 60-808 du 5 août 1960 d'orientation agricole et loi n° 62-933 du 8 août 1962 complémentaire à la loi d'orientation agricole.

Normandie, élargie aux confins du Maine et de la Bretagne, les Pays de la Loire, le Poitou-Charentes et la Lorraine » (Dionnet, 1987, p. 114). Ainsi, sept groupes laitiers dominant la filière normande depuis les années 1970 (parmi lesquels existent encore aujourd'hui Nestlé, Gloria, Gervais), tandis que les entreprises traditionnelles (fermières) périclitent et que les coopératives – établies à proximité des bassins de production – se maintiennent tant bien que mal dans le bas de la hiérarchie économique du secteur. L'industrialisation de la production fromagère est indiscutable à partir des années 1970-80, quand les entreprises entrent dans les circuits mondiaux de l'économie alimentaire (Concato et Thuillier 1980). La Haute-Normandie est alors au deuxième rang des régions françaises pour l'accueil d'entreprises agro-industrielles à participation étrangère (surtout européenne). Hors énergie et à l'échelle nationale, Le Havre accueille les sociétés à participation étrangère réalisant 40 % des importations nationales (dont 55 % des produits agricoles et alimentaires) et 18 % des exportations (dont 58 % des produits agricoles et alimentaires) (Ibid.).

Dans les années 1990, le secteur agro-industriel renforce son caractère incontournable de la région haut-normande et continue de transformer les productions agricoles bas-normandes.

« On est la première région française pour la fabrication du chocolat : avec Ferrero on fait le tiers du chocolat Français. On a aussi de grosses boîtes type Barry Callebaut qui est le premier chocolatier mondial, c'est un groupe suisse qui a une de ses plus grandes usines dans la région, qui traite de la fève de cacao brute. [...] Ces produits sont ensuite dispatchés dans toute la France dans les magasins qui en ont besoin » (Entretien n° 11).

Plus globalement, la Normandie suit la tendance nationale tendant à rendre ce secteur de plus en plus indépendant de la production agricole : successivement Association nationale des industries agricoles et alimentaires, puis Association nationale des industries agro-alimentaires, en 2000, l'institution responsable des entreprises du secteur devient Association nationale des industries alimentaires, marquant ainsi dans son nom l'autonomisation de ces acteurs vis-à-vis du secteur agricole (Rastoin et Bouquery, 2012).

La transformation des circuits de commercialisation

De pair avec les commerçants, les pouvoirs publics cherchent à renforcer les opportunités commerciales pour la vente des productions normandes. La Basse-Normandie semble avoir très tôt suivi le chemin de l'exportation extrarégionale pour ses productions bovines : déjà en 1963 et contrairement à la Haute-Normandie (à l'exception de l'Orne), les bêtes étaient vendues dans les foires et marchés plus qu'à la ferme : « les marchands et des éleveurs des autres régions françaises, et notamment des régions d'embouche, assistent régulièrement à ces [foires]. Les expéditions s'effectuent par la route ou par des « trains de foire » spécialement organisés par la S.N.C.F » (Frémont, 1967, p. 75). Les marchés de gros constituent dès lors l'armature commerciale des échanges agricoles et agroalimentaires. Chacun « se caractérise par une orientation particulière. On peut cependant les classer en plusieurs types. Les marchés d'approvisionnement des grandes villes (Rouen et Le Havre surtout, en Basse-Normandie Cherbourg, mais non pas Caen) occupent naturellement une place particulière par leur importance, leur organisation, les agents qui y travaillent : les marchands y négocient avec les chevillards ; les producteurs n'y accèdent pas. Au sommet de la hiérarchie, [...] la Villette se présente comme le plus gros marché de chacun des départements normands, à l'exception de la Seine-Maritime où les tonnages de Rouen l'emportent. Les autres marchés sont surtout des places d'expédition » (Frémont, 1967, p. 80). Ainsi, trois marchés structurent les échanges à Caen, au Havre, et surtout à Rouen.

Dans les années 1960-70, la croissance urbaine et périurbaine conduit à l'exigüité progressive des sites des deux marchés de gros de Rouen et du Havre. À Rouen, le décret n° 53-959 du 30 septembre 1953 tendant à l'organisation d'un réseau de marchés d'intérêt national (MIN) concerne un

périmètre de 24 communes et instaure le transfert du marché de gros historique⁶ (le Vieux Marché) du centre-ville à une zone péri-urbaine. Le nouveau site du MIN est choisi par arbitrage des élus qui font primer la connexion du futur marché aux infrastructures de transport ralliant le littoral et la capitale, près de l'ancienne barrière d'octroi : « la construction du marché-gare [...] extra muros [permet] [...] de supprimer les halles de fonte ainsi que le pavillon construit en 1929 » (Robinne, 1966), p. 2). Le surveillant du MIN de Rouen explique d'ailleurs la préférence donnée au site rouennais plutôt qu'à celui du Havre pour établir le marché de gros normand principal :

« Nous, c'était au niveau de la distribution, c'était pratique, à proximité du port et de l'autoroute de Paris, et des voies de chemin de fer à l'époque. À la construction, on traitait à 80 % avec les voies ferroviaires, aujourd'hui plus du tout ; tout ce qui est Europe par voie routière, tout ce qui est étranger, par avion ou bateau). [...] Voyez, à l'époque tout était à proximité : l'autoroute et le port. C'est idéal. Et en plus c'était un terrain libre ! Pour décongestionner le centre-ville, ils ont décidé de le mettre à l'extérieur, parce qu'avant tout se faisait à la charrette » (Entretien n° 3).

Le MIN de Rouen est donc conçu comme un marché de gros régional d'importation : c'est une centralité commerciale forte du nord-ouest qui, en lien avec les MIN des régions proches (Rungis, et dans une moindre mesure ceux de Lille et Rennes), contribue à l'affluence de produits extérieurs – à l'instar de la banane (cf. annexe transversale) – dans les commerces nationaux et étrangers.

Au Havre, suite à la destruction d'une grande partie du centre-ville à la Libération, le marché de gros est transféré d'abord à proximité du Parc des Expositions, puis, en 1969, près de la zone portuaire. Mais cette place ne peut se maintenir dans la hiérarchie commerciale régionale. Sa gestion est purement municipale et son aire de chalandise est restreinte aux abords de l'agglomération : sa vocation est donc l'approvisionnement urbain local et à ce titre, le marché de gros du Havre conserve, assez tardivement, un certain monopole dans la commercialisation des productions fruitières et légumières (Muller, 1972).

À Caen jusque dans les années 1940, le marché de gros était en centre-ville : boulevard Leclerc, il était une foire de commercialisation des productions locales. Pour les mêmes raisons qu'au Havre et à Rouen, il est déplacé, provisoirement pensait-on, au bassin Saint-Pierre en 1967, et reste donc dans la zone portuaire. Il était question d'en faire le « premier marché de France » (Muller, 1972) mais n'étant pas relié par le rail et trop excentré par rapport à Paris, il demeure un marché d'éclatement, qui redistribue les productions arrivant au port vers des régions hors Normandie et pour des clients extérieurs à la région caennaise, mais peu vers Paris.

Ni les productions normandes abondantes ni le trafic fluviomaritime⁷ ne justifient longtemps le maintien des trois marchés historiques (Rouen, Le Havre et Caen). Ceux-ci ont été pensés pour des volumes d'échanges importants, sans prévoir les mutations de l'appareil commercial. Aussi, « à peine la moitié de la consommation normande [de fruits et légumes] passe par les trois marchés, le reste étant commercialisé soit par les [...] commerces associés et intégrés soit par des ventes directes du producteur au détaillant ou au consommateur (marchés hebdomadaires, ventes à la barrière importantes en Seine-Maritime). Ainsi, la concurrence n'est pas entre les marchés eux-mêmes, mais entre ceux-ci et les circuits hors marché » (Muller, 1972, p. 54). Tout de même, se substituant

⁶ De grands débats politiques ont lieu à propos du devenir de la place du Vieux marché et du site à venir du MIN de Rouen : certains veulent y faire ériger un monument national à la gloire de Jeanne d'Arc, tandis que d'autres y projettent, moins passionnément et plus en accord avec l'histoire sociale du site, la construction d'un centre commercial ou d'un marché de détail. Ce type de débat est courant (Goudeau, 1977) : « le transfert des halles centrales de Paris ne pose-t-il pas un problème identique sur une échelle combien plus étendue ? » (Robinne, 1966, p. 4).

⁷ Dans les années 1970, Dieppe est le premier port bananier et le deuxième port fruitier de France, tandis que Le Havre et Rouen sont respectivement troisième et quatrième en termes de flux fruitiers à l'échelle nationale (Muller, 1972).

progressivement aux foires et cherchant un créneau économique porteur, les marchés de gros deviennent destinataires (figure 8 et tableau 3) et non plus réexpéditeurs – ce rôle étant dorénavant assuré par le MIN de Rungis dont le site proche de la capitale en fait une plateforme internationale incontournable.

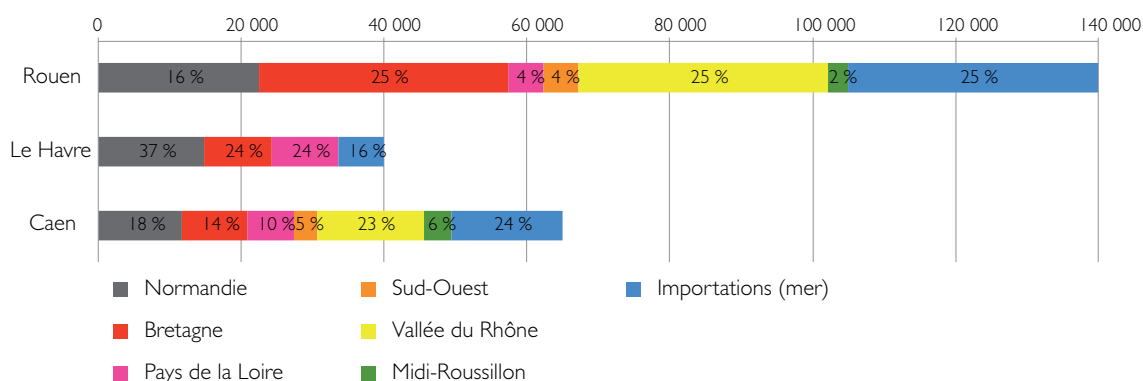


Figure 8. Provenance des denrées vendues (en tonnes) sur les marchés de gros normands en 1969
D'après Muller, 1972, p. 55 – réalisation S. Bognon, 2015.

Tableau 3. Part des volumes par destinataire de vente dans les marchés de gros hauts-normands en 1969

	Vente aux « gros porteurs »	Ventes aux détaillants	Ventes à d'autres clients
Rouen	45 %	50 %	5 %
Le Havre	3 %	94 %	3 %
Caen	55 %	37 %	8 %

D'après Muller, 1972, p. 62.

L'objectif est d'attirer des marchandises de toute la France pour alimenter les citadins normands : la centralisation de ces importations (fluviomaritimes et routières) a vocation à rationaliser l'approvisionnement urbain. Même si à leur reconstruction, les marchés du Havre et de Caen étaient planifiés pour devenir des MIN⁸, quelques années après leur installation les volumes qui y sont échangés sont modestes comparés à ceux de Rouen. Caen est un marché d'approvisionnement pour la Basse-Normandie : les produits halieutiques y sont concentrés (24 % des volumes) et presque deux-tiers des produits vendus sont importés des régions françaises. Le Havre est un marché de redistribution des productions locales (pour plus d'un tiers des volumes), de celles des régions limitrophes (presque la moitié des volumes) et des produits importés. Rouen s'affirme donc comme une plateforme d'échange incontournable, à la fois marché de redistribution (plus d'un tiers des volumes sont des productions normandes et des importations faites par le port) et d'approvisionnement pour les citadins (le reste des volumes concerne les productions bretonnes et des productions françaises relativement lointaines).

⁸ L'État comptait faire de Caen le « premier marché de France » (Muller, 1972, p. 50)

Encadré. « Les bananes [...] elles mûrissent à Rouen »⁹ : du début du 20^{ème} siècle à nos jours

« Au commencement, il y avait la banane. L'histoire des circulations maritimes de fruits est indissociable de celle de la banane et des multinationales intégrées [...]. [...] Les premières exportations partent de Cuba dès 1866, à destination de New York, Boston, puis Philadelphie. Le modèle économique qui fonde le succès de la banane est simple : vendre peu cher, mais en grande quantité et le navire est l'outil indispensable pour le mettre en œuvre. [...] en France, elles sont débarquées de navires norvégiens à Dunkerque en 1908, puis à Rouen en 1913 » (Foulquier 2015, p. 269). C'est ainsi que Rouen devient un pôle européen majeur de la banane : le MIN investit dès sa création dans des mûrisseries.



NB. Il ne nous a pas été permis de photographier la salle de mûrisserie. Respectant la volonté de notre interlocuteur, nous ne faisons pas état du détail du procédé qui y est mis en œuvre.

Après presque un mois de traversée de l'Atlantique en bateau, les bananes sont entreposées dans des caves dont les conditions physiques sont contrôlées. Elles y subissent des variations de température, de pression, une adjonction d'éthyle et un refroidissement (Entretien n° 3). Arrivées à

⁹ La citation du titre est extraite de l'entretien n° 11. Ce récit reprend les réflexions d'Eric Foulquier (2015) que nous remercions : son travail nous permet d'expliciter un fait notable constaté sur le terrain rouennais.

maturité, elles sont conditionnées par des entreprises présentes au MIN exclusivement pour cette activité¹⁰ : préemballage et étiquetage sont effectués sur place. La grande distribution, cliente de ces entreprises, se paye même parfois la codification et la mise en rayon : les prix de vente au consommateur sont décidés à l'avance en fonction des saisons et des cours, mais aussi en fonction des variétés et de leur qualité (certifiées AB, commerce équitable, etc.), et sont renégociés deux fois par an.

« [Le modèle] est fondé sur l'expédition massive de fruits récoltés verts, conservés dans un état léthargique durant le parcours maritime, puis acheminés vers des mûrisseurs qui en libèrent le métabolisme afin d'en permettre la distribution vers le consommateur final. De telles unités permettent de décloisonner les productions tropicales et, à partir des années trente, les circuits d'acheminement des bananes se mettent en place à partir des principales zones de production. [...] Le développement de ces marchés [...] bénéficie en partie du soutien des États – en particulier coloniaux – soucieux de l'essor économique de ces terres éloignées. [...] [Par ailleurs, des] politiques de promotion des filières d'exportation prouvent le rôle clé de l'encadrement public dans le processus de mondialisation. Elles ont [...] participé de la normalisation logistique, notamment en termes de contrôle qualité » (Foulquier 2015, p. 270).

Jusque dans les années 1990, deux systèmes de commercialisation existaient : soit des multinationales géraient un marché privé ; soit les États organisaient le marché en « se déployant selon une géographie d'abord impériale, puis post-coloniale » (Foulquier, 2015, p. 270). Dans ce cas, des accords douaniers étaient passés entre les États producteurs et les États importateurs ; ces derniers favorisaient l'aménagement d'infrastructure de mûrissement et les gouvernements locaux des espaces récepteurs fondaient une partie de développement local sur cette industrie. En 1993 éclate une « guerre de la banane » (Chagneau et Reith, 1996) car, avec la mise en place du marché unique, l'Union Européenne cherche à protéger certaines zones de production situées à l'intérieur de sa zone d'influence (dans les territoires d'Outre-Mer ou dans les pays anciennement colonisés par des États de l'UE). Or les trois multinationales qui dominent le marché de commercialisation de la banane sont américaines (propriétaires foncier et acteurs du développement économique de nombreuses régions en Amérique Latine) et donc lésées : l'Europe est un débouché majeur mais l'interventionnisme communautaire les en prive. Des bananes finissent par arriver illégalement en Europe, bourrant les cartons dans lesquelles elles sont conditionnées ; tandis que les États-Unis sanctionnent d'autres exportations européennes sur leur sol. Fin 2009, le conflit ouvert s'apaise (sans se résoudre) avec un accord de l'OMC entre les États-Unis et l'UE visant à une convergence libérale : la seconde baisse graduellement les droits de douane et s'engage à soutenir financièrement les pays producteurs sous son aire d'influence pour ne pas qu'ils soient pénalisés par la concurrence latino-américaine, les premiers s'engagent à cesser leurs poursuites judiciaires.

Aujourd'hui, Rouen n'est plus le premier port importateur de bananes en France : pour faciliter l'accès des navires, le déchargement se fait dorénavant dans la Manche, au port de Dunkerque. Néanmoins, l'activité agro-industrielle de mûrisserie se maintient : les bananes arrivent dorénavant par camion depuis Dunkerque jusqu'au MIN de Rouen. Le marché a investi, au fil des ans et malgré les crises, dans des infrastructures tellement spécifiques qu'il est devenu un point de passage obligé pour la majorité des bananes qui arrivent en France.

Au même moment, le commerce de détail normand est touché comme partout en France par la révolution commerciale de la grande distribution. En Normandie comme dans tout le grand ouest français : « les villes et les communes péri-urbaines [sont sous] l'influence des supermarchés et hypermarchés, et celle-ci se [fait] alors davantage sentir sur le maillage des épiceries » (Soumagne,

¹⁰ À titre d'exemple, notre interlocuteur indique que l'entreprise Fruidor traite chaque semaine 160 tonnes de bananes (Entretien n° 3).

1996, p. 97). Dès la fin des années 1950 et avec plus de vigueur dans les années 1960, des promoteurs privés en lien avec les collectivités favorisent le développement des centres commerciaux de manière radiale autour des agglomérations. Ainsi, Carrefour (groupe Promodès) est le premier hypermarché haut-normand créé en 1973 au Mesnil Roux. Il sert de support au premier centre commercial de la région à Barentin, dans la périphérie de Rouen et se trouve à proximité d'un accès autoroutier (Lemarchand, 1992). Cela rompt avec la logique d'aménagement et de planification territoriale qui prévalait jusqu'alors : commerce et croissance urbaine s'articulaient selon une logique de concentration ponctuelle périphérique (Soumagne, 1996). Rouen a valeur d'exception puisque la valorisation des commerces centraux et faubouriens était au contraire une priorité de la municipalité dans les années 1970 (Lemarchand, 1992).

Notons au passage que le déclin des marchés havrais et caennais et l'installation du MIN de Rouen se déroulent concomitamment à cet essor de la grande distribution et montrent l'écart entre politique publiques et logiques commerciales. Les modalités d'approvisionnement de la grande distribution rendent les places marchandes traditionnelles progressivement obsolètes : les centrales d'achat offrent des gammes importantes de produits (et pas seulement des denrées brutes ou peu transformées) ainsi qu'une nouvelle commodité d'achat (les groupes commerciaux contrôlent une grande partie de la chaîne d'approvisionnement). « L'installation récente des grandes surfaces dont les sociétés propriétaires (Promodès, S.N.O.A.) achètent directement aux producteurs par grandes quantités, obtenant ainsi des prix avantageux qui se répercutent sur les prix de détail ; elles conditionnent elles-mêmes leurs produits, ce que ne font pas les grossistes des halles ; ce système réduit les manutentions, les frais qui en résultent et assure la rapidité de distribution nécessaire pour conserver la fraîcheur des denrées » (Muller, 1972, p. 53).

La grande distribution s'impose ainsi progressivement comme le modèle dominant du commerce de détail (Figure 9) – et régit aussi la manière dont sont gérés les flux alimentaires par le commerce de gros. Les commerces alimentaires de centre-ville déclinent¹¹ du fait d'une législation favorable à la grande distribution (Villermet, 1991), la polarisation linéaire des nouveaux centres distributeurs le long des axes routiers périphériques est aussi rendue possible par la motorisation accrue des ménages et le concomitant étalement urbain des agglomérations. Cet exode urbain des commerces alimentaires se poursuit mais se transforme. Les supermarchés s'installent dans une logique de densification de leur maillage du territoire, en partant des centres-villes et des communes de première couronne d'où ils évincent les épiceries et les magasins populaires. De manière plus générale, dans les grandes agglomérations comme à Rouen, des sociétés extra-régionales prennent position et opèrent de manière de plus en plus intégrée pour contrôler les circuits d'approvisionnement urbain (Muller 1972; Lemarchand 1992). Dans les agglomérations moyennes, de grands supermarchés de groupes indépendants s'installent, leur maillage du territoire normand n'est pas sans rapport avec la proximité géographique dont sont issues ces enseignes (E. Leclerc est landernéen, Intermarché est locarnot). Des coopératives de distribution tentent de s'implanter avec un succès plus mitigé (Soumagne 1996) : si les Coopérateurs de Normandie-Picardie¹² réussissent à dominer le paysage commercial régional dans les années 1980, leur succès dû à leur connaissance du territoire et à l'origine de ce groupe n'est que de courte durée puisque son concurrent Intermarché connaît une très rapide expansion dans la région, en suivant un modèle commercial similaire¹³.

¹¹ Sur les 38 commerces créés à Rouen en 1975, très peu relèvent du commerce alimentaire, et ceux-là sont majoritairement des enseignes de la grande distribution (Lemarchand, 1992).

¹² Coopérative de consommation basée à Grand Quevilly (76), fondée à la fin du 19^{ème} siècle et véritablement lancée avec l'ouverture en 1986 de l'enseigne Le Mutant, cette entreprise collective est aussi à l'origine de l'approvisionnement des enseignes du groupe U.

¹³ Le groupe choisit depuis sa fondation la proximité de l'approvisionnement, notamment en raison de l'activité essentiellement alimentaire du groupe : maillant le territoire national, quarante entrepôts et soixante sites industriels de transformation desservent les enseignes du groupe. Aujourd'hui ces unités sont spécialisées par

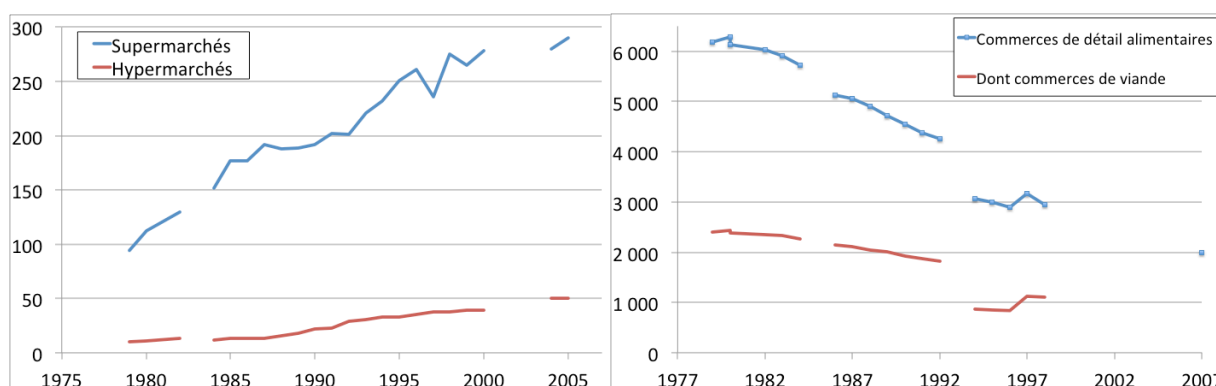


Figure 9. Évolution du nombre de supermarchés (surface de vente comprise entre 400 et 2 500 m²), hard discount compris, et hypermarchés (surface de vente supérieure à 2 500 m²) (à gauche) et de commerces de détail alimentaires (à droite), Haute-Normandie, 1979-2007. Source : TEHN.

La grande distribution a subi des aléas depuis les années 1980, mais, comme sur tout le territoire national, l'approvisionnement des ménages normands s'y fait en majorité. Des interventions du législateur ont freiné l'expansion urbaine de la grande distribution, au premier rang desquelles la loi n° 73-1193 du 27 décembre 1973 d'orientation du commerce et de l'artisanat qui réglemente l'urbanisme commercial et soumet à autorisation l'ouverture de grandes surfaces (de plus de 1000-1500 m², selon la démographie de l'agglomération). En outre, les centres-villes entament une phase de reconquête commerciale par la piétonisation : « Rouen est la première ville à rendre piétonne une de ses voies en 1972 [...]. Dans cette optique qui devait permettre d'éviter l'étouffement du centre, il était nécessaire d'affiner les activités proposées, de déplacer les ateliers industriels et dépôts des grossistes encore présents mais aussi de limiter l'importance du commerce banal dans le centre-ville » (Lemarchand, 1992, p. 77). Ainsi, en 1982, seuls 13 % des créations de commerces rouennais concernent le secteur alimentaire et en 1990, ce chiffre s'élève à 26 % mais le tissu intramuros est déjà bien maillé par la grande distribution et ces créations concernent des commerces de bouche et de proximité (épiceries indépendantes, boucheries, boulangeries principalement), mais aussi des formats de vente de la grande distribution adaptés aux nouvelles contraintes réglementaires (Lemarchand, 1992). En 1990, l'agglomération rouennaise compte huit hypermarchés, une soixantaine de supermarchés et quelques magasins populaires pour 450 000 habitants (Ibid.).

Simultanément, on constate l'internationalisation des ports haut-normands (Figure 10). À partir des années 1950-60, avec la décolonisation, Le Havre, qui dépendait jusqu'alors des denrées échangées avec l'outre-mer, trouve une reconversion économique dans les échanges de produits pétroliers et manufacturiers (Le Lay 1956). Néanmoins, la tradition des échanges de produits exotiques perdure et – contrairement à Marseille par exemple, qui a perdu cette vocation – Le Havre reste longtemps le premier port de débarquement pour le café (encadré). À Rouen, devenu le port régional préférentiel pour le commerce alimentaire, le développement du trafic céréalier est moins clairement marqué par la présence de sociétés à participation étrangère que par celle de courtiers et négociants locaux, en lien direct avec des multinationales basées à Paris ou à l'étranger (Ibid.).

type de produits et la tendance est à la mixité des centres d'approvisionnements afin de réduire globalement les coûts et les distances parcourues (Barles, Bognon, 2010).

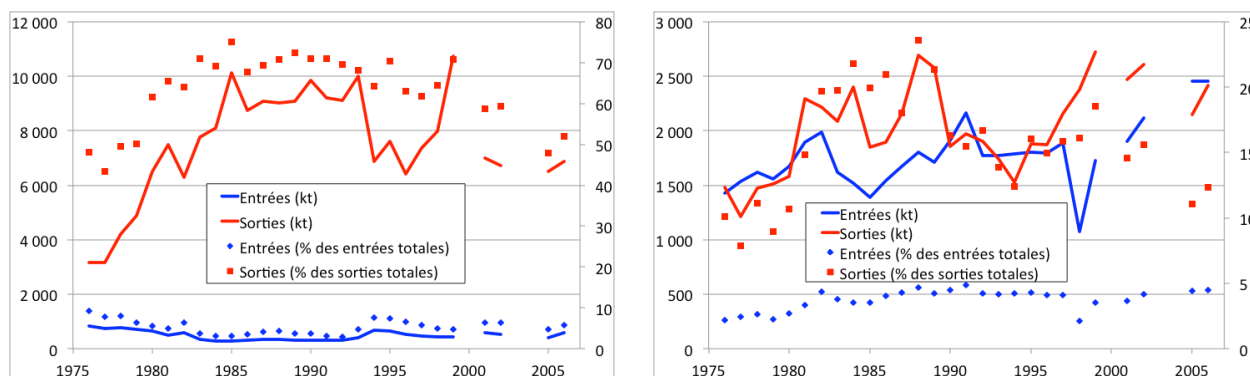


Figure 10. Trafic de produits agricoles et alimentaires dans les ports de Rouen (à gauche) et du Havre (à droite), 1976-2006. Source : TEHN.

Encadré : Le commerce du café au Havre, 1910-1990

Dans les années 1910, plusieurs centaines de négoce de produits tropicaux se situent au Havre (Thuillier 1986), mettant à profit la proximité de la capitale et l'interface portuaire pour atteindre aisément les marchés d'importation et d'exportation. Cette situation se maintient et jusque dans les années 1930-40, le port du Havre est le premier importateur de café en France et en Europe : « cette situation est due au fait que la France est, de loin, le premier consommateur de cette denrée sur le continent, et que le marché du Havre, organisé depuis plus d'un demi-siècle, jouit d'une réputation mondiale » (Lachiver 1959), p. 228). Après guerre, le Havre réduit quasiment de moitié sa contribution à l'importation de café en France. L'hinterland portuaire couvre néanmoins toujours tout le territoire national et s'étend jusque dans le Nord de l'Europe continentale et au Royaume-Uni. Sa desserte se fait majoritairement par le rail, mais aussi par la route et le cabotage (Ibid.). Cependant, et malgré sa rapide rénovation après-guerre, le port du Havre reste trop cher, notamment du fait de la politique protectionniste de l'État (Thuillier 1986). Les transporteurs le désertent au profit d'autres ports français ou nord-européens ; d'autant plus que la concurrence internationale (décolonisation et marché commun) annonce la fin d'un monopole (Lachiver 1959)). Toutefois, dans les années 1980, Le Havre occupe toujours « le premier rang français pour les importations de café, cacao, coton et autres produits tropicaux ; ce commerce a permis l'essor [...] [d']entreprises de négoce de dimensions importantes » (Thuillier 1986), p. 34). Cette inscription dans le temps long de l'économie locale du négoce de denrées exotiques en général et du café en particulier produit une spécialisation aujourd'hui mineure mais toujours présente : « là où le tissu commercial aurait pu paraître saturé, de nouvelles entreprises se sont créées de façon récente, pour profiter de la proximité des confrères et concurrents, ce qui se comprend facilement dans un domaine d'activité où l'information est un facteur de production essentiel » (Thuillier 1986), p. 34). Ainsi, le Havre reste une place nationale du commerce de café : pour l'exercice de l'année 1983, douze sociétés essentiellement importatrices abreuvent le marché national (Ruffini 1986). Leur maintien à la tête de ce marché est sans cesse défié par la concurrence des multinationales, implantées dans les ports normands, mais aussi par les ports franciliens (facilité d'accès au marché) et d'autres sites maritimes (Bordeaux et Marseille), qui intègrent toute la filière (importation, transformation et conditionnement, commercialisation) et ont donc des coûts d'autant inférieurs à ceux des seuls négociants, et qui se situent (Ibid.).

Jusqu'aux années 1970, Le Havre est marqué par une activité industrialo-portuaire florissante. Cette spécialisation est mise à mal par les deux chocs pétroliers, et plus récemment touchée par le départ de Pétroplus en 2013, qui était déjà une rustine dans un tissu économique entaillé par la désindustrialisation progressive du territoire (Frémont, 2013). À Caen, la fonction alimentaire du port était déjà moins marquée du fait d'un manque de synergie entre les activités portuaires et le

développement industriel (Raoulx, 1996). Même si la désindustrialisation a provoqué une légère reprise du commerce agro-alimentaire portuaire (Ibid.), la position périphérique des ports bas-normands dans la mondialisation du littoral français montre qu'« une conjonction de facteurs a favorisé des choix inverses à ceux qui auraient permis de maintenir à flot les économies littorales. L'État a peu investi, de faibles moyens ont été mobilisés et la dispersion des projets en a affaibli l'importance. [...] L'absence de pôles majeurs de consommation, de centres urbains attractifs, invitèrent finalement à contourner [la Basse-Normandie] » (Dasi, 2013, p. 133-134). Seul Rouen se maintient de manière significative dans les échanges agroalimentaires portuaires à l'échelle de la région – le site rouennais reste en retrait par rapport à Dunkerque pour certaines denrées (cf. annexe transversale) et surtout vis-à-vis des ports du nord de l'Europe. Néanmoins, récemment, des investissements ont été effectués pour le fret fluvial : étant donné l'importance des importations pondéreuses à Rouen (et dans une moindre mesure au Havre) et comme « le trafic de céréales joue un rôle-clé pour l'équilibre économique [...] le réseau hydrographique européen vient appuyer une politique d'exportation de productions agricoles devenues excédentaires durant le dernier tiers du vingtième siècle » (Beyer, 2015, p. 288). Ainsi, « à l'interface entre le transport fluvial et maritime, le port de Rouen, leader européen pour l'exportation du blé, réalise à lui seul 50 % des exportations françaises et 25 % des exportations de céréales de la Communauté » (Ibid., p. 289).

La transformation des circuits de commercialisation accompagne la privatisation du système alimentaire, qui échappe de plus en plus aux acteurs publics.

Des consommations alimentaires de plus en plus déconnectées

La multiplication des intermédiaires, l'internationalisation et l'industrialisation de la production alimentaire contribuent à éloigner production et consommation. Celle-ci évolue considérablement au cours du second XXe siècle (tableau 4, voir aussi le tableau 2). Bien qu'il n'existe pas de statistique fine permettant une différenciation régionale, on constate une homogénéisation de pratiques alimentaires – qui n'efface pas complètement certaines particularités locales. La consommation de viande augmente considérablement : + 47 % entre 1965 et 1985, au détriment du pain (- 46 %), des pommes de terre (- 58 %), des légumes frais (- 17 %). La part des aliments préparés augmente elle aussi : en 2006 elle représente, selon l'enquête nutritionnelle INCA 2, 25 % de la prise alimentaire des Français hors boisson¹⁴ (Lafay, 2009). En outre, la croissance des pertes et gaspillage augmente artificiellement la demande alimentaire.

Tableau 4. Consommations alimentaires à domicile, France, 1965-1985, kg/hab/an (INSEE, 1990).

	1965	1970	1976	1980	1985
Pain	84,32	66,33	55,7	48,57	45,71
Pâtes alimentaires	7,61	6,39	5,99	5,49	5,5
Riz	2,42	2,51	3,25	3,86	3,77
Farine de blé	3,82	3,5	3,85	4,16	3,4
Pommes de terre	95,21	79,55	60,72	55,5	40,05
Légumes frais	72,06	68,48	66,9	64,64	59,7
Légumes secs	2,44	2,13	1,41	1,47	1,14
Légumes surgelés			1,07	1,59	1,74
Agrumes et bananes	21,02	24,18	25,04	22,5	20,43
Autres fruits frais	36,94	37,24	40,51	40,55	36,81

¹⁴ En additionnant les rubriques suivantes : viennoiseries ; biscuits sucrés, salés et barres ; pâtisseries et gâteaux ; glaces et desserts glacés ; pizzas, quiches et autres pâtisseries salées ; sandwiches, casse-croûte ; soupes et bouillons ; plats composés ; entremets, crèmes desserts et laits gélifiés ; compotes et fruits cuits ; condiments et sauces ; aliments destinés à une alimentation particulière.

Fruits secs, séchés, à coque	1,38	1,5	1,88	1,4	1,14
Confiture	1,76	2,62	2,52	2,96	2,96
Viande de boucherie	20,93	21,99	23,41	23,14	21,68
dt Bœuf	12,7	13,48	14,87	14,19	13,16
dt Veau	4,83	5,36	4,74	4,33	3,83
dt Mouton, agneau	1,94	2,05	2,78	3,63	3,99
dt Cheval	1,46	1,09	1,02	0,85	0,6
Viande de porc	6,33	7,06	7,43	8,19	7,59
Jambon	3	3,59	4,14	4,61	4,28
Charcuterie	7,03	7,44	8,72	8,94	8,16
Conserves de viande				3,46	4,46
Volailles	12,17	12,2	13,44	13,82	13,24
Lapins	5,38	5,16	4,56	4,13	3,29
Gibier					
Œufs (unités)	169	168	170	178	165
Poissons, crustacés, coquillages	6,64	7,16	6,97	6,89	6,43
Lait frais	85,57	79,3	78	72,58	66,56
Yaourts, lait gélifié (unités)				78,31	107,48
Fromage	10,42	12,17	13,95	14,48	15,31
Beurre	8,82	8,68	8,53	7,19	6,32
Huiles alimentaires	11,8	12	11,6	10,62	8,87
Margarines et autres graisses végétales	1,92	1,64	1,53	1,71	1,88
Sucre	20,9	18,89	15,88	13,01	10,8
Chocolat et produits à base de chocolat	2,41	2,21	2,73	2,82	2,79
Vin	90,63	73,3	64,8	53,29	39,79
Bière	21,12	19,9	20,5	15,69	11,87
Cidre	12,99	10,6	6,5	4,39	2,22
Boissons non alcoolisées			21,1	17,23	18,49
dt eaux minérales			60,6	50,02	50,45
Café en grains	4,3	3,88	4,02	3,85	3,5

4. L'émergence de signaux faibles : vers la remise en question du système ? (fin des années 2000 - ?)¹⁵

Plusieurs signaux faibles interrogent l'avenir de la trajectoire dans différentes sphères du système agro-alimentaire.

En premier lieu, après l'apogée de la spécialisation agricole, la spécification distingue l'existence de ressources et d'actifs différenciants dans le développement du territoire. Organisés en filières dorénavant plus spécifiques, les acteurs proches sont plus clairement identifiés au sein du système

¹⁵ Pour plus de détails sur la période actuelle, se référer à l'annexe 3.

agro-alimentaire et donc mieux capables de se ressaisir face à une éventuelle crise. Cette dynamique de spécification est perceptible dans deux domaines : la certification de la qualité des productions par leur origine normande, l'essor (encore très relatif) de l'agriculture biologique.

Depuis les années 1990, une agriculture intégrant des critères environnementaux encourage la diversification des activités des exploitations : au tournant des années 2010, on constate l'expansion toute relative des productions certifiées par l'origine et pour leur caractère respectueux de l'environnement. La production en agriculture biologique concerne très peu de surfaces agricoles (3,3 % de la SAU des deux régions en 2015 selon l'Agence Bio), mais les productions fruitières et maraîchères se démarquent. Cela traduit une certaine praticité à la conversion pour les exploitations de cultures fragiles (Entretien n° 10), et à l'opposé, des cultures professionnelles liées à l'élevage et à la céréaliculture moins enclines et sensibles au passage à l'agriculture biologique (Entretien n° 29). Notons qu'en Basse-Normandie, l'agriculture biologique est plus développée. En surface et *a contrario* de ce qui se passe dans la région voisine, elle concerne d'abord les prairies productives et les céréales, mais aussi les productions animales (bovins et volailles) (Agreste Basse-Normandie, 2012). Néanmoins, rapportée à la surface agricole utile régionale, l'agriculture biologique reste très en dessous de la moyenne nationale (4,9% de la SAU). Cela s'explique d'une part par le relatif retard qu'a pris la région par rapport au reste de la France et d'autre part, par le faible maillage par des pôles urbains qui guideraient une demande locale (Entretien n° 21).

Les productions certifiées pour leur qualité (e.g. Label Rouge) ou pour leur origine (AOC, IGP) concernent tous les départements normands, mais le nombre d'exploitations concernées par ces certifications en Haute-Normandie reste faible malgré d'importants volumes (DRAAF Haute Normandie 2013). Cela semble s'expliquer d'une part par la multiplication des modes de certification (Entretien n° 1) ; d'autre part, parce que ces certifications sont parfois contournées par les agriculteurs qui, pour valoriser la qualité de leurs productions, s'orientent vers des canaux de commercialisation alternatifs aux certifications (Entretien n° 27). Au contraire, en Basse-Normandie et en lien avec la présence de polarités touristiques, la production de denrées sous signe d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) est importante. Ces productions y sont présentes avec une plus forte prégnance, et depuis longtemps (Entretien n° 11), en particulier du fait de productions emblématiques. De manière générale, les productions agricoles bas-normandes jouissent d'une notoriété auprès des consommateurs de la région et au-delà, des touristes et visiteurs.

La sphère agro-industrielle suit la demande amorcée par le secteur de la distribution d'une offre marquant l'origine géographique des produits transformés. Par exemple, initiée par les chambres consulaires, la marque commerciale Gourmandie s'attache depuis 2003 à valoriser des produits locaux selon trois critères : proximité (transformation et matières premières au maximum normandes), savoir-faire (valorisation des pratiques régionales de transformation agro-alimentaire) et saveur. Cette marque est surtout vendue par les enseignes de la grande distribution, secteur avec lequel la chambre d'agriculture travaille pour faire référencer les produits dans les catalogues de centrales d'achat régionales, mais aussi par les enseignes de détaillants non affiliés.

Le rapprochement spatial et cognitif entre producteurs et consommateurs est valorisé par l'essor des circuits courts et leur succès dans les pôles de consommation (grandes villes et littoraux touristiques). D'une part, AMAP et magasins de producteurs se développent depuis le milieu des années 2000. Ces nouveaux formats de vente rencontrent encore des obstacles : les surfaces agricoles consacrées aux produits directement consommables restent faibles et ne répondent pas en masse à une demande qui serait généralisée ; et les initiatives de ce type sont encore peu structurées, et gouvernées par les formes de commercialisation dominantes. Pourtant, notre enquête révèle que la conquête des canaux classiques de distribution (MIN et grande distribution) par les producteurs de proximité pourrait être une aubaine commerciale et un moyen efficace de réaliser une forme de reterritorialisation massive du système alimentaire. Des acteurs auxiliaires de

ces démarches se font jour : les syndicats agricoles, les associations telles que les Défis Ruraux, Interbio, les collectivités qui font appel à des groupements de producteurs (Entretien n° 10).

Par ailleurs, l'importance des marchés est notable dans les dépenses alimentaires des ménages de tous les types de communes. Malgré le fait que les acteurs rencontrés sur le terrain ne fassent pas état d'une augmentation de l'offre (que ce soit en nombre de tenues hebdomadaires ou en nombre de sites), la part des dépenses faites au marchés ou en vente directe augmente dans tous les types de communes en particulier en milieu rural et dans les grandes agglomérations (Budget de famille 2006 et 2011).

En parallèle et de manière transversale, la gouvernance du système agro-alimentaire semble transformée par les acteurs politiques et socio-économiques, de l'échelle nationale à l'échelle infrarégionale.

D'une part, la législation environnementale produit des effets. À l'échelle nationale, les programmes scolaires de l'enseignement agricole se transforment au profit d'une meilleure prise en compte de l'environnement dans les pratiques de production. Cela se traduit aussi par l'application au territoire de la PAC. La répartition des fonds alloués est décidée par la Région – par délégation de l'État –, guidée par les recommandations de la Chambre d'Agriculture. Celle-ci met en avant une volonté de développer l'activité, et donc de répartir les fonds sur le maximum de filières et d'exploitations tout en constituant un moyen d'orientation de la production vers des modalités plus vertueuses vis-à-vis de l'environnement (Entretien n° 10). De nombreuses actions sont en outre menées par les institutions régionales, par les collectivités locales, mais aussi par des acteurs parapublics et privés. Par exemple, la Chambre d'Agriculture mandate des missions de sensibilisation auprès des agriculteurs sur la préservation des ressources en eau (Entretien n° 8). De la même manière, depuis 2012, l'agglomération de Rouen attribue, avec les chambres consulaires et les services déconcentrés de l'État (DRAAF, Agence de l'Eau), des aides aux agriculteurs sur critères environnementaux, en particulier sur les mesures qui peuvent être prises à l'échelle de l'exploitation pour la protection de la ressource en eau (Entretien n° 24). Ou encore, depuis 1991, l'association Les Défis Ruraux, propose un accompagnement technique pour favoriser la réduction des impacts négatifs de l'agriculture sur l'environnement, mais aussi pour le maintien, le renouvellement et l'installation d'agriculteurs respectant ces principes (Entretien n° 12). En 2000, une coopérative agricole entreprend de dédier un de ses collaborateurs à une veille juridique concernant la réglementation environnementale. Ce volet de l'activité économique a été rendu nécessaire par l'amplification des réglementations et aussi pour satisfaire à la demande pressentie auprès de la clientèle (Entretien n° 15).

D'autre part, certains pouvoirs publics locaux se montrent particulièrement volontaires pour engager des formes de reterritorialisation. Citons par exemple, le revirement de la politique municipale de la ville de Rouen et du syndicat intercommunal d'approvisionnement de la restauration collective : depuis 2011, à la faveur d'une requalification des marchés publics et du retour en régie de la cuisine centrale, les ressources agricoles locales (de l'Eure et de la Basse-Normandie) sont mobilisées en priorité (Entretien n° 17).

Ainsi, les démarches valorisant ou imposant une réglementation favorable à l'environnement touchent essentiellement le secteur agricole et a des répercussions potentielles ou déjà effectives sur tout l'aval du système agro-alimentaire.

5. Conclusion

En un siècle, la Normandie a vu se succéder deux systèmes alimentaires qui accompagnent deux régimes socio-écologiques (voir rapport de synthèse). Le premier se caractérise par une optimisation des cycles biogéochimiques agricoles dans un contexte de dépopulation régionale et de croissance des besoins de la capitale auxquels il s'agit de répondre. Le second, qui monte en puissance à partir des années 1960, est marqué par l'industrialisation, la spécialisation et l'internationalisation de

l'agriculture normande, la sectorisation des activités, l'essor de la grande distribution qui accroît la distance entre consommateurs et producteurs et favorise la déterritorialisation de l'alimentation. Depuis quelques années, des signaux faibles sont détectables qui questionnent ce système dominant. Par certains aspects, ils semblent témoigner d'une ébauche de transition socio-écologique, mais rien ne dit que ces niches d'innovation (voire de contestation) seront à même de renverser le régime dominant, qui s'épuise pourtant, autant qu'il épuise la biosphère.

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date : 31 mars 2017

Le fonctionnement actuel du système alimentaire normand : entre régime dominant et signaux faibles

Sabine Bognon, Sabine Barles
UMR 8504 Géographie-Cités, Paris

NB. Les éléments théoriques, les méthodes mises en œuvre, ainsi que les références bibliographiques sont consultables dans l'annexe 1, qui vaut pour les annexes 2, 3 et 8.

1. Spécialisation agricole et signaux faibles de spécification

L'agriculture normande est marquée par une forte spécialisation, ayant cours et s'étant affirmée depuis les années 1960. En Haute-Normandie comme en Basse-Normandie, l'élevage (en particulier bovin) et les grandes cultures sont tout à fait caractéristiques du paysage agricole. Des nuances sont cependant visibles, encore récemment dans la vocation productive des terres normandes.

Si la spécialisation relativement indépendante des grandes cultures et de l'élevage bovin est un fait historiquement marquant de la Haute-Normandie, au début du 21^{ème} siècle, la polyculture et le polyélevage semblent regagner de l'ampleur tandis que les élevages bovins, s'ils demeurent en majorité à vocation bouchère, sont dorénavant aussi mixtes. Au début des années 2000, l'orientation technico-économique des exploitations reste marquée par des décennies de spécialisation laitière et céréalière.

« On est une région de grandes cultures et d'élevages, souvent associés d'ailleurs. [...] Si on prend les productions végétales régionales en termes de surface, la première production c'est le blé [devant le colza et l'orge]. [...] Après [...] c'est la région [française] la plus importante en termes de production de lin textile, on [en] fait plus de la moitié [en volumes]. [...] Ensuite viennent la betterave sucrière et la pomme de terre [...]. Ce sont des grandes cultures, sur des grandes parcelles, on a très peu de maraîchage [et de cultures fruitières]. [...] On a un troupeau de 130 000 vaches laitières, les trois-quarts sont en Seine-Maritime, dans l'Eure il y en a très peu, ils font beaucoup de céréales mais peu d'élevages laitiers » (Entretien n° 11).

Les cantons alentours de Rouen et du Havre n'ont pas d'activité agricole, et les cantons s'organisent en grappes spécialisées (figure 1) : alors que l'Eure et les alentours de Dieppe se consacrent aux grandes cultures, les cantons situés sur un segment est-ouest autour de Rouen sont dédiés à l'élevage.

Seine-Maritime (76)

Dieppe

Le Havre

Rouen

Les Andelys

Bermy

Evreux

Eure (27)

10 km

Limites départementales

Rouen Préfecture

Bermy Sous-préfecture

Type d'agriculture

- Grandes cultures
- Maréchage et céréales
- Élevage bovin (viande, lait et mixte)
- Élevage divers dominé par les bovins viande
- Polyculture, polyélevage
- Canton non agricole

Figure 1. Paysage agricole haut-normand en 2010. Orientation technico-économique des exploitations selon la surface agricole utilisée dans chaque canton.

Source : Agreste, RA 2010 – Réalisation S. Bognon, 2015.

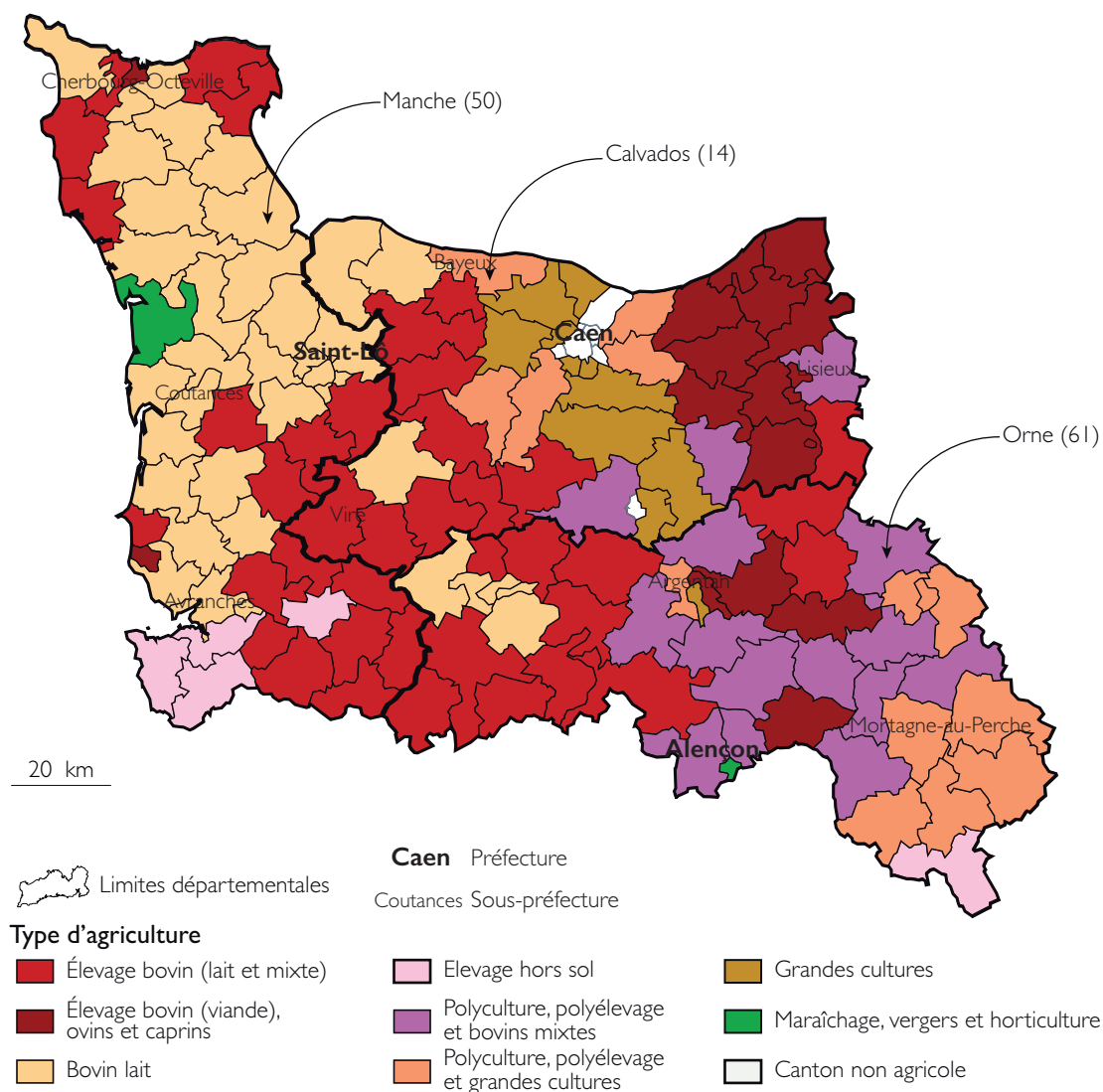


Figure 2. Paysage agricole bas-normand en 2010. Orientation technico-économique des exploitations selon la surface agricole utilisée dans chaque canton.
Source : Agreste, RA 2010 – Réalisation S. Bognon, 2015.

Des spécificités départementales se font jour. La Manche est dominée par l'élevage (à vocation laitière ou bouchère) et est encore marquée par la présence notable du maraîchage. Le Calvados est le département où l'urbanisation est la plus importante¹ mais allie élevage bovin et grandes cultures, ainsi que polyculture et polyélevage. L'Orne enfin est dominée par la polyculture et le polyélevage – même si ceux-ci sont accompagnés de pratiques spécialisées (élevage bovin et grandes cultures) – et l'un de ses cantons reste dominé par les cultures de fruits et légumes. L'élevage d'équidés est remarquable² : la région possède 13 % du cheptel national (métropolitain) et est donc la première (en nombre d'exploitations et en têtes) pour ce type d'élevage. Ce type d'élevage concerne les trois départements, avec une légère spécialisation : la Manche produit pour la boucherie chevaline et pour le travail agricole (trait), tandis que le Calvados est orienté par l'élevage de chevaux de selle

¹ Caen, chef-lieu du Calvados et préfecture régionale, est la ville la plus peuplée avec environ 111 000 habitants en 2011 (RP 2011).

² Dans le deuxième volume de sa thèse, A. Frémont démontre l'importance de ce type d'élevage qui, malgré un déclin notable depuis la fin des guerres napoléoniennes (et la baisse de la demande militaire) reste une caractéristique notable de l'agriculture bas-normande (Frémont, 1967b).

(loisir et course) et l'Orne est dominé par l'élevage de animaux de course (AGRESTE Basse-Normandie, 2012).

Si l'on compare Haute et Basse Normandie, la seconde montre une production agricole plus diversifiée que la première et il semble que le découplage observé en Haute-Normandie entre agriculture et élevage y soit moins marqué. Malgré la diminution globale de la SAU dans les deux régions, les surfaces allouées aux prairies permanentes et aux cultures fourragères représentent toujours deux-tiers de la surface en Basse-Normandie. Les grandes cultures représentent un peu plus d'un cinquième de la SAU bas-normande, et se répartissent surtout dans les zones limitrophes de la Haute-Normandie (Plaine de Caen). En outre, la Basse-Normandie reste un territoire agricole : malgré la perte de vitesse de cette activité, la région reste la deuxième la plus exploitée à l'échelle nationale après l'Alsace. Les exploitations sont de petite taille et pour les deux-tiers d'entre elles gérées en individuel.

Par ailleurs, des tendances récentes semblent tirer le paysage agricole vers une forme de spécification. Nous empruntons ce terme à une typologie du développement territorial formalisée en économie régionale et urbaine (Colletis et Pecqueur, 1996). Elle distingue l'existence sur un territoire de ressources et d'actifs (ressources mobilisées par les acteurs) génériques (non différenciantes) et spécifiques (particularité d'un territoire, non transposable ailleurs sans un coût élevé, facteur de dynamique économique). La mobilisation de ces ressources et actifs génériques et spécifiques peut conduire à un développement territorial relevant de la spécialisation : au delà d'une simple logique d'agglomération (la Normandie est un territoire marqué par sa ruralité et l'accumulation spatiale d'exploitations agricoles), la région regroupe des acteurs agricoles d'un même secteur, ils mobilisent des ressources spécifiques (les grandes cultures et l'élevage). La tendance à amorcée au début du 21^{ème} siècle relève plus de la spécification, c'est-à-dire de la combinaison de ressources spécifiques et d'actifs spécifiques qui permettent au territoire d'être réactif face à des avaries du secteur productif : organisés en filières dorénavant plus spécifiques, les acteurs proches, sont plus clairement identifiés au sein du système alimentaires et donc mieux capables de se ressaisir face à une éventuelle crise. Cette dynamique de spécification est perceptible dans deux domaines : la certification de la qualité des productions par leur origine normande, l'essor (encore très relatif) de l'agriculture biologique.

Depuis les années 1990, l'une agriculture intégrant des critères environnementaux encourage la diversification des activités des exploitations : au tournant des années 2010, avec l'expansion toute relative des productions certifiées par l'origine et pour leur caractère biologique. La production en agriculture biologique (AB) concerne très peu de surfaces agricoles (1,4 % de la SAU des deux régions selon le recensement agricole de 2010).

« L'agriculture biologique est très marginale en Normandie, on est l'avant-dernière région française pour la production biologique. Les derniers sont les Picards et encore, un coup c'est nous, un coup c'est eux. [...] En fait les premiers [producteurs en AB sont] les régions qui produisent des fruits et des légumes, parce que les fruits et les légumes bio c'est facile. Produire des céréales bio c'est possible mais il faut un marché structuré et organisé, il existe un marché structuré et organisé ici dans la région, (par exemple Biocer : une coopérative biologique pour des céréales bio), donc il y a bien un circuit mais ce circuit de la céréale bio est fortement concurrencé par la facilité à vendre des céréales à l'exportation et à des prix tout à fait intéressants » (Entretien n° 11).

En volumes, les productions laitières et bovines sont les plus importantes, tandis qu'en proportion des exploitations concernées, les productions fruitières et maraîchères se démarquent (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie 2010). Cela traduit une certaine praticité à la conversion pour les exploitations de cultures fragiles (Entretien n° 10), et à l'opposé, des cultures professionnelles liées à l'élevage et à la céréaliculture moins enclines et sensibles au passage à l'AB (Entretien n° 29). Ce succès limité de l'implantation de l'agriculture biologique semble dû aussi

à une méfiance, rencontrée à plusieurs reprises sur le terrain et que traduisent les propos d'un analyste institutionnel :

« D'abord, le bio ne peut pas nourrir la planète. Quand je vous parlais tout à l'heure des rendements d'une centaine de quintaux par hectares pour le blé, en bio c'est 35 ! On n'a pas de rendement parce qu'on booste pas les productions, c'est pour ça qu'on va chercher le bio en Roumanie. [...] On n'est pas à l'abri des accidents qui pourraient se passer. Moi j'ai un peu la trouille du bio. [...] Il y a une hypocrisie dans le bio. Si je parle par exemple de l'agriculture raisonnée, c'est vrai qu'ils n'ont pas le droit d'utiliser de substances pesticides et engrais à la culture, mais par contre ils vont avoir le droit d'utiliser des insecticides au stockage » (Entretien n° 13).

En Basse-Normandie, l'agriculture biologique est plus développée. En surface et a contrario de ce qu'il se passe dans la région voisine, elle concerne d'abord les prairies productives et les céréales, mais aussi les productions animales (bovins et volailles) (Agreste Basse-Normandie, 2012). Néanmoins, rapportée à la surface agricole utile régionale, l'agriculture biologique concerne moins de 3 % des terres. Cela s'explique d'une part par le relatif « retard » qu'a pris la région par rapport au reste de la France et d'autre part, par le faible maillage par des pôles urbains qui guideraient une demande locale (Entretien n° 21).

Les productions certifiées pour leur qualité (Label Rouge ; démarche Bleu, Blanc Cœur³) ou pour leur origine (Appellations d'Origine Contrôlée, Indication Géographique Protégée) concernent tous les départements normands, mais le nombre d'exploitations concernées par ces certifications en Haute-Normandie reste faible malgré d'importants volumes (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie 2013). Cela semble s'expliquer d'une part par la multiplication des modes de certification (Entretien n° 1) ; d'autre part, ces certifications sont parfois contournées par les agriculteurs qui, pour valoriser la qualité de leurs productions, s'orientent vers des canaux de commercialisation alternatifs aux certifications (Entretien n° 27).

Au contraire, en Basse-Normandie et en lien avec la présence de polarités touristiques, la production de denrées sous signe d'identification de la qualité et de l'origine⁴ (SIQO) est importante. Ces productions sont présentes avec une plus forte prégnance en Basse-Normandie (figure 3), et depuis longtemps (Entretien n° 11), en particulier du fait de productions emblématiques⁵ (tableau 1). De manière générale, les productions agricoles bas-normandes jouissent d'une notoriété auprès des consommateurs de la région et au-delà, des touristes et visiteurs. Cela est en partie du au travail de la Chambre d'Agriculture et du Comité Régional de Tourisme qui s'emploient de manière indifférenciée à la valorisation des produits de Haute et de Basse Normandie :

« La promotion des produits on l'a toujours faite pour les cinq départements, avec un axe Normandie. [...] Nous on est déjà Normands depuis... la chambre régionale d'agriculture a toujours été normande » (Entretien n° 1).

³ Citée dans l'entretien n° 1.

⁴ Nous ne traiterons ici que des productions normandes dont l'origine est garantie par labellisation. Il s'agit donc des Appellations d'Origine Contrôlée, des Appellations d'Origine Protégée et des Indications Géographiques Protégées. L'Institut National de l'Origine et de la Qualité (INAO), établissement public à caractère administratif français sous la tutelle du ministère de l'Agriculture, identifie trois autres types de SIQO : les Spécialités Traditionnelles Garanties (cautions d'une recette traditionnelle), la certification en Agriculture Biologique, le Label Rouge (qui garantit une qualité supérieure de produit).

⁵ À noter que les Moules de Bouchot de la Baie du Mont-Saint-Michel sont labellisées AOP pour la pêche effectuée en Ille-et-Vilaine uniquement.

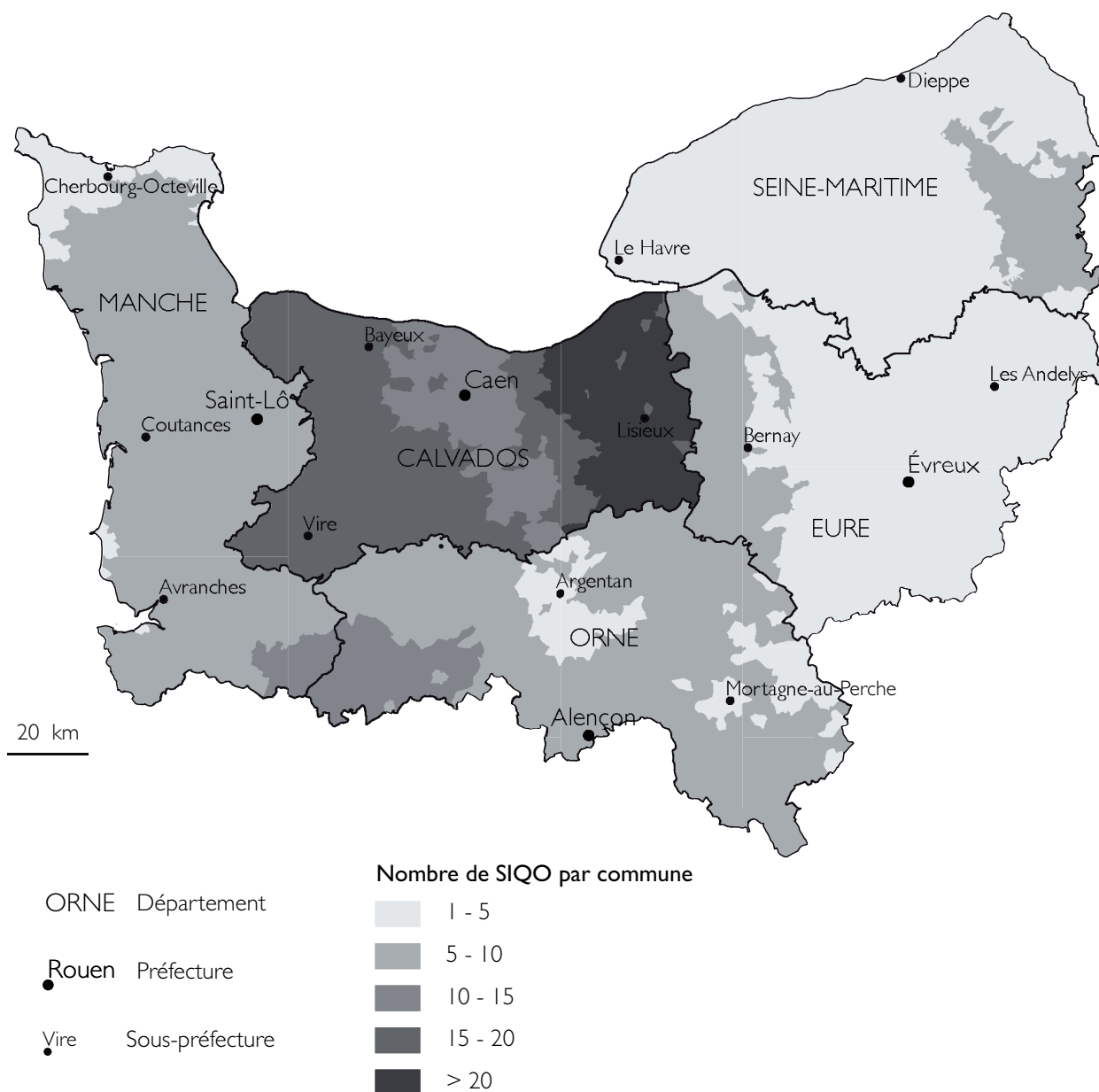


Figure 3. Présence de productions sous signe d'identification de la qualité et de l'origine dans les départements normands.

Source : INAO, 2016 – traitement S. Bognon, 2016.

Tableau 1. Part des communes concernées par des SIQO

	Basse-Normandie				Haute-Normandie		
	Calvados	Manche	Orne	Total tx moyen	Eure	Seine-Maritime	Total tx moyen
PRODUIT CARNE							
Porc de Normandie	100	100	100	100	100	100	97
<i>Prés-salés du Mont-Saint-Michel</i>	10	100	0	39	0	0	0
<i>Volaille de Normandie</i>	100	100	100	100	100	100	97
Bœuf du Maine	0	0	55	15	0	0	0
Volailles de Bretagne	0	5	0	2	0	0	0
Volailles de Houdan	0	0	0	0	3	0	2
Volailles de Janzé	0	6	0	2	0	0	0
Volailles de l'Orléanais	0	0	2	1	0	0	0
Volailles de Loué	0	0	15	4	0	0	0
Volaille du Maine	0	0	55	15	0	0	0
BOISSONS							
<i>Calvados</i>	66	67	74	69	27	10	17
<i>Calvados Blanc</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados Domfrontais</i>	0	5	34	11	0	0	0
<i>Calvados Grisy blanc</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados Grisy primeur blanc</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados Grisy primeur rosé</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados Grisy primeur rouge</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados Grisy rosé</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados Grisy rouge</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados Pays d'Auge</i>	30	0	10	15	3	0	1
<i>Calvados rosé</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados rosé primeur</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados rouge</i>	100	0	0	42	0	0	0
<i>Calvados rouge primeur</i>	100	0	0	4	0	0	0
Cidre de Normandie	100	100	100	100	100	100	97
<i>Domfront</i>	0	2	5	2	0	0	0
<i>Pays d'Auge</i>	25	0	10	13	3	0	1
Pays d'Auge Cambremer	3	0	0	1	0	0	0
<i>Pommeau de Normandie</i>	66	67	74	69	27	10	17
BEURRE, ŒUF, FROMAGE							
<i>Beurre et crème d'Isigny</i>	12	18	0	11	0	0	0
<i>Camembert de Normandie</i>	70	95	73	79	18	0	8
<i>Livarot</i>	32	0	10	15	3	0	1
<i>Neuchâtel</i>	0	0	0	0	0	18	9
<i>Pont l'Évêque</i>	72	77	57	69	16	0	7
Œufs de Loué	0	0	12	3	0	0	0
FRUITS ET LEGUMES							
<i>Poireaux de Créances</i>	0	3	0	1	0	0	0

Note de lecture. En grisé : les produits dont l'aire géographique concerne la Normandie de manière secondaire. En italique : les productions emblématiques normandes (Entretien n° 6). En gras : la prédominance de la Basse-Normandie pour ces productions emblématiques. Source : INAO, 2016 – traitement S. Bognon, 2016.

Au moment de notre enquête, les perspectives de fusion des deux régions normandes étaient plutôt sereines pour la sphère agricole :

« Il y a des passerelles de plus en plus fortes avec la région Basse-Normandie [...]. Elles sont très fortes puisque les politiques vont être harmonisées rapidement [...]. Ensuite, sur certains domaines, la chambre agriculture est amenée à prendre des attaches dans d'autres régions qui ont été confrontées aux mêmes problématiques : avec la Basse-Normandie on réfléchit sur de la mise en commun d'expériences en faveur de la production de lait. On a aussi de plus en plus d'échanges avec les agglomérations du fait de la politique de décentralisation et de l'évolution de leurs compétences, au sujet de l'agriculture périurbaine par exemple. Elles ont de plus en plus d'outils pour intervenir sur le monde agricole par l'intermédiaire des compétences de gestion de la ressource en eau, de l'alimentation... [...] Certaines collectivités mettent en place des programmes de gestion foncière [...] avec un projet d'espaces-tests pour l'installation de nouveaux maraîchers » (Entretien n° 8).

« Ce qui change pour nous c'est qu'on va avoir cinq départements au lieu de deux et que l'agriculture normande elle est très diversifiée. Le département de l'Eure est orienté à 60 % vers les grandes cultures (blé, colza, orge) et dans la Manche, 80 % des exploitations sont des exploitations laitières. Il y a deux fois plus d'agriculteurs dans la Manche que dans l'Eure. On va accroître la biodiversité régionale et ça ouvre de nouvelles perspectives pour le secteur agro-alimentaire » (Entretien n° 11).

Ainsi, si les échanges institutionnels sont déjà amorcés, la diversification du paysage agricole régional est aussi une source d'engouement pour la mutualisation des expériences et l'amorce d'une réflexion sur la vocation alimentaire de la production.

2. Industries agro-alimentaires

Haute et Basse Normandie attestent de deux fonctionnements très distincts de la sphère agro-industrielle du système alimentaire régional : il semble que dans ce domaine, la partition régionale ait joué un rôle dans le façonnement différencié de ce secteur.

En Haute-Normandie, l'activité logistique suscitée par les ports du Havre et de Rouen a construit un secteur agro-industriel désagrégé sur le plan local : les entreprises (notamment agricoles) sont intégrées à un système productif vaste et en fine international. À Rouen comme au Havre, les sociétés d'import-export sont relativement autonomes vis-à-vis des autres activités régionales même si « elles contribuent à donner à la région son image de plateforme internationale » (Thuillier, 1986, p. 41). Ainsi, les industries de transformation agro-alimentaires travaillent pour le marché français et international avec les denrées issues de l'importation, et pour l'exportation internationale avec les productions régionales et nationales : le tissu des industries agro-alimentaires est conditionné par la situation littorale de la région, favorisant la transformation de produits importés, et dans une moindre mesure des productions locales (figure 4).

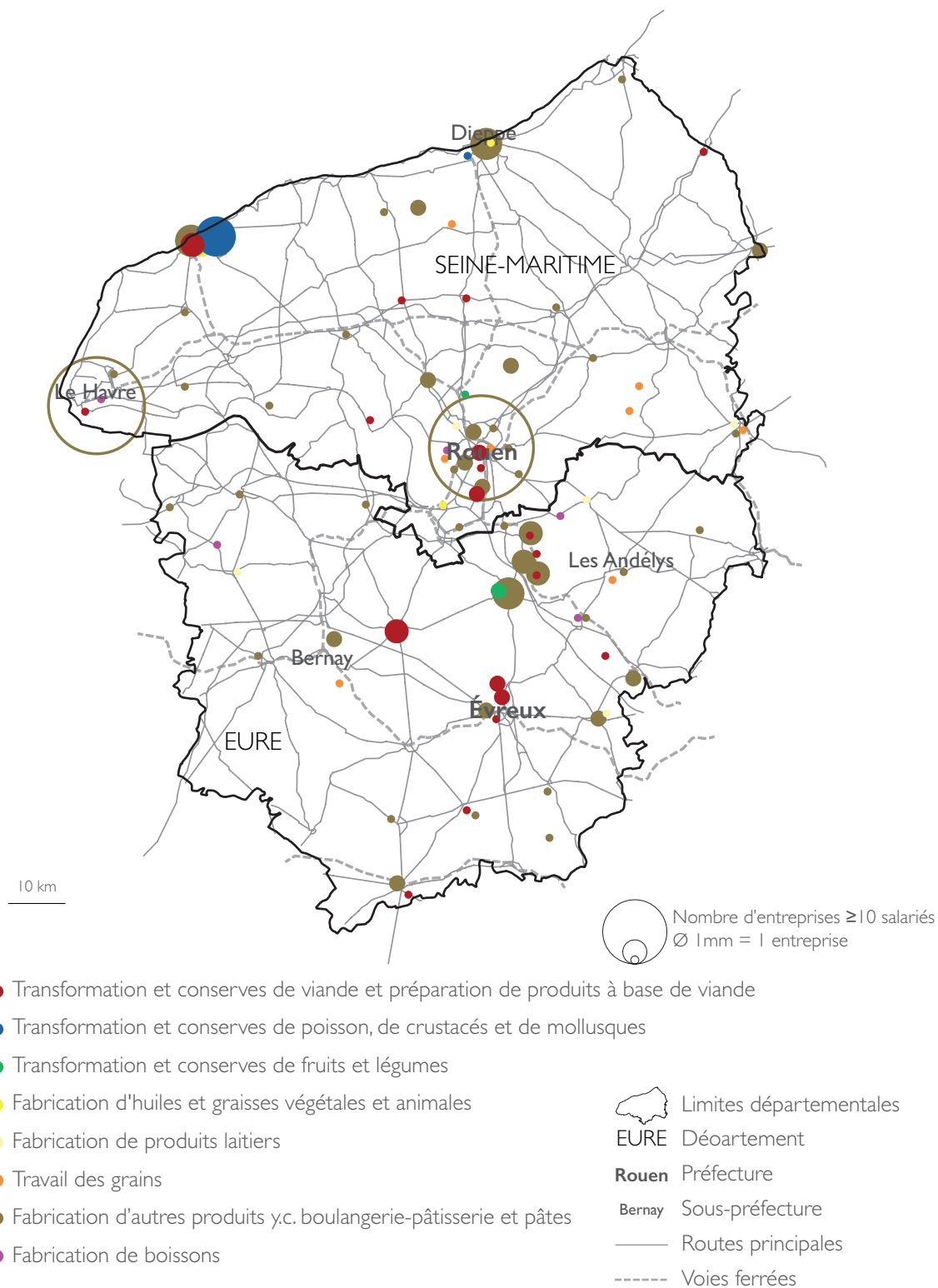


Figure 4. Spécialisation et localisation des industries agro-alimentaire haut-normandes en 2015.
 Source : Annuaire des entreprises de France, 2015 – Réalisation S. Bognon, 2015.

La localisation des industries agroalimentaires haut-normandes est donc marquée par des concentrations autour des bassins d'emploi (principaux pôles urbains) et des infrastructures d'import-export (ports fluviaux et maritimes), mais aussi en lien avec les régions destinataires des productions. Rouen est un bassin d'emploi très doté en infrastructures de transports ; la bande

littorale de Dieppe au Havre, passant par Fécamp aussi. La localisation n'a cependant que peu de rapport avec les activités de production agricoles (Entretien n° 7). Du fait de l'activité portuaire traditionnelle, le secteur agro-industriel est dominé en volumes par l'élaboration et le conditionnement de produits directement consommables (thé, café, chocolat, boulangerie) et dans une moindre mesure, par les produits issus des productions régionales (plats cuisinés, lait, viandes, poissons). Aujourd'hui encore, l'agro-industrie haut-normande reste une composante majeure du système alimentaire régional : dans les années 2010, le secteur constitue la cinquième filière industrielle régionale. Il est caractérisé par une double dynamique (Entretien n° 4) : sept très grands groupes agro-alimentaires sont représentés dont le rayonnement est international (Ferrero, Segafredo, Saint-Louis sucres, Nestlé, Danone, Pasquier, Yabon), pourvoient des emplois (environ 2300 à eux seuls) et sont générateurs d'importantes richesses régionales ; tandis que l'immense majorité des autres entreprises du secteur sont des TPE ou des PME en lien avec les bassins de consommation des régions voisines. Malgré la présence d'un tissu agro-industriel dense et travaillant, pour la majorité des entreprises (de petite taille), avec une faible portée géographique, la spécialisation agricole accrue ne trouve pas ses débouchés dans l'industrie agro-alimentaire haut-normande (encadré).

Encadré. Denrées issues de viande, lait et céréales : des productions agro-industrielles paradoxalement marginales en Haute-Normandie : des années 1980 à nos jours

Depuis les années 1980, même si le troupeau normand a diminué, les productions des abattoirs sont en augmentation mais le nombre d'abattoirs décroît aussi :

[Leur capacité de traitement] « correspond à peine à la moitié de ce qu'on produit dans la région. Donc les abattoirs régionaux sont sous-dimensionnés par rapport à la production. Seulement 20 % des animaux abattus en Haute-Normandie proviennent de Haute-Normandie. Les autres vont se faire abattre dans les autres régions. Par contre les abattoirs en Haute-Normandie vont s'approvisionner également en Bretagne, en Pays de Loire, en Picardie ou en Basse-Normandie. [...] Aujourd'hui, on est en présence de groupes industriels de dimension internationale qui vont jusqu'au bout de la fabrication (viande emballée, plat cuisiné...). Les commandes d'abattage s'effectuent à partir des centrales d'achats [de la grande distribution] » (Entretien n° 11).

En termes d'équipement industriel alimentaire, l'avenir du secteur des produits carnés est un sujet étroitement lié à celui de l'élevage en Haute-Normandie (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute-Normandie, 2014) : trois entreprises se partagent la quasi totalité de l'activité d'abattage, dont une multinationale française et une entreprise familiale d'ampleur nationale. Notre interlocuteur représente cette entreprise qui existe depuis 1991. Celle-ci exploite deux abattoirs de bœufs, veaux, agneaux et porcs. Il indique que 90 % des volumes traités sont des viandes françaises provenant d'un rayon de 80 km autour des abattoirs pour deux-tiers d'entre eux. Les 10 % de viandes étrangères sont des agneaux du Portugal, d'Irlande et de Nouvelle-Zélande, destinés à répondre à une demande locale. La destination des productions revient aux deux tiers à la grande distribution et aux détaillants, le reste est acheté par les collectivités et les restaurateurs pour les consommations hors domicile. Il indique aussi que la présence des abattoirs au centre de la Haute-Normandie en fait un point de rayonnement idéal entre les villes côtières et la région parisienne. Comme pour d'autres secteurs alimentaires, il pressent des changements dans la demande urbaine à laquelle il répond :

« On est le frigidaire de la région parisienne, de par notre proximité avec les Yvelines. [...] C'est une demande normale, par contre, on remarque que nos clients sont de plus en plus demandeurs de produits en circuit court. Il y a dix ans, personne ne se préoccupait de la provenance de la viande [...]. Il y a eu l'étiquetage né et élevé en France et aujourd'hui on part sur une démarche né et élevé en Normandie pour le mois de septembre 2015 parce que les gens, ils veulent du local. [...] Le circuit court c'est bien mais c'est pas avec ça qu'on va nourrir 65 millions de gens. Le but du jeu c'est de

nourrir tout le monde avec de la viande bien élevée. Aujourd’hui, on fait du volume, donc ça rentre pas dans notre cadre » (Entretien n° 19).

La production industrielle de produits laitiers en Haute-Normandie est de même structurée par des groupes internationaux : Danone fabrique des petits suisses et des fromages frais ; Senoble confectionne des yaourts pour sa propre marque et pour des marques de distributeurs ; Novandi est responsable de la production des desserts lactés estampillés Mamie Nova. La transformation en spécialités fromagères est assez peu remarquable en termes de tonnages :

« Dans notre région le lait est principalement transformé en fromage blanc et en yaourt [...]. Les fromages affinés représentent moins de 1 % de notre production [industrielle] laitière. On a seulement deux zones AOP dans la région, une à l'ouest de l'Eure où on fabrique des fromages comme le camembert, le livarot et le pont-l'évêque et une dans le pays de Bray (Neuchâtel) » (Entretien n° 11).

Les productions laitières haut-normandes sont transformées pour les deux-tiers sur le territoire régional. Le reste est principalement acheté par des laiteries du leader mondial d'origine mayennaise Lactalis dont les neuf usines de productions les plus proches sont situées en Basse-Normandie (Entretien n° 4 et n° 11). Pour compenser le déficit d'approvisionnement local, les industries font appel à des productions des régions voisines (Nord-Pas-De-Calais, Picardie) alors que les industriels basés dans ces régions y importent du lait normand. Ainsi que le résume un de nos interlocuteurs :

« Le lait ça se balade beaucoup et une fois que c'est fabriqué ça se balade encore plus » (Entretien n° 11).

Enfin, nous évoquons plus haut que 90 % des blés produits dans la région sont exportés. La part restante est mobilisée en Haute-Normandie par les industries de fabrication d'aliments pour le bétail et par les meuneries – dont les productions sont mieux valorisées financièrement (Entretien n° 11). Comme les abattoirs, les meuniers de la région ont tendance à disparaître du paysage agro-industriel ou à se déplacer en Basse-Normandie (Entretien n° 15). Contrairement aux produits carnés néanmoins, la meunerie n'a pas suivi de tendance à la concentration de l'activité aux mains de quelques groupes, de nombreux moulins de faible capacité se maintiennent sur le territoire du fait des capacités productives de la céréaliculture (Entretien n° 13). Notre interlocuteur de la filière appartient à une entreprise familiale fondée au 19^{ème} siècle et qui prend une ampleur extrarégionale depuis les années 1970⁶. Son activité est organisée en seize entrepôts pour recueillir les récoltes de 2 500 agriculteurs normands. Elle commercialise 500 000 tonnes de céréales par an auprès de dix multinationales pour l'exportation (vers le Maghreb, l'Arabie Saoudite et la Chine) :

« La concurrence [internationale] est rude dans le secteur et beaucoup de nouveaux concurrents [normands] apparaissent et disparaissent chaque année. [On] s'adapte au marché et ce qui est le plus rentable c'est l'export » (Entretien n° 15)

L'importance de l'activité céréalière et son expansion croissante sont une véritable politique de l'entreprise depuis les années 1990, et sont caractéristiques des groupes croissants de la filière (Entretien n° 13). À titre d'exemple, pendant notre enquête, le rayon de chalandise de cette coopérative s'est étendu hors des limites régionales et démarre la collecte de céréales auprès de producteurs du Vexin (Val d'Oise).

⁶ Entretien n° 15, de même que toutes les informations chiffrées qui suivent.

Même si Rouen est en 2012, le premier port céréalier d'Europe, le premier port français pour l'agro-alimentaire (en particulier pour les farines, sucres, malts, cacao et engrais) (Observatoire régional de la compétitivité, 2012) et un débouché pour toutes les productions céréalières de l'axe Seine, peu de filières de transformation de ces produits sont présentes en Haute-Normandie⁷.

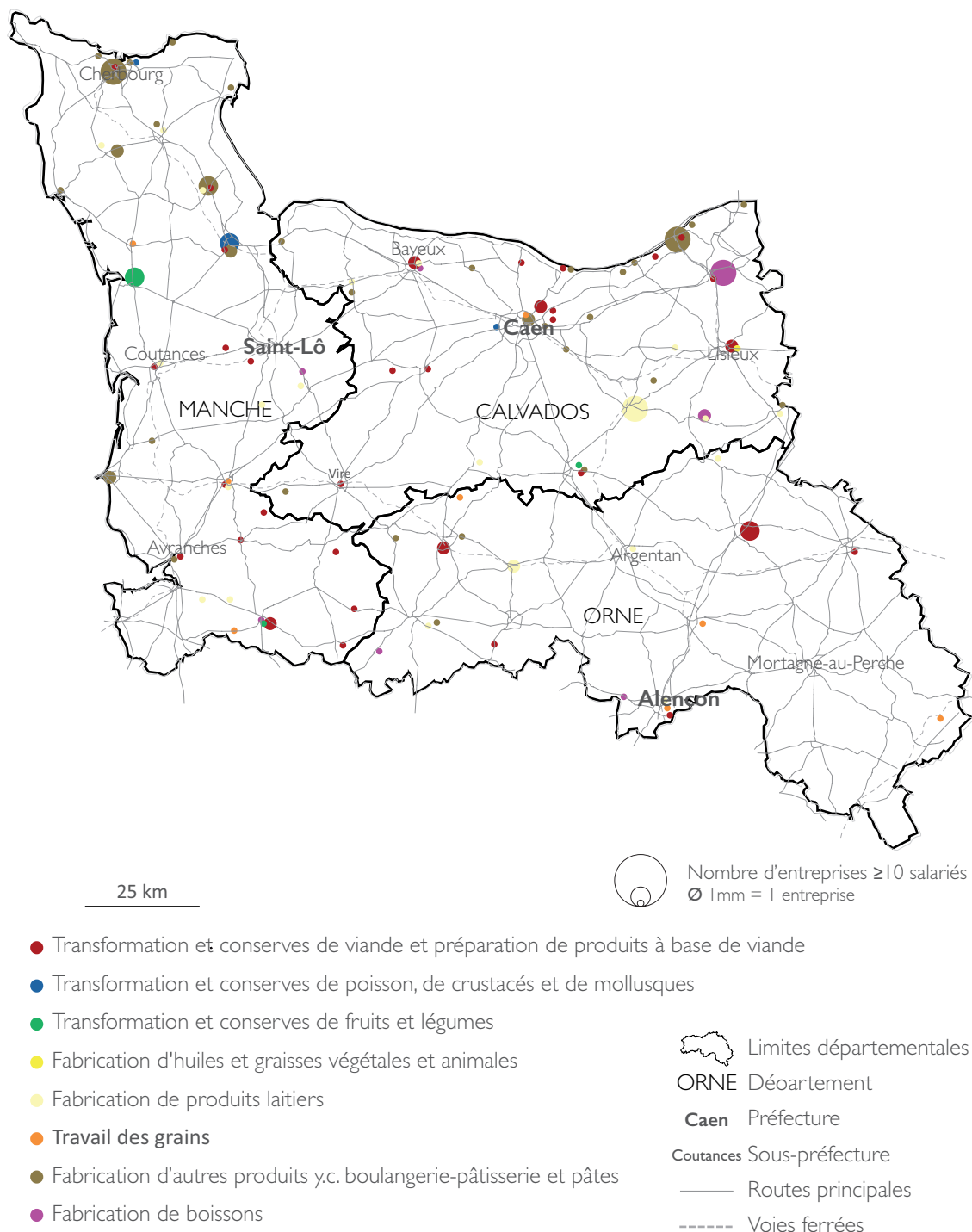


Figure 5. Spécialisation et localisation des industries agro-alimentaire haut-normandes en 2015.
 Source : Annuaire des entreprises de France, 2015 – Réalisation S. Bognon, 2015.

⁷ Notre interlocuteur, délégué commercial et logistique agro-alimentaire) d'HAROPA au Port de Rouen, indique que les céréales et les denrées pour l'alimentation du bétail sont exportées brutes (Entretien n° 23).

La figure 5 montre que contrairement à la Haute-Normandie, « **la filière agroalimentaire bas-normande est principalement axée sur la transformation des matières premières produites localement**, notamment le lait et la viande. Ces deux secteurs contribuent à 70 % du chiffre d'affaires net des IAA » (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie, 2014, p. 4). L'implantation des entreprises agro-industrielles est aussi moins concentrée, et les unités de production plus petites même si, comme en Haute-Normandie, les polarités logistiques (Caen, Cherbourg et Honfleur face au Havre) sont marquées par la transformation de produits de boulangerie et d'épicerie.

En Basse-Normandie, « l'industrie de la viande demeure surtout limitée à l'activité d'abattage et tend à s'effriter. L'industrie laitière performante, représentée par des grands groupes, maintient et améliore ses positions sur quelques produits (beurre, crème de consommation, fromages à pâte molle, poudre de lait). Le calvados subit comme la plupart des grands alcools, la régression de la consommation. Les autres secteurs de la transformation agro-alimentaire sont très peu représentés : travail du grain, conserves, produits alimentaires divers (huile, sucre, chocolaterie et confiserie » (Raimbeault, 1996, p. 152). On retrouve ainsi les spécificités du paysage agricole dans la production agro-industrielle. Il semble que ce soit un pilier de la politique nationale en matière dans le secteur : sur les douze pôles de compétitivité concernant l'agro-industrie, les deux normands incluent la Basse-Normandie et concernent les productions typiques que sont les produits laitiers (Valorial) et les produits de boucherie chevaline (Hippolia)⁸.

En comparant les composantes agro-industrielles des deux régions, plusieurs constats s'imposent.

La Basse-Normandie est la première région productrice de beurre, de crème et de tous types de fromages au lait de vache, en particulier du fait des SIQO présents sur le territoire pour ce type de produits. De même que pour la production laitière, la filière viande travaille avec des matières premières régionales, et produit pour une commercialisation en circuit long. La filière halieutique semble en revanche bien plus développée qu'en Haute-Normandie puisque la région est la troisième productrice à l'échelle nationale (la coquille Saint-Jacques est pourvoyeuse de la moitié du capital généré par la filière régionale (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Basse Normandie, 2014). La structure agro-industrielle de la Basse-Normandie diffère aussi de celle de sa voisine en ce qu'elle accueille des entreprises de taille plus réduite et bien moins de multinationales (Ibid.). Le secteur agro-alimentaire bas-normand pèse plus que celui de la Haute-Normandie dans le paysage économique français (en nombre d'établissements et en effectif salariés. Pourtant, si l'on compare les structures du secteur dans les deux régions, plusieurs constats s'imposent (tableau 2).

Le secteur agro-industriel de Basse-Normandie est plus important que celui de la région voisine : il compte plus d'entreprises et génère un chiffre d'affaire plus important. Ce chiffre d'affaire ainsi que les tonnages produits semblent en accord avec le tissu agricole régional : produits laitiers et carnés sont les plus profitables et d'autres produits bruts potentiellement issus de l'agriculture locale sont valorisés. En Haute-Normandie, la catégorie « autres produits alimentaires » est dominante, de manière congruente avec l'activité portuaire d'importation de matières premières nécessaires à leur fabrication. En observant les produits agro-alimentaires exportés par les industries normandes, on constate que la Basse-Normandie exporte surtout des boissons (calvados et cidres) et génère peu d'échanges internationaux en ce qui concerne les autres productions agro-industrielles, même s'il n'en a pas toujours été ainsi : « à l'époque proto-industrielle, [cette activité] avait été prospère et largement ouverte sur l'extérieur. [Jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle,] elle a pu se maintenir, voire se développer, en mariant l'ancien (travail manuel dispersé, à domicile) et le nouveau (travail mécanisé, concentré) » (Dasi, 2013, p. 134). En revanche, la Haute-Normandie réexporte les produits « autres », dont la fabrication provient déjà en majorité d'importations ainsi que les graisses végétales et animales dont on peut imaginer qu'elles proviennent des productions régionales.

⁸ <http://competitivite.gouv.fr/> [consulté en janvier 2017].

Tableau 2. Structure agro-industrielle normande en 2016

	Basse-Normandie	Haute-Normandie	Basse-Normandie	Haute-Normandie	Basse-Normandie		Haute-Normandie	
	Nombre d'unités légales		Chiffre d'affaires (k€)		Tonnages produits estimés ⁹	Part estimée des tonnages exportés ¹⁰	Tonnages produits estimés	Part estimée des tonnages exportés
Préparation, transformation et conservation de viande (hors boucherie et charcuterie artisanale)	58	35	566 435	210 080	1 876	0,03%	696	0,01%
Transformation et conservation de produits halieutiques	10	11	S	94 143	S	S	129	S
Transformation et conservation de fruits et légumes	24	20	24 446	S	169	0,02%	S	S
Fabrication d'huiles et graisses végétales et animales	3	3	S	69 998	S	S	1 598	0,73%
Fabrication de produits laitiers	41	22	2 359 375	84 490	14 522	0,23%	520	S
Travail des grains, fabrication de produits amylacés	15	6	29 537	22 528	748	0,00%	570	0,01%
Fabrication de produits de boulangerie-pâtisserie et de pâtes alimentaires (hors boulangerie et pâtisserie fraîches)	23	21	196 968	S	836	0,14%	S	S
Fabrication d'autres produits alimentaires (i.e. sucres, cacao et chocolats, confiseries et sucreries, confitures, cafés, thés, vinaigres, sauces et condiments alimentaires, plats préparés, levures et poudres à lever)	75	71	615 672	1 761 270	4 127	0,09%	11 807	0,18%
Fabrication d'aliments pour animaux	15	11	186 677	87 962	4 636	S	2 185	0,01%
Fabrication de boissons	82	43	67 467	142 784	512	0,27%	1084	S
TOTAL IAA	346	243	4 212 985	2 593 487	35 069	0,17%	21 588	0,17%

Source : ESANE et ProdCom, données 2015 ; traitement : S. Bognon, 2016.

⁹ Les tonnages sont estimés à partir du chiffre d'affaires de chaque filière ou secteur dans la région (base ESANE) que l'on divise par le chiffre d'affaires de chaque filière ou secteur connu pour la France (base PRODCOM), le tout multiplié par le tonnage produit par chaque filière ou secteur connu pour la France (base PRODCOM) et divisé par 100.

¹⁰ Les tonnages exportés sont calculés de la même manière que pour les tonnages produits ; leur part est obtenue en faisant le rapport de ce résultat et des tonnages produits estimés. L'export s'entend hors du territoire national.

Enfin, le tissu agro-industriel de la Basse-Normandie est dense, nous l'avons remarqué. Si les entreprises de plus de 500 salariés, qui contribuent à la dynamique économique régionale de manière plus importante y sont plus nombreuses qu'en Haute-Normandie (cinq contre une), celles-ci ont un rayonnement commercial moins grand. En Seine-Maritime, Ferrero est une multinationale qui irrigue le territoire national et une partie du territoire européen de ses produits de confiserie ; tandis que celles qui emploient plus de 500 salariés en Basse-Normandie concernent les productions régionales bouchères (Société Normande de Volaille dans l'Orne ; SOCOPA Viandes dans la Manche et ELVIA dans le Calvados) et laitières (Maîtres laitiers du Cotentin et ELVIR dans la Manche) (Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Basse Normandie, 2014), toutes comptant au moins production labellisée SIQO.

Enfin, nous l'avons esquissé, les industries agro-alimentaires ont un lien important avec le transport de marchandises et l'influence notable des ports principaux que sont Rouen et Le Havre. Le récit de la trajectoire du système alimentaire porte une attention particulière à la transformation de la vocation du port du Havre. Ici, nous souhaitons souligner que malgré le rapport de un à trois entre les volumes échangés par les deux infrastructures, Rouen est le (seul) port qui concentre une activité liée au système alimentaire (Entretien n° 23). Les exportations sont excédentaires, en particulier du fait de la domination des produits céréaliers (blé, orge fourrage et brasserie, blé dur, maïs). Si l'on regarde plus spécifiquement les échanges de marchandises hors céréales, on conforte l'hypothèse d'une importation de produits bruts à destination des industries agro-alimentaire et celle d'une exportation de produits qu'elles ont transformé. Hormis cela, les importations concernent principalement des produits oléagineux (colza brut et huile de colza). En termes logistiques, Rouen est donc le port d'exportation du grenier que constitue la Normandie, et au-delà, tout le bassin de la Seine (figures 6 et 7).

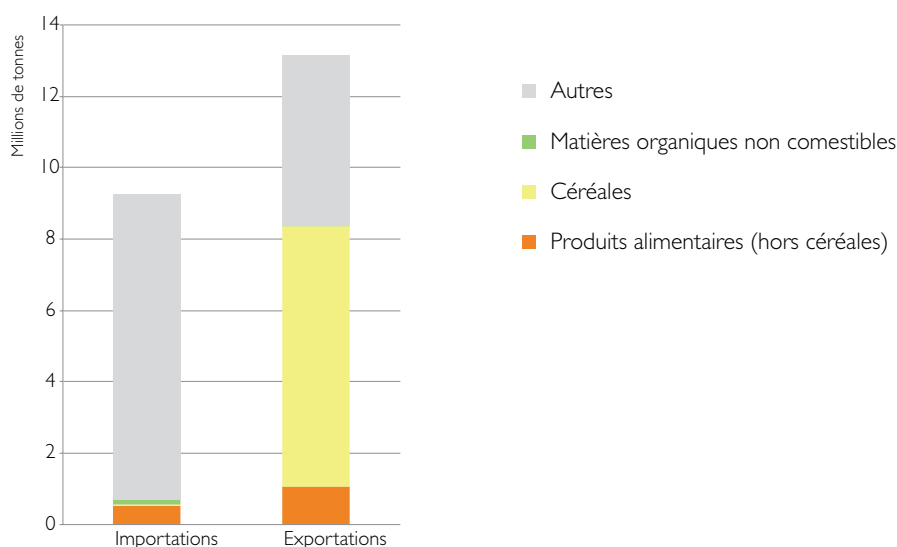


Figure 6. Type de marchandises échangées au port de Rouen en 2013.

Source : HAROPA – Traitement S. Bognon, 2015.

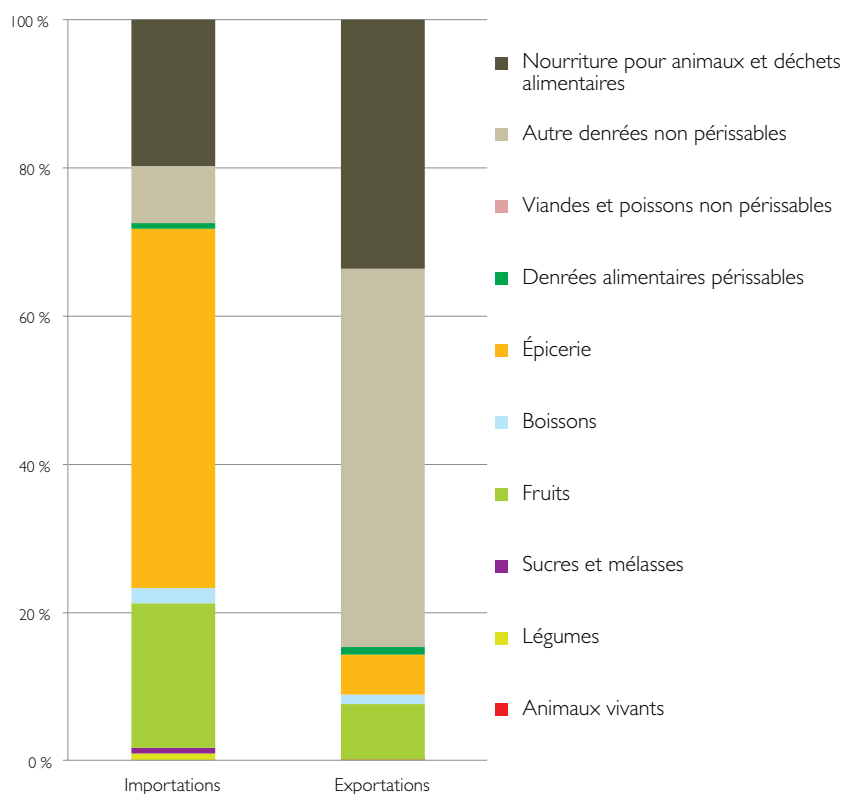


Figure 7. Type de marchandises alimentaires (hors céréales) échangées au port de Rouen en 2013.
Source : HAROPA – Traitement S. Bognon, 2015.

3. Distribution et consommation

La grande distribution est un acteur dominant du commerce alimentaire normand. Le succès de ce format de vente au détail réduit l'importance relative des marchés de gros au profit des centrales d'achats des groupes de distribution de masse (Rastoin et Gherzi 2010).



Figure 8. Au Marché d'Intérêt National de Rouen le 4 mars 2015. À gauche, les infrastructures ferrées et l'A 150 à l'arrière du MIN un peu avant 8h ; à droite, la halle des producteurs à 8h30.

Le récit de la trajectoire du système alimentaire nous permet d'insister sur le déclin des marchés de gros normands, ainsi que sur le difficile maintien du Marché d'intérêt national de Rouen dans le haut de la hiérarchie commerciale du secteur. Retenons simplement qu'il a toujours dominé celui de Caen, et s'est substitué à celui du Havre – notamment du fait que le port du Havre s'est reconverti au cours du 20^{ème} dans les échanges de produits non alimentaires. En lien avec le port de Rouen, le MIN est devenu un relai des importations car il est opportunément situé à proximité des grands axes de communication routiers et ferrés (figure 8.) et a développé des activités spécifiques pour pallier à la domination définitive des centrales d'achat de la grande distribution. Le MIN a en outre quasiment abandonné son activité de vente des productions locales, ainsi qu'en témoigne la désertion de la Halles de producteurs qui ne compte plus que trois inscrits sur les soixante dix au moment de la création du MIN (Entretien n°3 et figure 8.).

La grande distribution est dominante, nous l'avons dit. Les logiques de son approvisionnement relèvent de la gestion de chaîne logistique globale (Dioux et Dupuis, 2009) puisque celle-ci est une unité de profit à part entière, intégrée à l'activité de distribution. Elle est gérée par des centrales d'achat, intermédiaire de commerce entre les producteurs (agriculteurs et agro-industrie) et les points de vente. Une typologie de la stratégie d'approvisionnement des centrales d'achat de la grande distribution a été décrite (Barles et Bognon, 2010) dont nous reprenons succinctement les grands traits dans le tableau 3.

En Normandie, les centrales d'achat sont situées à proximité des pôles urbains où elles trouvent leur main d'œuvre et sont proches des magasins qu'elles approvisionnent, mais aussi à proximité des nœuds de transport qui permettent l'acheminement des marchandises qu'elles redistribuent aux enseignes. Notons que les départements les plus ruraux n'en possèdent pas (figure 9).

Tableau 3. *Stratégie d'approvisionnement des centrales d'achat de la grande distribution*

Type de centrales et gouvernance	Aire de chalandise	Stratégie de localisation	Exemple
Supercentrale concentrées	Indifférenciée, internationale	Très peu nombreuses	Auchan
Supercentrales	Indifférenciée, internationale	Nombreuses, à proximité des centres urbains et des plateformes logistiques	Carrefour
Centrales déconcentrées	Internationale avec des fournisseurs français historiques	Couverture nationale dense, organisation en grappes régionales	Casino
Centrales régionalisées	Internationale avec des fournisseurs français propres à chaque région	Couverture nationale peu dense	E. Leclerc
Centrales décentralisées	Française, offre adaptée aux disponibilités et à la demande locale	Couverture nationale dense	Mousquetaires
Centrales non centralisées	En fonction de l'offre régionale + recours des enseignes à d'autres sources d'approvisionnement	Peu nombreuses	Système U

D'après Barles et Bognon, 2010.

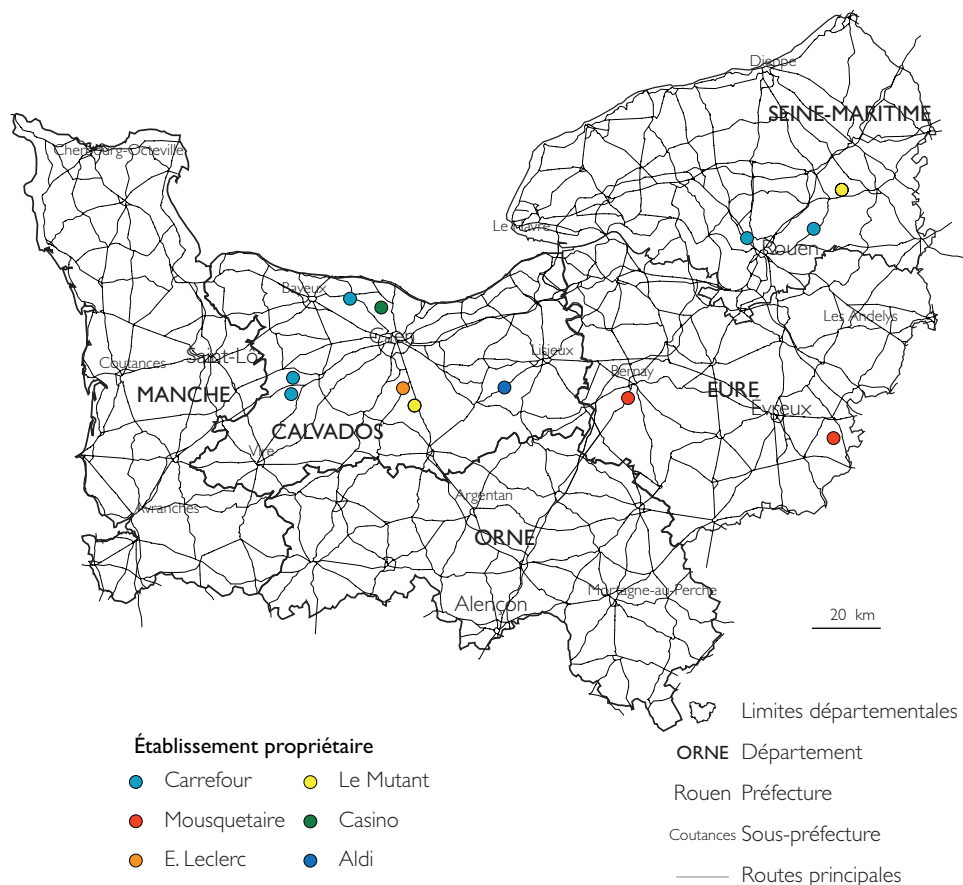


Figure 9. Localisation des centrales d'achat de la grande distribution en Normandie.

Source : Source : Annuaire des entreprises de France, 2015 et base LSA atlas de la distribution 2015 – Traitement et réalisation S. Bognon, 2015.

Encadré : L'activité maraîchère haut-normande du point de vue d'une coopérative¹¹, des années 1960 à nos jours

La CRIMART est créée en 1961 et regroupe des maraîchers qui avaient des difficultés à écouler leurs productions facilement dans la région haut-normande. Ces difficultés étaient dues au fait que la production était très abondante, approvisionnant même la région parisienne par le rail (« surtout les salades et les choux de Bruxelles » (Entretien n° 5)). Un enjeu double se pose quant à l'occupation du sol : sa nature sablonneuse en fait une source de matière première pour le florissant secteur du BTP ; sa proximité avec les pôles urbains (tant dans l'Eure – département limitrophe de l'Île-de-France – qu'autour de Rouen) en fait une opportunité foncière pour la croissance spatiale des villes. Enfin, les reprises d'exploitations se raréfient. Pour pallier ce manque et maintenir l'activité commerciale, les statuts de la coopérative sont modifiés, pour inclure les productions d'autres communes des départements voisins (Seine-Maritime, Calvados et Eure-et-Loir) et jusque dans certains départements franciliens.

À l'heure actuelle, la coopérative regroupe vingt-huit adhérents – permanents ou intermittents selon les productions – et ses clients sont les Marchés d'Intérêt National de Rungis et de Rouen, de même que les centrales d'achats régionales de la grande distribution (groupe Mousquetaires, Lidl et Carrefour). Notre interlocutrice souligne la difficulté qu'elle a aujourd'hui à recruter de nouveaux

¹¹ Ces réflexions sont issues d'un entretien effectué auprès de la directrice d'une coopérative légumière, elle-même maraîchère. Cette entreprise et les exploitations qui la fournissent sont historiquement originaires de deux communes de l'Eure, limitrophes de l'agglomération rouennaise.

adhérents : l'activité commerciale est accaparée par la grande distribution qui contrôle les prix sur une grande partie de la chaîne de valeur, et dont les commandes sont dictées par la consommation de masse désaisonnalisée. Elle explique ainsi un problème récent : « Moi, je vois là, j'ai commandé au téléphone dans la Manche, [...] c'est parce que nous on a [...] un cahier suivant les saisons et là [il y a] un mois, un mois et demi qu'on n'a pas de carottes. Alors vous avez des régions qui sont plus propices, comme Nantes, comme les Landes : alors eux ils ont des carottes plus tôt parce qu'ils ont semencé plus tôt, tandis que nous, il a fait plus froid. Donc là les carottes, j'en achète un petit peu, c'est surtout pour les gens qui font les marchés, au détail [et qui se fournissent sur le MIN de ROUEN] [...] » (Entretien n° 5).

Aujourd'hui, l'influence commerciale de la structure demeure restreinte, malgré l'élargissement des périmètres de recrutement des adhérents. Son maintien malgré les difficultés de la filière tient à son modèle économique : « Notre rôle c'est d'avoir des producteurs mais faire juste ce qu'il faut pour faire tourner la société. [...] nous on est une petite structure donc on leur fait comprendre qu'on prend le minimum [de marge] aux maraîchers, on prend ce qu'il faut pour faire tourner la boîte et c'est tout. [...] Notre principal objectif c'est de faire travailler les maraîchers de la région » (Entretien n° 5).

La sphère de la distribution est indissociable de celle de la consommation, qui dépend de la demande alimentaire et donc de la population. La répartition spatiale de la population est un indicateur qui permet de déduire une partie des grandes tendances qui la guident. La Normandie est une région agricole et plus largement productive, mais malgré l'importance (en surface) du tissu rural, des pôles urbains s'y sont développés, qui concentrent une grande partie de la population et donc de la demande alimentaire.

Selon l'INSEE, le taux d'urbanisation correspond au rapport de la population des communes urbaines, c'est-à-dire appartenant à une unité urbaine¹² à la population totale des départements. En 2007 (données les plus récentes de l'INSEE), la Seine-Maritime est de loin le département le plus urbain (trois-quarts de la population habitent dans une commune urbaine) ; suivent par ordre décroissant le Calvados (deux-tiers de la population habitent dans une commune urbaine), l'Eure, la Manche et l'Orne (autour de la moitié de la population vivant dans une commune urbaine). La croissance urbaine désigne l'augmentation du taux d'urbanisation. Entre 1999 et 2007, celle-ci a concerné d'avantage le Calvados et l'Eure, et dans une moindre mesure la Manche. La Seine-Maritime a tout juste maintenu son taux d'urbanisation (croissance autour de 1 %) tandis que la croissance urbaine de l'Orne a été négative. Trois dynamiques sont donc à l'œuvre. En premier lieu, en Seine-Maritime où la population est majoritairement urbaine, le rythme de croissance est stable. Ensuite, l'Eure et le Calvados connaissent une croissance forte alors que la population départementale est déjà à moitié urbaine : cela peut être imputable pour le premier à sa proximité avec la métropole parisienne (l'Eure absorbe une partie de la périurbanisation de la capitale), et pour le second à sa dynamique économique touristique et au rôle moteur de Caen, préfecture de région jusqu'en 2016. Enfin, l'Orne et la Manche restent des départements en retrait de l'urbanisation, voire en déclin. Les facteurs de croissance urbaine montrent la manière dont se fait l'urbanisation (i.e. par densification du tissu urbain existant ou par extension spatiale du bâti). Les dynamiques évoquées s'y retrouvent : l'urbanisation de l'Eure et le Calvados progressent par extension et par densification ; celle de la Seine-Maritime croît par extension et se dédensifie ; celle de la Manche et l'Orne montre une légère extension et une assez forte dédensification. Ainsi, la périurbanisation est à l'œuvre partout, y compris dans les départements les moins dynamiques en matière d'urbanisation.

¹² « La notion d'unité urbaine repose sur la continuité du bâti et le nombre d'habitants. On appelle unité urbaine une commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) qui compte au moins 2 000 habitants » (Définition INSEE).

Les trois polarités urbaines (plus de 100 000 habitants) sont par ordre décroissant, Rouen, Le Havre et Caen. À Rouen, 12^{ème} unité urbaine nationale est la seule à posséder un taux de croissance urbaine positif et il est uniquement dû à des extensions urbaines. Le Havre a une croissance urbaine négative et la dédensification en est la principale cause. Caen enregistre une croissance quasi nulle, avec une extension faible et une légère dédensification.

Un examen de l'enquête budget des familles¹³ montre que la part de la grande distribution est dominante dans les dépenses alimentaires à l'échelle nationale. Les données dont nous disposons ne nous permettent pas de donner les résultats spécifiques à la Normandie. Néanmoins, on peut considérer que les lieux de consommation les plus significatifs en termes de quantité de nourriture sont les pôles urbains. Un rapide examen des principales villes haut-normandes nous permet de nous focaliser sur quatre type de communes : les communes rurales¹⁴, les communes de moins de 20 000 habitants¹⁵, celles de 20 à 100 000 habitants¹⁶, celles dont la population est supérieure à 100 000 habitants¹⁷. Les figures 10 et 11 donnent l'importance de chacune de ces catégories dans le paysage normand et permettent de lire la figure 12 en tenant compte de cette pondération.

Dans l'absolu, les dépenses alimentaires semblent comparables entre les différents types de communes : la grande distribution (hypermarchés, supermarchés et hard discount) est le canal dominant pour les achats alimentaires. Toutefois, dans le détail, les supermarchés l'emportent sur les hypermarchés dans les communes les plus petites (rurales et dont la population ne dépasse pas 20 000 habitants), et la tendance est inversée dans les pôles urbains les plus importants. Cela pourrait s'expliquer par les modalités d'achat (dans une boucle de déplacement pour les citadins dont les activités sont éparées et qui profitent de la présence d'un hypermarché sur leur route pour y faire leurs courses) et par la distribution des magasins (les hypermarchés étant plus présents dans la périphérie des grands pôles). Si l'on tente une pondération à vue, il en va de même – la grande distribution domine –, et les supermarchés dominant l'approvisionnement domestique normand puisque les petites communes ont plus de population que les grands pôles. Remarquons enfin l'importance des marchés et de la vente directe dans tous les types de communes et le rôle que peuvent encore jouer, à Rouen et au Havre comme dans les communes plus modestes, les commerces spécialisés. L'importance des marchés est notable dans les dépenses alimentaires des ménages de tous les types de communes. En comparant les lieux de dépenses alimentaires des ménages entre 2006 et 2011, on constate des évolutions récentes contrastées en fonction du type de commune de résidence (figure 13).

¹³ Les enquêtes budgets des familles sont effectuées à un rythme quinquennal par l'INSEE depuis 1979.

¹⁴ « Sont considérées comme rurales les communes qui ne rentrent pas dans la constitution d'une unité urbaine : les communes sans zone de bâti continu de 2000 habitants, et celles dont moins de la moitié de la population municipale est dans une zone de bâti continu », selon la définition que donne l'INSEE ; par exemple en Haute-Normandie Gonzeville (76) ou Nullefont (27), ou encore Éculleville (50) et Vouilly (14) en Basse-Normandie.

¹⁵ Par exemple en Haute-Normandie, Le Tréport (76) ou Le Nemours (27) ou en Basse-Normandie, Condé-sur-Sarthe (61) ou Livarot (14).

¹⁶ Par exemple en Haute-Normandie, Dieppe (76) ou Évreux (27), Cherbourg-Octeville (50) ou Alençon (61) en Basse-Normandie.

¹⁷ Seuls Rouen et Le Havre (76) ainsi que Caen (14) dépassent 100 000 habitants (respectivement 113 406, 174 728 et 110 288 habitants en population communale totale selon les chiffres du recensement de 2013).

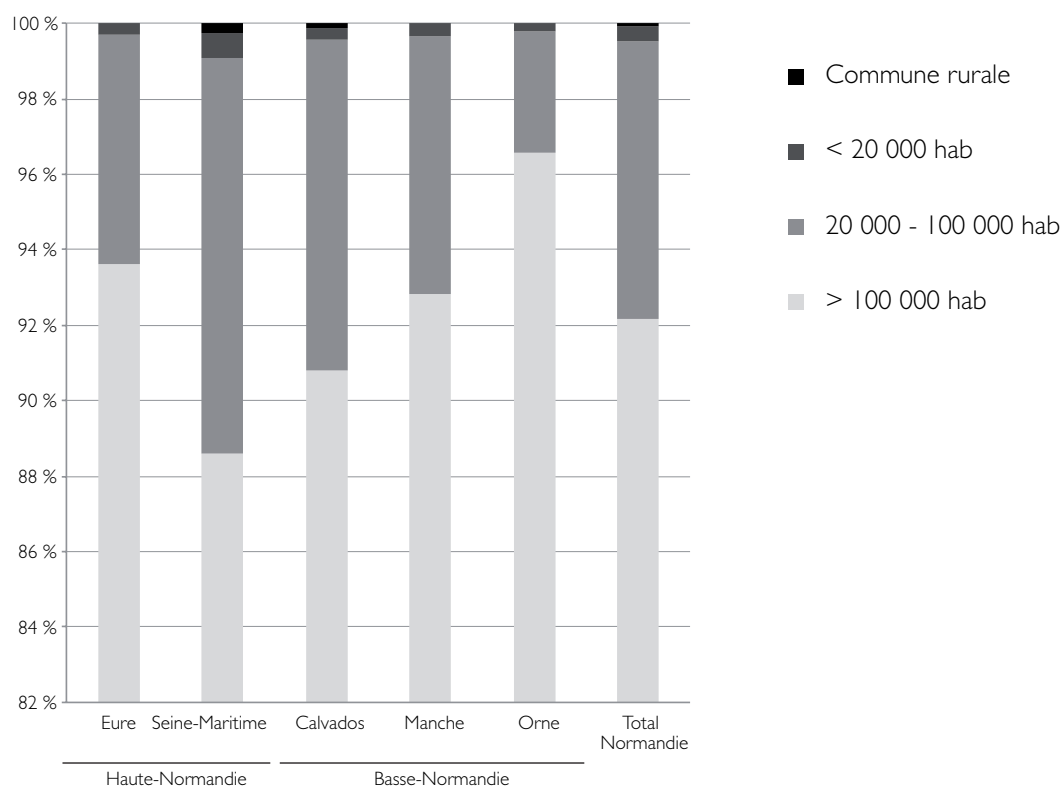


Figure 10. Répartition régionale et départementale des types de communes.
Source : RP 2013 – Traitement S. Bognon, 2015.

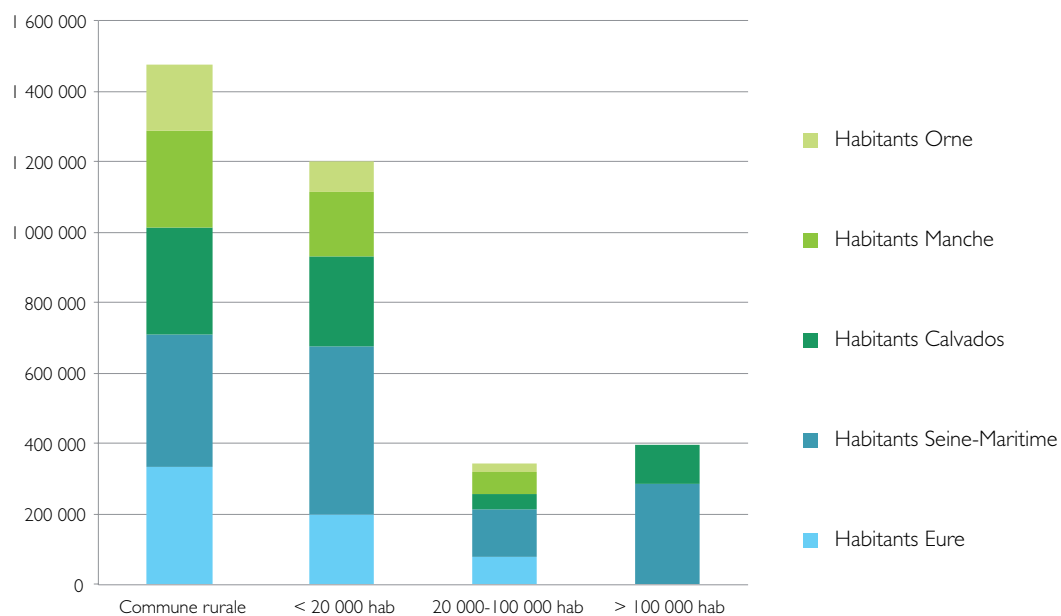


Figure 11. Répartition de la population normande par type de communes.
Source : RP 2013 – Traitement S. Bognon, 2015.

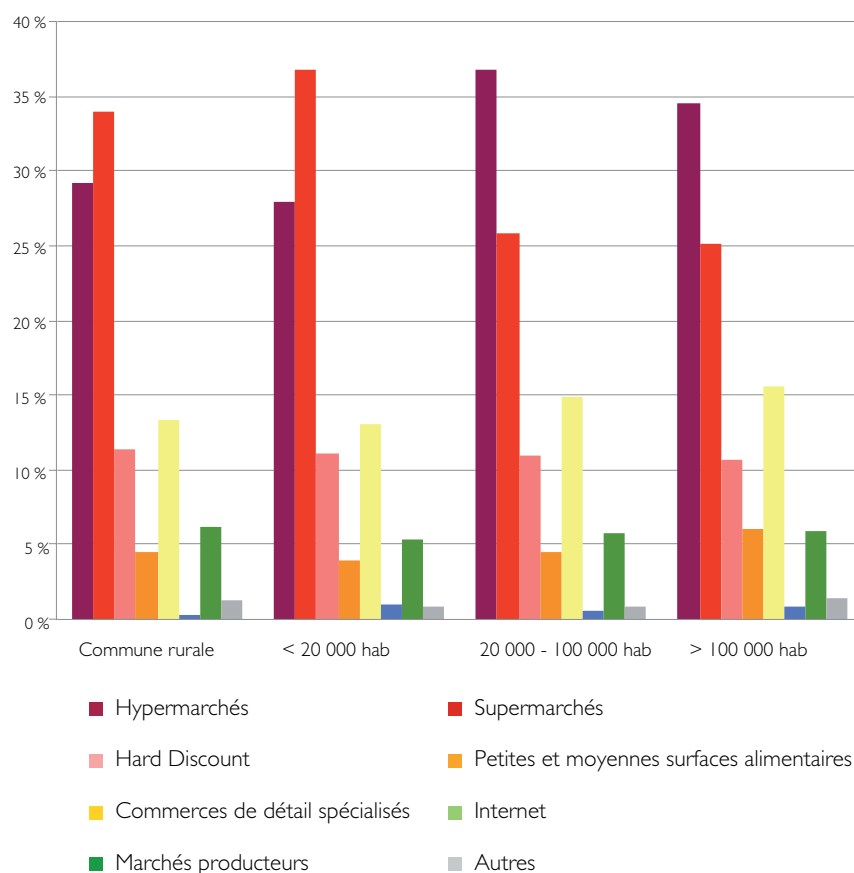


Figure 12. Lieux et part des dépenses alimentaires des ménages selon leur commune de résidence.
Source : BDF 2011 ; traitement : S. Bognon, 2015.

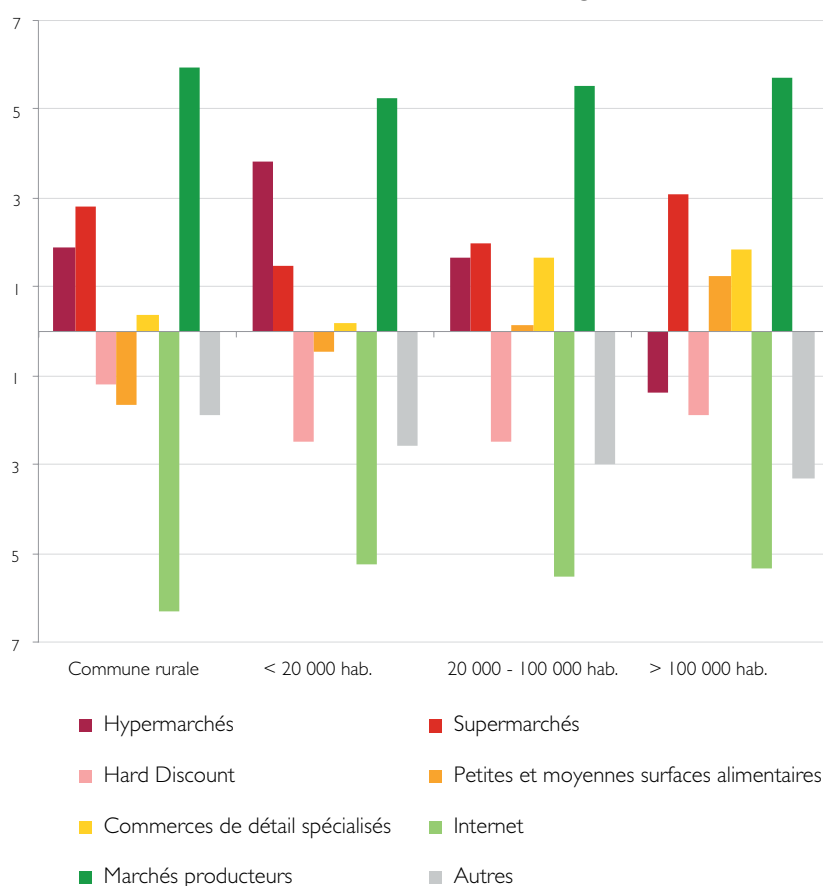


Figure 13. Lieux et part des dépenses alimentaires des ménages selon leur commune de résidence : évolution en points de pourcentage entre 2006 et 2011. Source : BDF 2006, BDF 2011 ; traitement : S. Bognon, 2016.

La part des dépenses faites au marchés ou en vente directe augmente dans tous les types de communes en particulier en milieu rural et dans les grandes agglomérations. Pour autant, les acteurs rencontrés sur le terrain ne font pas état d'une augmentation de l'offre, que ce soit en nombre de tenues hebdomadaires ou en nombre de sites. En outre, la grande distribution continue de croître à quelques nuances près : dans les grandes villes, la part des dépenses faites en hypermarché diminue tandis qu'elle est en forte hausse dans les petites villes. Dans le premier cas, cette désaffection semble compensée par la croissance plus forte qu'ailleurs des dépenses en supermarchés, sans doute associée au succès de nouveaux formats de ventes spécifiquement urbains (supermarchés de proximité et *convenience stores*). Dans les villes plus petites, le fort succès des hypermarchés va probablement de pair avec la périurbanisation : par mitage, les villes petites situées dans les espaces interurbains sont dorénavant à proximité des hypermarchés périphériques des villes les plus grandes, et partant, les petites et moyennes surfaces alimentaires de la grande distribution perdent des parts de marché. Les commerces spécialisés (commerces de bouche) gagnent quelques parts des dépenses alimentaires dans tous les types de communes. Enfin, la forte baisse du commerce alimentaire par internet dans tous les types de communes réinterroge le succès pourtant assuré dès leur apparition des drives, en particulier dans les villes moyennes et dans les espaces ruraux.

Le succès des formats réduits de la grande distribution (supermarché, petites et moyennes surfaces dans les villes les plus grandes) et du commerce spécialisé (artisanat et commerce de bouche) traduisent une particularité normande. Tandis qu'à l'échelle nationale, la grande distribution est omnipotente, il semble que la région ait conservé des formes commerciales favorisant les petits formats et la proximité. Les figures 14 et 15 sont une typologie de l'offre commerciale dans les deux régions historiques¹⁸. On constate que dans les communes urbaines et autour des polarités métropolitaines, la grande distribution domine. Les petites et moyennes surfaces sont très représentées en particulier autour de ces pôles urbains mais aussi au sud de l'Eure, à la lisière de l'Île-de-France. En marge, dans les zones plus rurales (et c'est flagrant en Basse-Normandie), le commerce spécialisé est dominant dans une grande partie des communes, parallèlement au fait que la grande distribution soit établie dans des surfaces plus petites. Cela peut s'expliquer d'une part parce que la demande y est moindre mais en outre, pour avoir devancé le commerce indépendant qui prévalait avant l'existence de la grande distribution, celle-ci a sans doute adopté des formats de proximité et de taille réduite. Ces deux cartes montrent aussi la persistance de communes totalement dépourvues d'offre commerciale alimentaire fixe.

¹⁸ Nous avons gardé la partition antérieure à 2016 pour que la classification ascendante hiérarchique effectuée soit plus fine et tienne compte des particularités de la répartition et du poids des tissus urbains et ruraux.

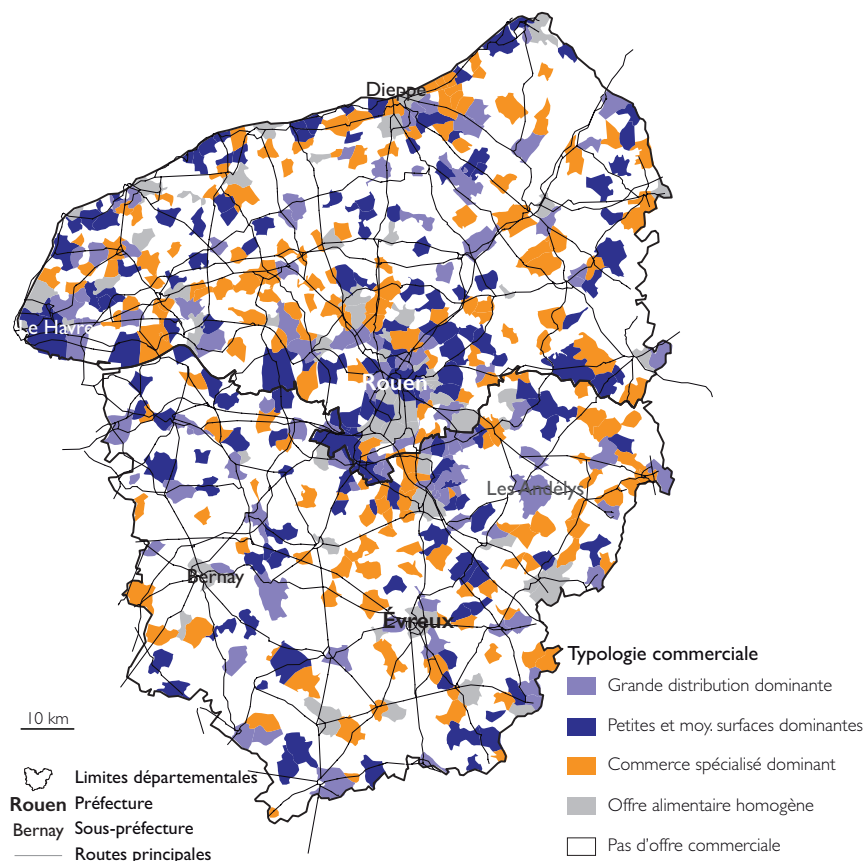


Figure 14. Offre commerciale à l'échelle communale en Haute-Normandie.

Source : BPE 2015 ; traitement : S. Bognon, 2016.

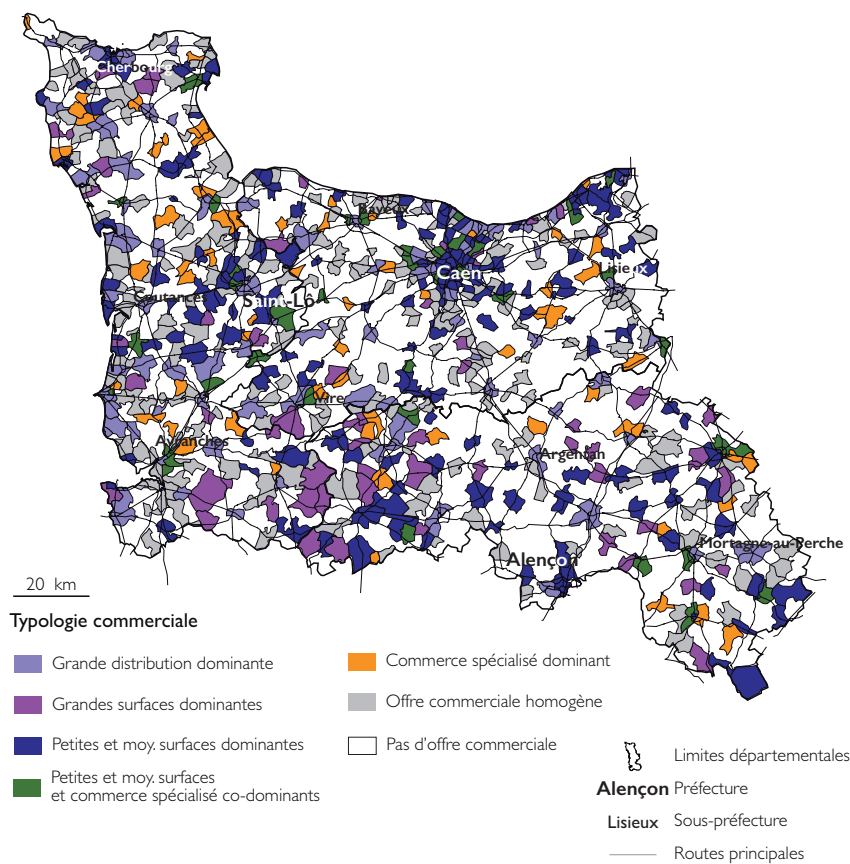


Figure 15. Offre commerciale à l'échelle communale en Basse-Normandie.

Source : BPE 2015 ; traitement : S. Bognon, 2016.

Le succès des formats de proximité est à rapprocher de l'essor récent des circuits courts. Ces alternatives à la grande distribution sont guidées par une demande essentiellement urbaine, comme en témoigne la localisation des Associations pour le Maintien de l'Agriculture Paysanne (figure 16).

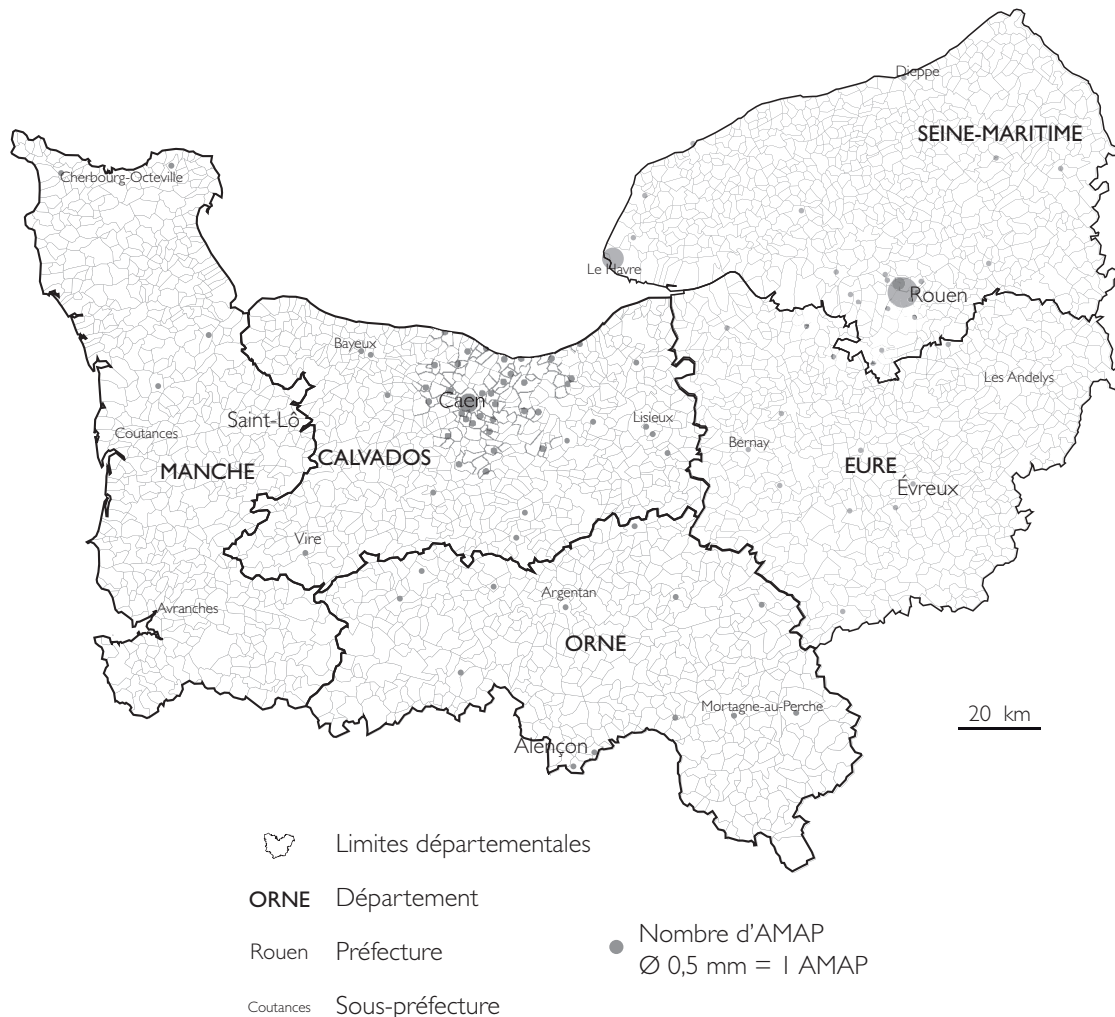


Figure 16. Nombre et localisation des AMAP normandes en 2015.

Source : Réseau national des AMAP; traitement : S. Bognon, 2016.

La chambre d'agriculture confirme cette polarisation par les centralités urbaines, et note même le rôle majeur du tourisme dans le développement et le maintien des formes de vente directe du producteur au consommateur. En particulier, en Basse-Normandie, les circuits courts semblent structurés par la présence de polarités touristiques plus que par les plus grandes villes de la région. La plupart des modes de commercialisation choisis sont la vente à la ferme, par l'intermédiaire d'un commerçant détaillant et sur les marchés (RA 2010). Les exploitations qui vendent par ce biais sont concernées, pour un tiers, par des produits en SIQO (Ibid.) et, pour une grande majorité, situées dans des communes à dominante polyculture et polyélevage (Ibid.).

Pour autant, la littérature (en particulier Frémont, 1967) témoigne de la profondeur historique, datant au moins d'un siècle, de ces pratiques d'approvisionnement, pour certains types de produits (fromages, lait, œufs, fruits et légumes). Ce qui change aujourd'hui, c'est la manière dont les consommateurs choisissent ces canaux de vente : ils sont poussés, comme ailleurs, par la défiance ambiante envers les produits de l'agro-industrie (équité économique, propriétés gustatives, état sanitaire, etc.). Et les nouveautés en matière de commerce de denrées de proximité fondent le renouveau de leur succès sur un atout supplémentaire, la certification AB des produits vendus (ou l'inscription des producteurs dans une démarche pour l'obtenir). Même si les surfaces cultivées en bio sont minimes en Normandie, les artisans (boulangerie, charcuterie en tête) mettent à profit sur

cette demande émergente (Entretien n° 22), en particulier en ville (et c'est ce que reflète aussi la localisation des AMAP). Et il faut aussi noter que des producteurs entament des conversions au bio, dans l'idée de commercialiser en circuits courts (magasins de producteurs, AMAP, etc.) (Entretien n° 21).

En ce qui concerne les AMAP, le réseau régional haut et bas normand n'a a priori pas vocation à être fusionné : sa gestion dépend d'entités associatives, la plupart du temps bénévoles et en Haute-Normandie, notre interlocutrice nous indique ne pas avoir rencontré de velléités de gestion régionale après la fusion (Entretien n° 10). Il semble donc que l'approvisionnement par ce canal reste le fait de démarches peu fédérées et toujours attenantes au tissu productif haut et bas normand. L'autre nouveauté en matière de commercialisation en circuit court ou la vente de produits certifiés AB réside dans l'appropriation de cette nouveauté par un acteur majeur (mais en déclin) : le MIN de Rouen en courage la présence de grossistes de produits bio et est en train de réaliser un carreau (dans le bâtiment de la viande) spécifique à ce type de denrées. Cela va dans le sens de répondre à une demande émergente, mais c'est aussi un palliatif au recul net de cet acteur sur la scène commerciale, voire une forme de concurrence adressée à la grande distribution qui a intégré depuis les années 1990 l'importance de cette niche de consommation.

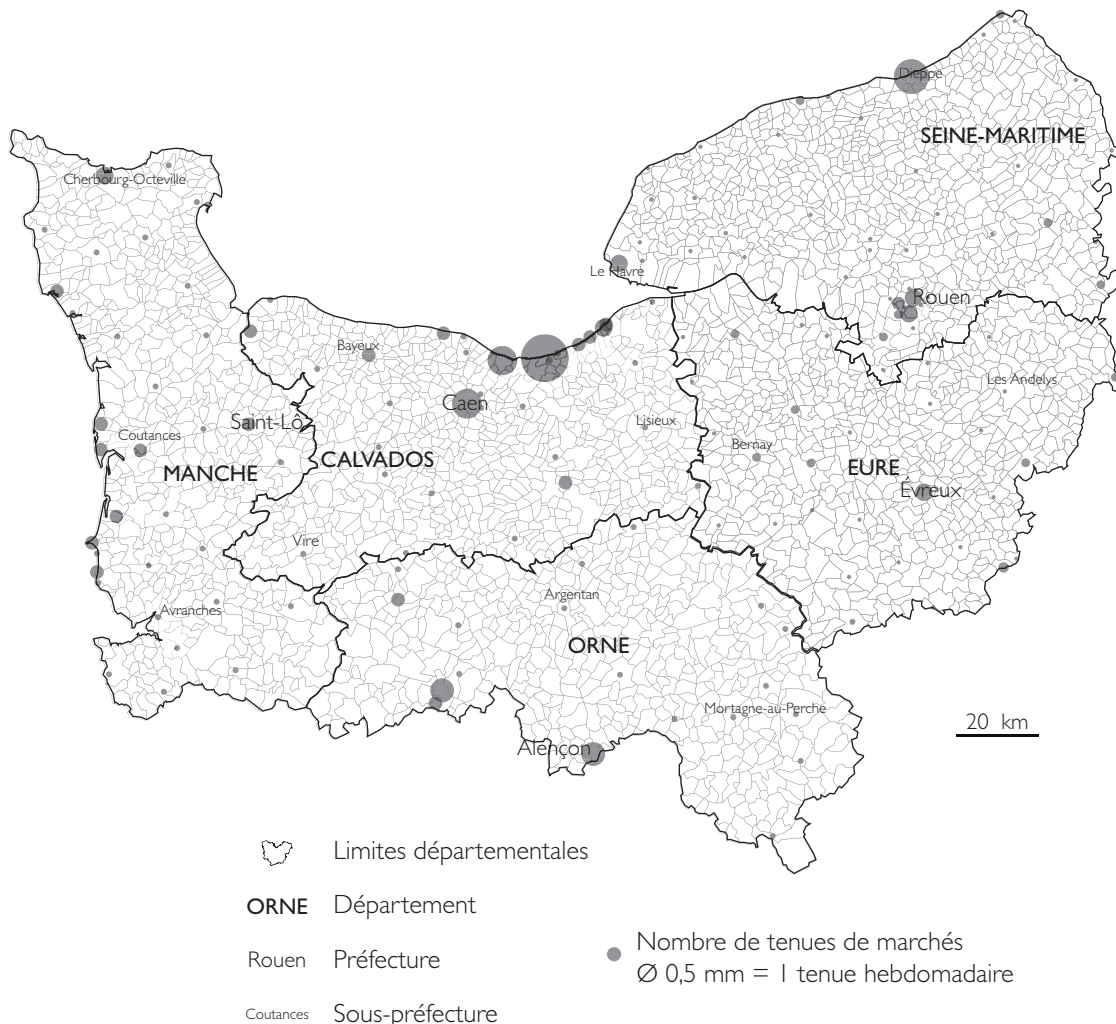


Figure 17. Sites et tenues hebdomadaires des marchés en 2014.

Source : Fédération des marchés de France ; traitement : S. Bognon, 2016.

Autre forme de commerce de proximité, voire de circuit court, les marchés enregistrent un succès qui relève sans doute des mêmes logiques. La figure 17 montre qu'ils continuent de prospérer dans les grands pôles urbains sans être menacés par la grande distribution ; c'est un fait suffisamment

notable à l'échelle nationale pour être remarqué, surtout en Basse-Normandie. D'après nos interlocuteurs, les producteurs s'y maintiennent tant bien que mal et la réussite de ce type de commerce tient surtout, comme pour les formes de vente directe, au fait qu'il draine une grande partie de l'attraction touristique.

Il nous semble enfin intéressant de faire un point sur le tourisme, qui transforme, au moins périodiquement la demande alimentaire normande. De manière générale, l'aire d'attraction touristique « c'est le marché français, Paris et Île-de-France en tête, et dans un second temps le public normand, qui est consommateur de son propre territoire » (Entretien n° 6).

La consommation alimentaire des touristes n'est analysée par l'appareil statistique dont nous disposons que depuis quelques années (Insee Haute-Normandie 2014). Entre 2005 et 2011, elle a augmenté en valeur de 15,1 % pour toute la Normandie, ce qui compte tenu de la hausse des prix reste modeste puisque la progression nationale sur la même période s'élève à 17,5 %. En 2011, la restauration (hors hôtellerie et résidence secondaire) représente 9,6 % des dépenses alimentaires touristiques, ce qui est plus faible que la moyenne nationale (hors Île-de-France, elle s'élève à 11,3 %) ; tandis que l'achat d'aliments et boissons quotidiens, et de produits de terroir et souvenirs (notamment alimentaires) représentent 16,4 % des dépenses touristiques (contre 15 % en France hors Île-de-France). Ces chiffres confirment que la villégiature haut-normande est guidée par la consommation en résidences secondaires plus qu'en hôtellerie.

4. Transformations récentes de la gouvernance du système alimentaire normand

Les signes de transformation du système alimentaire normand relèvent de trois catégories connexes qui ont trait à la gouvernance du système alimentaire : l'émergence de l'acteur public comme levier de changement par le biais de la commande publique, l'essor d'une notoriété et de consommateurs pour les productions régionales, le développement commercial des circuits courts de proximité. Ces transformations entretiennent un lien étroit avec l'idée que les productions de proximité induiraient une valeur environnementale, d'autant accrue par la réglementation en faveur de productions respectueuses des milieux.

Réglementation environnementale

Sans dater précisément la prise de conscience environnementale des acteurs du système alimentaire, nos interlocuteurs certifient que jusque dans les années 1990, rien de tel ne transparaissait dans le fonctionnement du territoire.

« [Dans les années 1980,] on n'avait pas en tête l'aspect environnemental » (Entretien n° 19).

« Les années 80, c'était le pire moment pour les pesticides. En formation agro [agronomie], le bio n'était même pas évoqué et les pesticides étaient utilisés à tout va ». (Entretien n° 16.)

À l'échelle nationale et en amont de toute transformation, les programmes scolaires de l'enseignement agricole se transforment au profit d'une meilleure prise en compte de l'environnement dans les pratiques de production.

« Entre 2005 et 2010 il y a une dynamique qui a émergé. Par exemple l'enseignement technique agricole revoit ses enseignements, avec le slogan *enseigner autrement pour produire autrement* [...] Cet accompagnement se met en place. Seulement vouloir améliorer l'efficacité des phytosanitaires ne va permettre de réduire leur usage que de 10 à 15 %. Si on veut réduire plus [pour

être conformes à des réglementations exigeantes], il faut avoir une approche systémique des productions végétales » (Entretien n° 20).

De nombreuses actions sont menées par les institutions d'envergure régionale, par les collectivités locales, mais aussi par des acteurs parapublics et privés. Depuis 1991, l'association Les Défis Ruraux, affiliée au réseau national des Centres d'Initiative pour la Valorisation de l'Agriculture et du Milieu rural (CIVAM) propose un accompagnement technique pour favoriser la réduction des impacts négatifs de l'agriculture sur l'environnement¹⁹, mais aussi pour le maintien, le renouvellement et l'installation d'agriculteurs respectant ces principes (Entretien n° 12). En 2000, une coopérative agricole entreprend de dédier un de ses collaborateurs à une veille juridique concernant la réglementation environnementale. Ce volet de l'activité économique a été rendu nécessaire par l'amplification des réglementations et aussi pour satisfaire à la demande pressentie auprès de la clientèle :

« Ce pôle a pris de plus en plus d'ampleur dans le temps de travail parce qu'avant, les technico-commerciaux pouvaient répondre aux questions des agriculteurs. Aujourd'hui on a deux ou trois personnes spécialisées en réglementation pour expliquer aux agriculteurs, en fonction de la zone... du secteur et de leur contrat, comment ils doivent appliquer la réglementation » (Entretien n° 15).

Des actions plus ciblées sont aussi entreprises par la Chambre d'Agriculture :

« Avec le service Économie Environnement, on réalise des missions de préservation des espaces (ressources en eau avec l'accompagnement des agriculteurs sur les périmètres de captage), des actions de sensibilisation et des conseils auprès des exploitants ou des organismes porteurs de programmes de lutte contre les pollutions (par exemple, la maison de l'estuaire, et on soutient aussi les exploitants qui sont dans les réseaux Natura 2000) » (Entretien n° 8).

Et depuis 2012, l'agglomération de Rouen attribue, avec les chambres consulaires et les services déconcentrés de l'État (DRAAF, Agence de l'Eau) des aides aux agriculteurs sur critères environnementaux, en particulier sur les mesures qui peuvent être prises à l'échelle de l'exploitation pour la protection de la ressource en eau (Entretien n° 24).

Les démarches valorisant ou imposant une réglementation favorable à l'environnement touchent donc essentiellement le secteur agricole du système alimentaire. Un premier échelon concerne l'application au territoire de la Politique Agricole commune. La répartition des fonds alloués est décidée par la Région – par délégation de l'État –, guidée par les recommandations de la Chambre d'Agriculture. Celle-ci met en avant une volonté de développer l'activité, et donc de répartir les fonds sur le maximum de filières et d'exploitations, mais, ainsi que le souligne notre interlocuteur :

« les fonds [...] sont quand même très fortement teintés de la politique agricole régionale [...]. [Une partie d'entre eux sert] pour le maintien de l'élevage favorisant ainsi les investissements à la transformation fermière pour développer les circuits courts, pour la mise en place du nouveau dispositif des mesures agricoles et environnementales ou climatiques » (Entretien n° 8).

La Politique Agricole Commune n'est pas qu'une ressource pécuniaire pour les agriculteurs, elle est aussi un moyen d'orienter l'activité agricole vers une qualité environnementale accrue, en particulier par le soutien à la conversion et au maintien des exploitations aux modes de cultures certifiés biologiques.

« Pour être clair des élus de la région Haute-Normandie ont eu comme volonté, suite à [...] de mettre plus d'environnement et plus de bio dans cette politique. Ils

¹⁹ Ces mesures incluent la valorisation des prairies, une sensibilisation au gaspillage des intrants, des formations au désherbage mécanique.

ont réussi et c'est en cours de finalisation. Ils vont pouvoir proposer aux producteurs d'orienter une partie des aides de l'Europe pour avoir plus d'argent quand ils font du bio, quand ils rejettent moins de produits, qu'ils font plus de productions à herbes... [...] Voilà donc les pouvoirs locaux ont vraiment fait ce qu'il faut pour taper du poing sur la table et ça a été suivi par les autres élus et les agriculteurs de la chambre sans froisser. Après le système de la PAC est à double tranchant, car les mesures agro-environnementales sont contraignantes mais tout le monde ne les demande pas donc si on ne les demande pas on peut continuer à polluer tranquillement. [...] Donc au niveau de l'Europe il y a des choses pas très logiques. Et les aides européennes sont trop liées à la surface des exploitations. Plus on a de terres même si on pollue ou qu'on n'y fait rien, on a plein d'aides. Alors qu'un maraîcher qui a une petite surface, ne sera pas aidé. C'est tout ça que la région Haute-Normandie voulait essayer de changer » (Entretien n° 10).

Au début des années 2000, l'association interprofessionnelle bas-normande Interbio naît, en relation avec le Groupement Régional des Agriculteurs BIO (GRAB) de Basse et de Haute-Normandie. Depuis lors, son objectif est l'encouragement à la conversion des exploitations à l'agriculture biologique et la création d'une filière spécifique, en particulier en trouvant et en créant des débouchés dans la restauration collective et par la sensibilisation des consommateurs. En 2010, une antenne spécifiquement haut-normande est créée : ses adhérents sont les producteurs recensés par le GRAB, mais aussi des artisans, des restaurateurs, des collectivités et quelques industries agro-alimentaires (Entretien n° 21). D'autres organismes se créent pour structurer une filière biologique. Ainsi, la coopérative BIOCER a été créée en 1988 dans l'Eure et commercialise des céréales certifiées. Son activité prend de l'ampleur avec l'ouverture de deux nouveaux sites de collecte et de vente dans le même département et dans la Somme, respectivement en 2002 et en 2010. Vu le profil agricole de la région, cette entreprise est considérée par certains comme « l'acteur incontournable [du développement de l'agriculture biologique] en tout cas pour ce qui est des grandes cultures » (Entretien n° 21).

Mais le soutien à l'agriculture biologique ne fait pas consensus : cette mise en valeur agricole reste une ressource environnementale de niche dans le contexte normand, ainsi que nous l'explique un agronome :

« Moi en tant qu'agronome et enseignant, je n'oppose pas les systèmes [...]. Comme d'autres acteurs, je pense qu'il serait bien que la surface en bio se développe un peu. Il y aussi des raisons qui font que la bio est pas plus développée que ça en Normandie. [...] On est ici sur des zones extrêmement fertiles [...], des territoires avec des niveaux de rendements très élevés, et il est clair qu'avec des productions aussi élevées, ça ne pousse pas à développer des productions biologiques [...]. Sachant qu'en moyenne, à la louche, on divise les rendements par deux en bio [...]. Ça veut pas dire que ça n'a pas d'avenir, mais il y a un contexte culturel, structurel, qui fait qu'on est plutôt sur des hauts niveaux de production. [...] C'est sûr qu'en bio, le cahier des charges impose de ne pas utiliser d'intrants de synthèse [...], ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas de phytosanitaires en bio [...]. Le mode de production impacte fortement l'utilisation des intrants. En [agriculture] intégrée, vous allez réduire au maximum la couverture chimique des cultures, et si vous êtes en [agriculture] conventionnelle raisonnée, vous allez utiliser de la manière la plus efficiente possible ces intrants. Ce qu'on appelait avant l'intensif, avec des traitements systématiques, je pense que c'est en train de disparaître, on est à minima sur un système raisonné où on utilise des produits vraiment si on ne peut pas faire autrement avec les objectifs de l'agriculteur » (Entretien n° 20).

Loin d'être généralisées, ces démarches tous azimuts sont parfois teintées d'injonctions paradoxales, ainsi que le relatent plusieurs de nos interlocuteurs.

« Les agriculteurs sont tiraillés entre de nombreuses contraintes financières et techniques et souvent les mesures agro-environnementales sont perçues comme des contraintes supplémentaires. Par exemple, un éleveur en site Natura 2000, qui voulait faire du lait bio, devait faire son propre foin en retournant une prairie pour obtenir son label bio. Mais Natura 2000 n'autorise pas le retournement et il a dû arrêter de faire du lait bio. Il s'est mis à faire de la viande industrielle à la place » (Entretien n° 26).

« Aujourd'hui, on a un seuil de contraintes réglementaires extrêmement fort et qui devient presque contre-productif parce que derrière une réglementation il y a des seuils qui sont mis en place pour que cela soit contrôlable, mais qui ne sont pas toujours faciles à adapter à un niveau local par rapport un contexte agronomique et climatique. [...] La mise en place de plus en plus de programmes dans chaque domaine (eau, air, sol) peut avoir un effet contradictoire au niveau des différents enjeux. Aujourd'hui, on assiste de plus en plus à une superposition de couches avec des enjeux et des objectifs tout à fait légitimes mais qui provoquent un flou total pour les agriculteurs qui ne savent plus vers quoi se tourner et comment bien travailler en bonne conscience tout en respectant les lois prioritaires qui sont le sol et le climat. Par exemple, pour la qualité de l'air, on va demander de pas trop développer l'élevage par rapport aux effluents mais pour la qualité de l'eau, on va imposer à développer de la surface en herbe et donc une nécessité de développer l'élevage » (Entretien n° 8).

« Il y a encore un peu de chemin à parcourir, la volonté des pouvoirs publics d'orienter les productions sur l'agro écologie, sur le « produire autrement » va dans ce sens-là. [...] mais pendant un temps, il y a eu aussi une injonction un peu contradictoire des pouvoirs publics, à savoir qu'on a un système d'aides qui favorise des hauts niveaux de production, et en parallèle on veut améliorer la qualité de l'environnement, donc il y a un peu un antagonisme. Avec la nouvelle PAC les choses vont un petit peu plus dans le sens de la multiple performance économique et environnementale » (Entretien n° 20).

Le rôle de l'acteur public

Moult actions sont menées par les pouvoirs publics pour esquisser une gouvernance alimentaire du territoire normand. À l'échelle nationale, le sujet est traité par deux démarches de planification. D'une part le contrat de filière trouve une déclinaison régionale soutenue par l'AHNORIA, le président de Région et le préfet de Région. Il s'agit d'un plan national de promotion de la filière agro-industrielle alimentaire, mis en place en 2013 par les ministères du Redressement productif, de l'Agriculture de l'Agro-alimentaire et de la Forêt. Par ce contrat, l'État s'engage à promouvoir les filières françaises de la production à la distribution alimentaire²⁰. Il comporte quatre volets – l'emploi, l'innovation, le respect de l'environnement, la stratégie collective interprofessionnelle – et engage les signataires à du soutien financier, logistique, en termes de formation et d'accompagnement de projets. En Haute-Normandie, une trentaine d'action a été décidée mais aucun moyen financier n'est encore débloqué pour les mettre en œuvre²¹, et les actions concernent

²⁰ Les informations qui suivent sont tirées de la page dédiée sur le site du ministère de l'Agriculture : <http://agriculture.gouv.fr/le-contrat-de-la-filiere-alimentaire> (référence du 15 novembre 2015).

²¹ Au moment de notre enquête, notre interlocutrice de l'AHNORIA (entretien n° 2) indiquait que seule une action de mutualisation des compétences fondamentales avait été engagée.

plus les entreprises que les activités de production, de transformation et de distribution alimentaires (Entretien n° 4).

D'autre part, le Plan National de l'Alimentation (PNA) est un programme lancé en 2010, divisé en quatre axes déclinés à l'échelle régionale, tel que nous l'explique notre interlocutrice de la DRAAF :

« [...] la justice sociale, c'est-à-dire des actions qui visent plutôt des publics... ; l'éducation alimentaire de la jeunesse, avec des programmes nationaux qui s'adressent par exemple à la distribution de fruits et légumes dans les établissements scolaires ; le gaspillage alimentaire ; et puis, la valorisation des produits locaux, les circuits courts, etc. [...] donc on a une enveloppe budgétaire pour soutenir des projets [...]. On se met tous autour de la table pour faire évoluer l'outil : quels sont les acteurs qui sont intéressés, sur quel périmètre, éventuellement s'il y a de l'argent public qui peut venir amender tel ou tel projet, impulser de nouvelles actions. [...] En coordonnant, en mettant les acteurs autour de la table, [la DRAAF] est susceptible de faire émerger des thématiques, et de faire émerger des idées qui font qu'on impulse des actions » (Entretien n° 27).

Une conséquence (ou une action concomitante à ce plan pour certains cas) est la prise en main par les collectivités de l'approvisionnement alimentaire de la restauration scolaire. En effet, agir sur la consommation alimentaire des jeunes permet de répondre à plusieurs des enjeux soulevés par le PNA et pourrait avoir un effet d'entraînement sur les modes de productions des denrées :

« La personne qui fait ses courses en supermarché, elle n'a aucune idée [du] boulot qu'il y a derrière. Par exemple en restauration scolaire, l'enfant ne sait pas le boulot qu'il y a eu derrière pour construire le repas. S'ils ont pas envie de goûter, ils jettent, ils ne se rendent pas compte du temps de préparation en cuisine. Ils n'ont plus de notion de préparation de nourriture » (Entretien n° 12).

« C'est une demande des collectivités aussi, une forte demande de nos politiques. À la base, c'est une demande des parents d'élèves qui font ressentir ça au niveau des élus, puis qui mettent eux-mêmes la pression au niveau des cuisines centrales » (Entretien n° 19).

Le terrain normand semble assez propice à ce genre d'initiatives, mais leur succès varie selon des échelles spatiales considérées. Ainsi, l'approvisionnement des lycées normands demeure peu concluant. En effet, pour les lycées, nos interlocuteurs estiment que la demande ne peut pas être totalement couverte (Entretien n° 9²²) : la transformation de produits laitiers et carnés ne couvre pas la demande générée par les lycéens, les productions saisonnières de fruits et légumes sont insuffisantes ; à l'inverse, les farines pour le pain fourni sont issues de productions régionales et transformées en Normandie, de même que les poissons proviennent des arrivages des ports de la Seine-Maritime (mais pas nécessairement de la pêche normande). À l'inverse, l'approvisionnement des écoles maternelles et élémentaires et des établissements publics rouennais (services municipaux, maisons de retraite, etc.) montrent la possibilité de réussite de telles politiques.

Encadré : Essor et clés du succès de l'approvisionnement de proximité de la restauration collective rouennaise des années 1990 à nos jours

Jusque dans les années 1990, chaque établissement rouennais fournissant une restauration collective avait une cuisine et un cuisinier. En 1994, une cuisine centrale est construite, gérée par un groupe privé, qui distribue de manière uniforme les repas de toute la collectivité : « Le groupe [...]

²² Notons que cet entretien s'est déroulé dans des conditions particulières : les enquêteurs rapportent qu'ils n'ont pas pu enregistrer les propos de leurs interlocuteurs par refus de ceux-ci, qualifiant le sujet de sensible et surtout voyant approcher les élections régionales de décembre 2015.

faisait de la cuisine économique avec des produits surgelés comme des nuggets avec des frites, bien qu'il affichait cuisine de qualité sur le papier... Ils arrivaient à faire 12 000 repas jour sur le site alors que nous n'arrivons qu'à faire que 8 500 repas maximum. À l'époque, le groupe [...] travaillait uniquement quatre à cinq produits par jour. Aujourd'hui nous travaillons huit produits par jour » (Entretien n° 17).

Dans un contexte de restriction budgétaire, l'objectif de la collectivité est de maîtriser les coûts, ce qui était difficilement possible avec la gestion commerciale déléguée dont les tarifs étaient négociés pour toute la période du marché public conclu. En 2011, à la faveur d'une promesse électorale de 2007, la Ville de Rouen récupère la gestion de la cuisine centrale – cette régie est intercommunale depuis 2014. Les retombées attendues sont d'ordre environnemental (approvisionnement de proximité pour limiter les transports, voire en produits certifiés AB dans la mesure du possible), social (maintien du tissu productif²³), gastronomique (amélioration de la qualité des repas et donc limitation du gaspillage) et financier (les coûts étant maîtrisés, la facture des parents d'élèves ne devait pas changer) Les investissements matériels étant amortis, ils sont aujourd'hui prioritairement attribués au fonctionnement et à l'approvisionnement alimentaire. Une première difficulté a été surmontée : la formation des personnels de cuisine a été rapide. Une autre entrave initiale a été la capacité de réponse des fournisseurs (en volumes, en produits et en savoir-faire technique) :

« Par exemple on [ne peut pas contractualiser sur la] salade car le volume de produit serait trop important pour [le producteur]. Il fallait aussi faire comprendre aux producteurs qu'on voulait des produits adaptés, par exemple [...] il faut que les carottes nous arrivent propre et sans terre dessus... Il y a donc des produits [qu'on ne peut pas commander] sans investissement d'agrandissement de la cuisine centrale. Mais nous sommes fiers de d'utiliser 80 % de produits frais [...] les producteurs savent pas répondre directement à des appels d'offres. La tâche est trop compliquée. Ils ont pas la structure pour... Les petits producteurs s'appuient sur des associations. Dans la région nous avons deux associations : Local et facile qui s'occupe des produits locaux, légumes, beurre, œuf, fromage et fruit de saison. Puis nous avons l'association Les paysans normands qui est un regroupement de producteurs locaux et bio. [...] Pour un produit sur deux, les produits sont commandés aux associations puis livrés par le producteur concerné [...] On essaye de faire le maximum de lots pour avoir le plus possible de propositions et donc d'avoir le plus de producteur locaux. Le coût d'un petit producteur sera souvent moins cher que la grande distribution – ils ont pas à investir dans le transport par exemple » (Entretien n° 17).

Et notre interlocuteur indique que « tout le fonctionnement a changé » du fait d'une volonté politique : les ressources locales sont mobilisées (Eure et Basse-Normandie en majorité) et pour le reste, le syndicat intercommunal privilégie les provenances françaises (« Ça arrive uniquement pour les produits comme les fraises et les oranges. On s'autorise d'acheter ces produits pour varier les menus des enfants et leur faire plaisir » (Entretien n° 17)) ou européennes car, comme dans toute gestion commerciale, « l'économie passe en priorité... » (Entretien n° 17).

Un autre plan sur lequel cherchent à agir les pouvoirs publics locaux est celui de la mise en œuvre d'une gouvernance territorialisée du système alimentaire. L'agence d'urbanisme haut-normande, par exemple, ne parvient ni à guider ou ni à suivre les débats et à en synthétiser les résultats pour préconiser des décisions politiques qui toucheraient tout le territoire.

« À l'agence [AURBSE], on se sent en marge de ce type de politiques. On n'arrive pas à gérer ce type de politiques parce qu'elle est phagocytée par la production

²³ Notre interlocuteur indique que « pour produire un yaourt à la Ferme du peuplier [dans l'Eure] il faut 19 personnes contrairement à 2 personnes pour un yaourt chez Danone. Le coût de ces produits est jusque cinq fois plus cher mais on préfère ... » (extrait de l'entretien n° 17).

industrielle, notamment à cause du rôle exportateur du port de Rouen » (Entretien n° 16).

Cela est illustré par une tentative de coordonner la politique logistique liée aux flux alimentaires, et l'échelon régional demeure difficile à exploiter sur cette question pourtant majeure pour l'avenir du système alimentaire. En effet, les décisions sont soit prises à un échelon supérieur (État, HAROPA, Axe Seine), soit par des entités privées dont le secret commercial exclue la participation des pouvoirs publics locaux :

« Ce que nous constatons en tant qu'agence d'urbanisme, c'est qu'il existe depuis longtemps des habitudes de travail en commun par groupe de deux ou trois ensembles institutionnels. Nous avons notamment fait ce constat lors d'une réflexion collective en vue de l'élaboration d'un référentiel logistique [...]. Ce que nous avons remarqué alors, c'est que l'ensemble des acteurs de la logistique (et ils sont très nombreux sur le territoire normand) s'entendait par groupe de deux ou trois pour porter une réflexion globale sur l'organisation de la logistique, et ce depuis plus de dix ans. [...]. Ainsi, nous avons remarqué une forme de compartimentage des réflexions [...] »²⁴.

Malgré ces difficultés sur la question logistique, d'autres formes d'organisation d'une gouvernance alimentaire territorialisée, plus ponctuelles ou sectorielles, sont trouvées par les pouvoirs publics. À titre d'exemple, outre les actions en faveur du respect des réglementations environnementales, la Chambre d'Agriculture tente de structurer les filières liant producteurs et consommateurs de proximité :

« [Le] pôle territoire [de la chambre d'agriculture] [...] réalise également des actions de sensibilisation auprès des agriculteurs ou des collectivités concernant la vente, la transformation en circuit court et les problématiques foncières et urbanisme en milieu rural (impact des ouvrages sur les espaces agricoles, conservation des espaces et des corps de ferme, action de développement territorial). [...] La Chambre réalise au auprès des exploitants un accompagnement technique des projets [...] de reconversion [vers des canaux de distribution en] circuit court, une aide à la commercialisation et de la formation/sensibilisation. Concernant les collectivités, la Chambre réalise des actions de sensibilisation sur l'approvisionnement local (des produits locaux), des actions de promotion et de commercialisation par l'intermédiaire de marché de produit locaux (marché fermier) et enfin elle produit des documents pédagogiques (primaire, collège, grand public) » (Entretien n° 8).

Reterritorialisation du système alimentaire par les distinctions géographiques et l'approvisionnement régional

Nous avons déjà évoqué les raisons pour lesquelles certains acteurs souhaitent favoriser l'essor des circuits courts voire des circuits courts de proximité. Cela se matérialise dans le système alimentaire régional par deux grands types d'actions. La première concerne la valorisation de l'origine géographique – normande – des produits. C'est la tâche que se donne l'Institut Régional de la Qualité Agroalimentaire (IRQUA) de Normandie en mettant en place la marque commerciale Gourmandie depuis le début des années 2000.

²⁴ Extrait d'un courrier électronique du 5 juin 2015 envoyé par le chargé de projet Cohérence du développement des territoires de l'AURBSE.

Encadré : Genèse et succès d'une marque de territoire, Gourmandie²⁵ : des années 1990 à nos jours

Partant du principe que la profession agricole avait « abandonné » la promotion des produits régionaux, les chambres consulaires (Agriculture, Commerce et Industrie) ont souhaité mettre en place une manière de valoriser les produits locaux, sans nécessairement s'attacher à la « valeur terroir » dont ils pouvaient être porteurs. L'objectif était double : avoir « un porte-drapeau de la qualité normande, au-delà des signes officiels de qualité » et « faire vivre nos entreprises et nos agriculteurs ». Anticipant puis rencontrant la demande des consommateurs, Gourmandie devient en 2003 la deuxième marque commerciale de territoire (après Produit en Bretagne). En 2015, la marque concerne une centaine d'entreprise et quelques 300 produits sélectionnés selon trois critères : proximité (« produit en Normandie, c'est quand même la moindre des choses, avec des matières premières régionales »), savoir-faire (« on a un ingénieur qualité en interne qui va visiter les ateliers... pour vérifier... »), saveur (« un panel de soixante consommateurs qui jugent les produits »). La marque est attribuée par l'IRQUA à un produit (et non pas à une entreprise) qui sera ensuite floqué du logo pour être facilement reconnu des consommateurs – en dix ans d'existence, la marque a acquis un taux de notoriété de 64 %. Les produits sont surtout commercialisés par la grande distribution avec laquelle l'IRQUA travaille pour faire entrer les produits comme références dans les catalogues de centrales d'achat régionales, mais aussi par les enseignes de détaillants non affiliés.

De manière similaire, le tourisme est vecteur de promotion des produits normands : notre interlocuteur du Comité Régional de Tourisme (Entretien n° 6) indique que son institution et l'IRQUA travaillent ensemble sur des actions de communication auprès des touristes présents (dégustations, circuits) et à venir (pour la conquête de marchés). Plus largement mais de manière marginale, les productions normandes sont valorisées dans les régions limitrophes :

« c'est plus des initiatives de producteurs qui ont un produit de qualité et qui vont aller le vendre en Île-de-France, à Paris, dans les restaurants. Il n'y a pas de flux très structurés de marchandises entre la Haute-Normandie et Paris, sauf les produits industriels type yaourt etc. On a une production porcine en Haute-Normandie [...]. Ces porcs sont abattus en Île-de-France, c'est une organisation industrielle d'élevage on ne peut pas dire que c'est un flux organisé de produits [spécifiquement normands] vers les gourmets d'Île-de-France » (Entretien n° 11).

Une autre voie de la reterritorialisation du système alimentaire passe par le développement des circuits courts de proximité. Deux types d'acteurs qui les mettent en place ont été enquêtés : le réseau des Associations pour le Maintien d'une agriculture paysanne (AMAP) et les magasins de producteurs. Signalons que les AMAP apparaissent en Haute-Normandie en 2004 dans les trois pôles urbains (Rouen, Le Havre et Évreux) et une petite ville de l'Eure (Pont-Audemer) et que le réseau régional naît en 2010. Nos interlocuteurs s'accordent sur la constante progression de ce format de vente quasi directe :

« La demande [...] augmente, ça c'est manifeste. En alimentaire, le bio est un des seuls secteurs qui est en progression, c'est 9 % d'évolution de part de marché, tous lieux et produits de vente confondus » (Entretien n° 10).

« En cinq ans, les circuits courts du producteur au consommateur se sont implantés de plus en plus dans l'agglomération [rouennaise] » (Entretien n° 16).

« Les paniers tout le monde se lance dedans » (Entretien n° 5).

Les magasins de producteurs sont des structures commerciales émergentes, nées d'un certain manque de visibilité pour les producteurs qui souhaitent commercialiser en direct voire d'une

²⁵ Les informations et les citations de cet encadré proviennent de la documentation de la Chambre d'Agriculture et de l'entretien n° 1.

volonté de leur part de diversifier leur activité (Entretien n° 14). Il s'agit de groupement d'agriculteurs qui trouvent un local pour vendre leurs productions en commun et mutualiser les coûts que sous-entend l'exercice d'une activité supplémentaire :

« Les producteurs manquaient de temps et de compétences pour vendre eux-mêmes leurs produits mais les consommateurs cherchent de la transparence qu'ils ne trouvent pas forcément dans les supermarchés qui ont le monopole » (Entretien n° 14).

AMAP et magasins de producteurs se développent en même temps que semblent renaître des formes de déspecialisation dans les pratiques agricoles, car les producteurs de denrées brutes et directement consommables y trouvent des débouchés commerciaux intéressants (Entretien n° 10). Enfin, des innovations dans les formats de vente produisent des hybrides originaux²⁶. Néanmoins, ces nouveaux formats de vente rencontrent des difficultés : d'une part, les surfaces agricoles consacrées aux produits directement consommables restent faibles et ne sont pas en capacité de répondre en masse à une demande qui serait généralisée, d'autre part, les initiatives de ce type sont encore peu structurées, et gouvernées par les formes commercialisation dominantes :

« Mais vu le potentiel existant de la région et le gros bassin de population, les circuits de courts sont encore très peu développés. L'offre est inférieure à la demande notamment au niveau du maraîchage. Il y aussi un gros déficit dans le développement des structures collectives (des magasins ou autres...). [...] Le regroupement [de producteurs] pourrait être une réponse pour le développement [des circuits courts de proximité]. Mais dans notre région, il n'y a pas une tradition du collectif... des regroupements existent au niveau du partage du matériel mais il y a très peu dans le partage sur l'investissement collectif. [...] Ce partage n'a pas été une obligation pour pouvoir assurer son revenu et trouver une valeur ajoutée. Dans notre département, c'était se compliquer la vie pour le faire. Il y avait un revenu assuré par les grands marchés » (Entretien n° 8).

« [...] on a plein de petits producteurs, enfin plein, on a quelques petits producteurs, disséminés sur tout le territoire, mais il y en a très, très peu qui acheminent leurs produits jusqu'à Rouen. Donc le but est de collecter les produits dans les fermes et de les distribuer sur l'agglomération rouennaise [...]. En termes de commercialisation on vient d'ouvrir une boutique il y a un mois, pour en revenir aux fondamentaux du commerce. Ça fait deux ans que les gens s'inscrivent sur notre site mais la vente en ligne ça patine partout. Les AMAP ça patine aussi. Il y a un effet d'essoufflement et ça fait deux ans que les gens nous disent « c'est génial ce que vous faites mais moi je ne commanderais jamais en ligne. Ouvrez votre boutique et on viendra chez vous » » (Entretien n° 22).

Notre enquête révèle que la conquête des canaux classiques de distribution (MIN et grande distribution) par les producteurs de proximité pourrait être une aubaine commerciale et un moyen efficace de réaliser une forme de reterritorialisation massive du système alimentaire.

« [...] si on veut raisonner développement de circuits courts, il faut raisonner par l'intermédiaire du MIN. Les collectivités peuvent s'approvisionner au MIN en mettant dans leurs cahiers des charges des produits locaux pour alimenter les cantines scolaires, les livraisons de repas

²⁶ Notre interlocuteur de la SCOP Seine Saveur Bio indique que sa structure mélange vente en boutique et livraison de plateau repas, afin de toucher des publics plus larges, et donne l'argument de vente supplémentaire au bio, que les plats sont préparés par des publics en insertion (Entretien n° 28).

à domiciles etc... [...] Sur le MIN il doit rester 12 grossistes en fruits et légumes, qui font du volume, mais ils vont acheter leurs marchandises sur les marchés de gros d'expédition [...] avec des produits qui viennent d'Espagne, du Maroc, de France mais pas de Haute-Normandie. On a un carreau des producteurs au MIN, c'est l'endroit où les producteurs locaux viennent vendre, ils sont peut-être 25 à venir vendre sur les 300-400 maraîchers de la région. Il n'y a pas vraiment d'organisation de marché. Moi je pense que par ce biais on pourrait développer du commerce de proximité. Mais faut sortir d'une logique individuelle et avoir une démarche collective, et ça c'est me semble-t-il beaucoup plus facile à mettre en place que de vouloir faire de la promotion de la vente en circuit court, de la vente directe, qui toucherait de toute façon moins de personnes. C'est plus par une organisation collective qu'on développera la vente directe » (Entretien n° 11).

« On fait des commandes groupées avec Biocoop par exemple, pour atteindre notre franco [sic, i.e. un minimum de commande groupée pour obtenir une remise sur les frais logistiques]. Et aujourd'hui on est en train de travailler avec eux, justement sur des projets à plus grande échelle, d'essayer de monter des projets avec des financements derrière, avec la France ou avec l'Europe, pour arriver à avoir une taille, un effet de masse, une économie d'échelle... En gros c'est de la massification des achats. C'est notre plus gros problème à toutes ces petites structures. Énormément de charges liées à notre logistique, à l'administratif... Intermédiaires comme producteurs on passe énormément de temps à faire du traitement de commande, de la préparation de commande, de la livraison porte à porte sur des toutes petites commandes, de la facturation, des bons de livraison... ça prend des heures ! » (Entretien n° 22).

Des acteurs auxiliaires de ces démarches se font jour : les syndicats agricoles, les associations telles que les Défis Ruraux, Interbio, les collectivités qui font appel à des groupements de producteurs (Entretien n° 10). Ainsi, les pôles urbains sont amenés à jouer un rôle dans la transformation à venir du système alimentaire normand :

« Un des objectifs de la Métropole c'est de centraliser à nouveau la production alimentaire sur son territoire [...]. C'est dans ce cadre qu'on a mis en place un dispositif d'aides aux circuits courts. [...] Le but de la démarche [...] est aussi d'amener [les consommateurs] à se questionner et à modifier leurs habitudes de consommation. [...] à terme, oui, ça peut changer, mais il faut encore structurer les producteurs qui sont pour le moment tous éparpillés. Par exemple, il n'existe que deux magasins de producteurs sur le territoire de la métropole, ce qui est trop peu comparé à la superficie. [...] Et puis, monter un groupement de producteurs, ça prend entre deux et trois ans, d'après ce qu'on sait de la région Nord. Nous on commence tout juste à réfléchir à cette question » (Entretien n° 24).

Enfin depuis les années 2010, l'orientation générale de la trajectoire qui a prévalu au cours du 20^{ème} siècle se maintient à quelques frémissements marginaux près. Avec la grande distribution, les industries agro-alimentaires continuent de dominer le système alimentaire. L'hégémonie des premières tient à une certaine spécialisation logistique de l'espace régional, en lien avec les flux

portuaires et la proximité de la région capitale²⁷. La Haute-Normandie est donc une plaque tournante, secondant et dédoublant la place parisienne, comme l'ultime relais entre la France et le monde pour les produits alimentaires. De nouvelles logiques de proximité – à la fois dans les représentations des consommateurs et dans les revendications du monde agricole – ont un impact de plus en plus prégnant sur les politiques d'approvisionnement alimentaire des individus et des collectifs de consommateurs, et donc sur la grande distribution. En effet, des initiatives de commercialisation et de consommation alternatives à l'état globalisé et fragmenté des logiques du marché alimentaire produisent une réémergence des productions non industrielles (le maraîchage notamment) – malgré la continuelle progression des grandes cultures et de l'élevage bovin. Ce regain des productions vivrières à proximité des pôles de consommation, certifiées pour leur qualité ou pour leur origine, trouve absorption locale, tant par les enseignes de la grande distribution, répondant à une demande de la part de certains clients, que par les institutions publiques (restauration collective, tourisme gastronomique, chambres consulaires) en lien avec le soutien à l'économie régionale.

Les perspectives ouvertes par ces initiatives, encore marginales pour les volumes qu'elles concernent, touchent à une éventuelle restructuration des pratiques agricoles (OTEX et certifications qualitatives, notamment) et de consommation (réseaux alternatifs, attention prêtée à l'origine et à la qualité des produits consommés). Ces transformations ne manqueront sans doute pas de conséquences sur le paysage logistique haut-normand et soulèvent aussi des enjeux à une autre échelle, étant donnée la fusion régionale du 1^{er} janvier 2016.

²⁷ Notons néanmoins que l'agro-alimentaire régresse vis-à-vis des autres secteurs industriels dans la région, qui mettent autant à profit l'avantage infrastructurel et logistique, ainsi que la situation géographique, et génèrent, à volumes équivalents ou inférieurs une création de richesse plus importante (Entretien n° 4).

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date : 31 mars 2017

L'évolution de l'agriculture Normande de 1960 à 2010

Josette Garnier & Gilles Billen
UPMC-CNRS, UMR METIS, Boîte 125, 4 place Jussieu, 75005 Paris

1. Introduction

La Région Normande est un espace en pleine mutation, situé à la croisée d'un grand nombre d'enjeux économiques, sociaux et environnementaux. C'est une région portuaire importante traversée par les flux importants de marchandises importées et destinées à l'approvisionnement de tout le Nord de la France, et plus particulièrement de l'agglomération parisienne, mais aussi par les flux issus de la production agricole et industrielle du bassin parisien et destinés à l'exportation. Comme région agricole, la Normandie occupe une place significative dans la production française, avec un important mouvement de spécialisation spatiale de ses productions. La Normandie est aussi une région industrielle qui doit faire face aujourd'hui à des mutations rapides des conditions de production et de commercialisation de ses produits.

L'avenir des ports normands face à la concurrence d'Anvers et de Rotterdam est un enjeu économique considérable de la Région.

En adoptant une approche d'**Ecologie Territoriale** (Barles, 2010), le **projet RESET**, vise à tout d'abord à décrire l'évolution sur une cinquantaine d'années des relations entre le développement urbain, industriel et agricole des territoires impliqués et celle du fonctionnement biogéochimique des systèmes hydrologiques (fluvial, estuarien et marin côtier) en termes de bilan des éléments biogènes. Pour atteindre ses objectifs, un premier volet du travail a été de retracer les **trajectoires socio-écologiques** des territoires pour relier l'évolution de l'écosystème Estuaire aux choix économiques et techniques qui ont été faits en matière de développement de la Normandie, plus particulièrement en ce qui concerne les fonctions liées au **système hydro-agro-alimentaire** (agriculture, élevage, industrie agroalimentaire, gestion des eaux usées, qualité des eaux souterraines et de surface).

Les statistiques agricoles ont d'abord été utilisées pour décrire les évolutions de variables caractéristiques de changement en agriculture pendant 50 ans (1960-2010). Cette analyse est basée

sur des statistiques départementales pour les 5 départements, la Manche, la Seine Maritime, l'Eure, le Calvados et l'Orne (données Agreste compilées pour la France, [Poisvert et al., 2017](#), et fournies pour les 5 départements de Normandie).

2. Evolutions des densités de population, des nombres d'exploitation et des surfaces agricoles

Les surfaces de ces 5 départements étant proches (environ 6000 km²), l'évolution des densités de population peut aisément être comparée à celles des populations ([INSEE, 2014](#)). Le département de la Seine Maritime est de loin le plus densément peuplé (environ 200 hab/km²), ce qui correspond à la moyenne de la valeur du bassin de la Seine (avec la région Ile-de-France). L'Orne a une densité de population de 50 hab/km², ce qui correspond aux valeurs des territoires amont. Les autres départements ont des densités de population intermédiaire, entre 50 et 100 hab/km². A part l'Orne qui garde une densité de population stable au cours de la période, les autres départements présentent un accroissement, plus marqué pour l'Eure ([Figure 1](#)). Pendant ces 50 années, le nombre d'exploitants diminue régulièrement, la diminution étant un peu plus marquée pour le département de la Manche (-70%) que pour les autres départements (-65%). Au total, on passe de 145 000 exploitants en 1960 à 45 000 en 2010 ([Figure 2](#)).

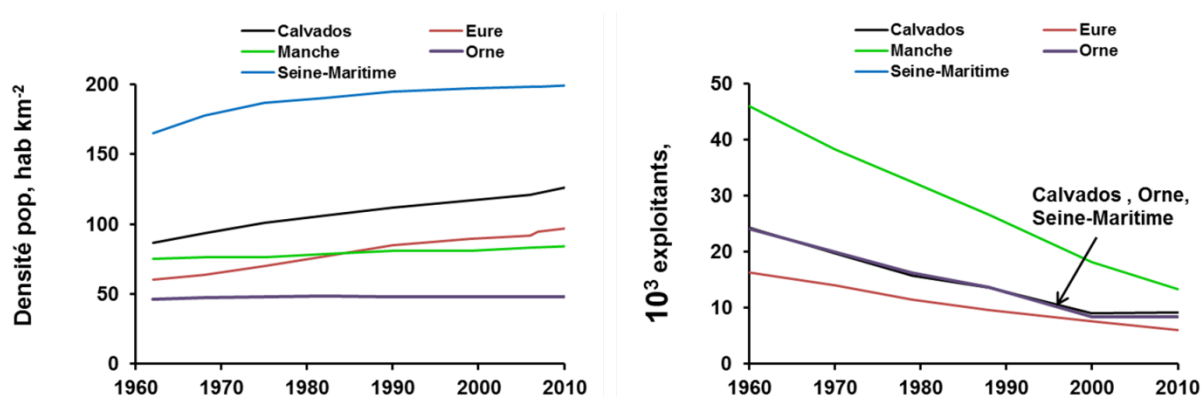


Figure 1. Evolution des densités de population de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie (gauche). Evolution des nombres d'exploitations (droite).

Les surfaces agricoles utiles des 5 départements sont assez proches (15 % d'écart maximum entre les départements) et diminuent assez peu entre 1960 et 2007, d'environ 10 % (6% pour l'Eure), ([Figure 2](#))

Les diminutions sont plus marquées pour les surfaces toujours en herbe (STH), soit une perte d'environ 42 % entre 1960 et 2007 (47 % dans l'Orne), ([Figure 2](#)). Cette perte en STH est de 50% si on considère le maximum de prairie en 1967-68. Cette diminution est le résultat de la mise en place de la PAC en 1962 avec l'objectif de développer la production et la productivité de l'agriculture de façon à garantir la sécurité des approvisionnements alimentaires de l'Europe avec un système de prix agricoles garantis. L'instauration des quotas laitiers en 1984 est certainement responsable de la poursuite de cette diminution.

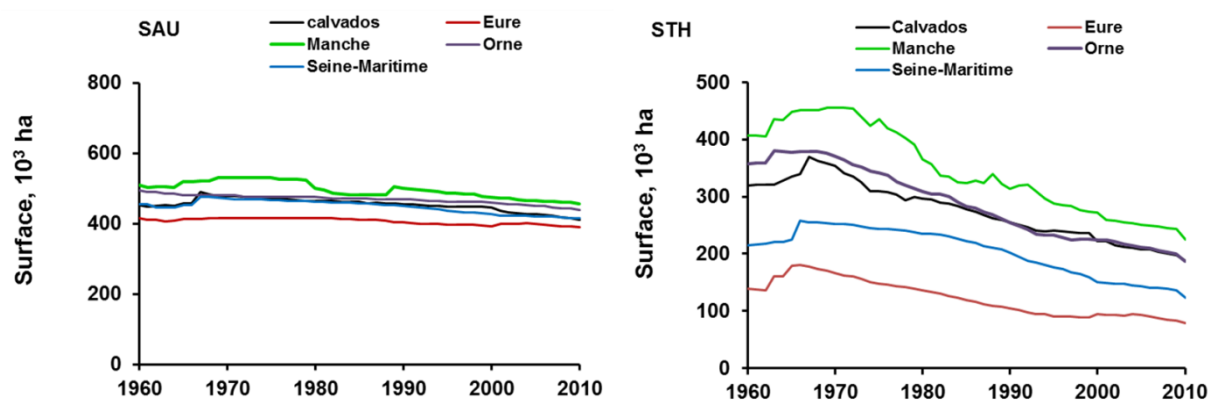


Figure 2. Evolution des surfaces agricoles utiles (SAU) de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie (gauche). Evolution des surfaces toujours en herbe (droite).

3. Evolution du cheptel

L'évolution des bovins et vaches laitières est assez parallèle à celles des prairies (Figure 3). Dans l'Eure, le nombre de bovins reste de 2.2 têtes/ha pendant toute la période étudiée, mais augmente de 1.6 à 3.1 têtes/ha en Manche et de 2.6 à 3.4 en Seine Maritime. Dans le Calvados et l'Orne, le nombre de bovins par ha augmente de 1.5 à 2.2 têtes/ha. Ces tendances montrent une intensification de l'élevage, sans doute avec un apport extérieur de nourriture.

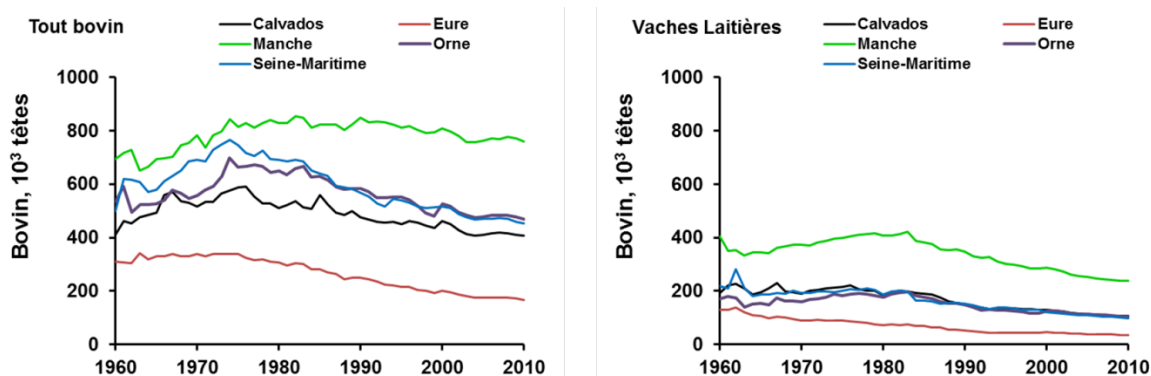


Figure 3. Evolution des bovins de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie (gauche). Evolution des vaches laitières (droite).

Comme pour les bovins, le département de la Manche se distingue des autres départements du point de vue des autres catégories du cheptel. La fin des années 1970 semble marquer une transition en agriculture, avec une augmentation des ovins et caprins, puis une diminution dans les années 1990 (Figure 4). Les porcins restent stables, sauf en Manche où une spécialisation semble se produire avec une augmentation spectaculaire au début des années 1990. Toujours en Manche, l'élevage de volaille se développe aussi au début des années 1990, alors que la tendance est à la diminution dans les autres départements, surtout dans l'Eure (Figure 4).

Cette tendance à la diminution des bovins et vaches laitières au profit d'une augmentation des viandes blanches (porc et volaille) est sans doute à mettre en relation avec l'instauration des quotas laitiers en 1984.

La diminution des équidés à la fin des années 1960 correspond à la fin de l'utilisation des animaux de trait et leur ré-augmentation au début des années 1990 à l'utilisation du cheval pour les loisirs équestres (**Figure 4**).

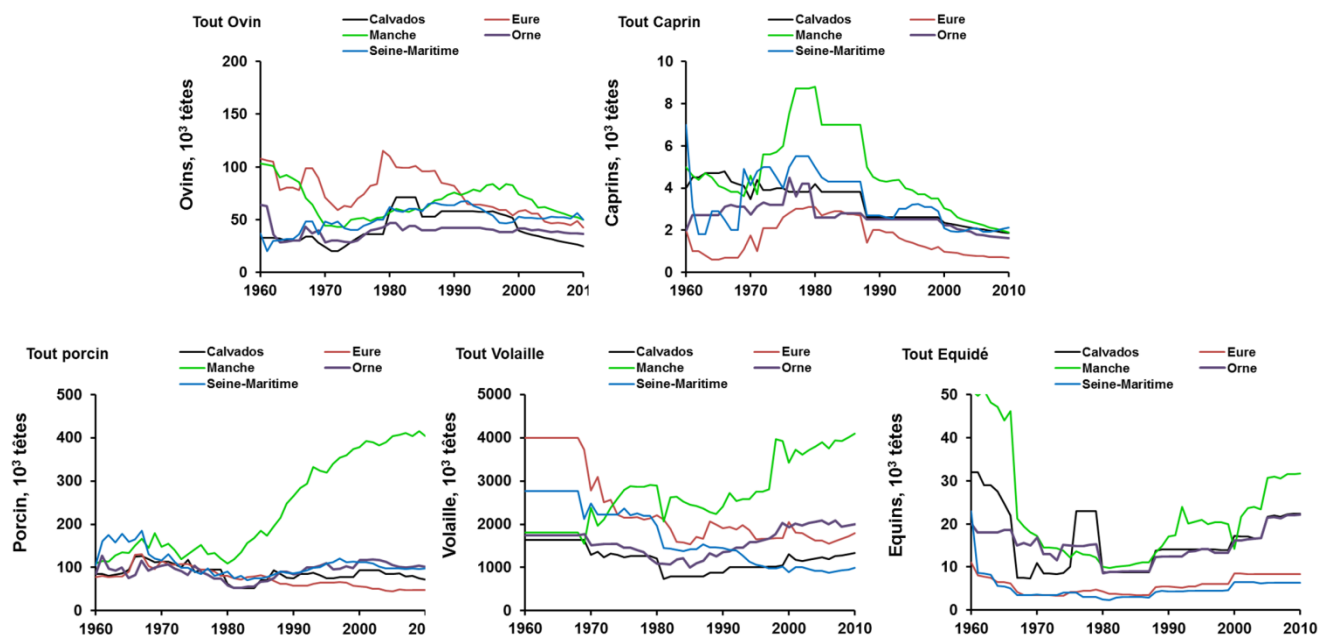


Figure 4. Evolution des ovins, caprins, porcins, volailles et équidés de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie.

4. Evolution de la production végétale

L'objectif de la PAC (1962) de développer la production et la productivité de l'agriculture pour nourrir l'Europe se traduit par une utilisation croissante régulière des engrais minéraux, produits industriellement après guerre (**Figure 5**). C'est la Seine-Maritime qui utilise le plus d'engrais par unité de SAU. En Manche, département que l'on a vu surtout axé sur l'élevage, l'utilisation d'engrais par unité de SAU diminue après les années 1990, contrairement aux autres départements. A part en Manche, où en raison de l'élevage les engrais organiques sont disponibles, l'apport d'engrais organiques par unité de SAU tend à diminuer. Cette augmentation massive de la fertilisation minérale se traduit par une augmentation de la production en céréales d'un facteur 3, cette production en céréales étant bien plus faible en Manche au profit d'une production en fourrage pour son élevage. Ailleurs, la production du fourrage s'accroît jusque dans les années 1980, et se stabilise ensuite.

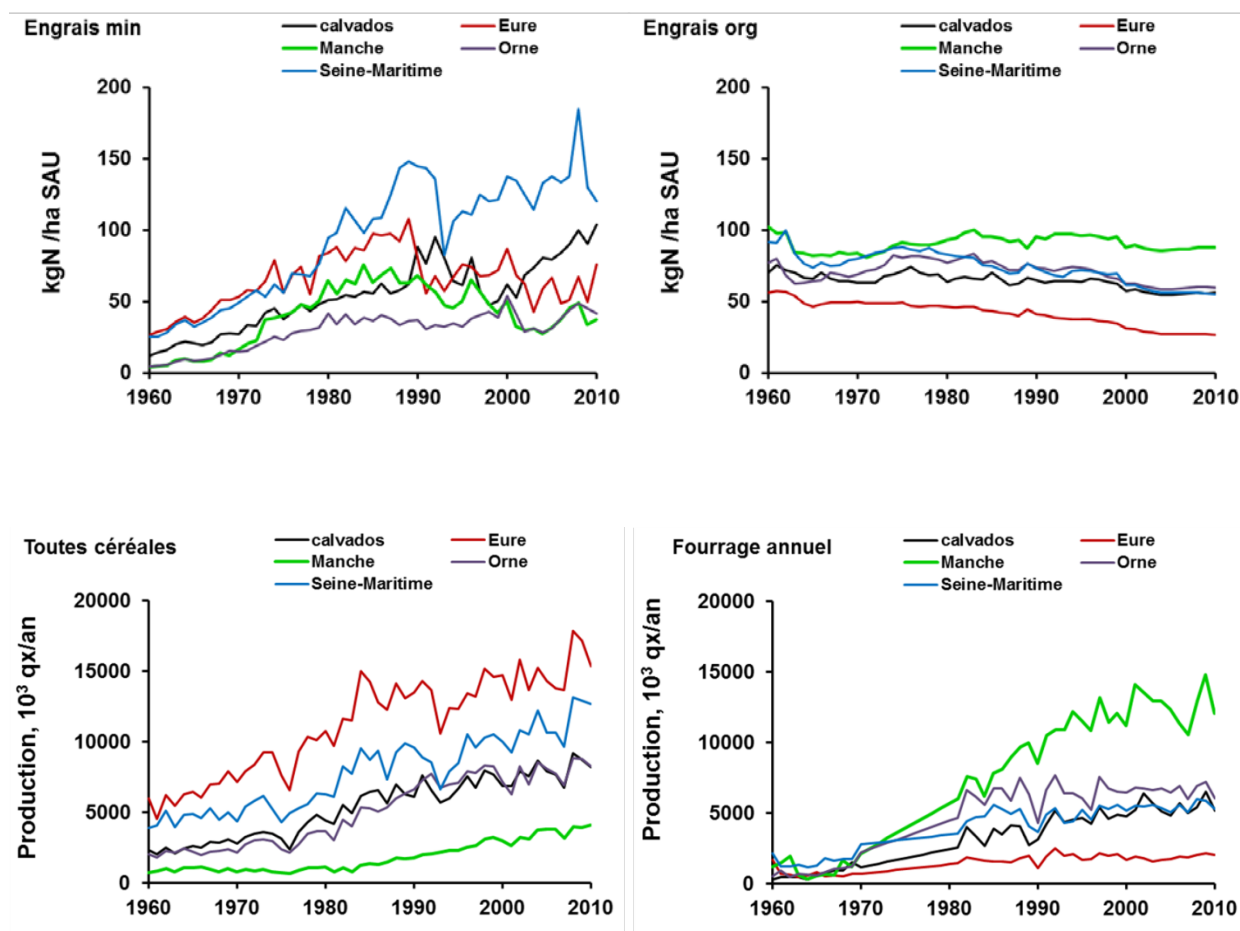


Figure 5. Evolution des doses d'engrais minéraux et organiques et de la production de céréales et de fourrages annuels de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie.

La production fourragère d'abord dominée par la culture de la betterave est remplacée au début des années 1980 par le maïs, utilisée en ensilage avec complémentation par le soja, ou sous forme de grain pour l'élevage de volaille.

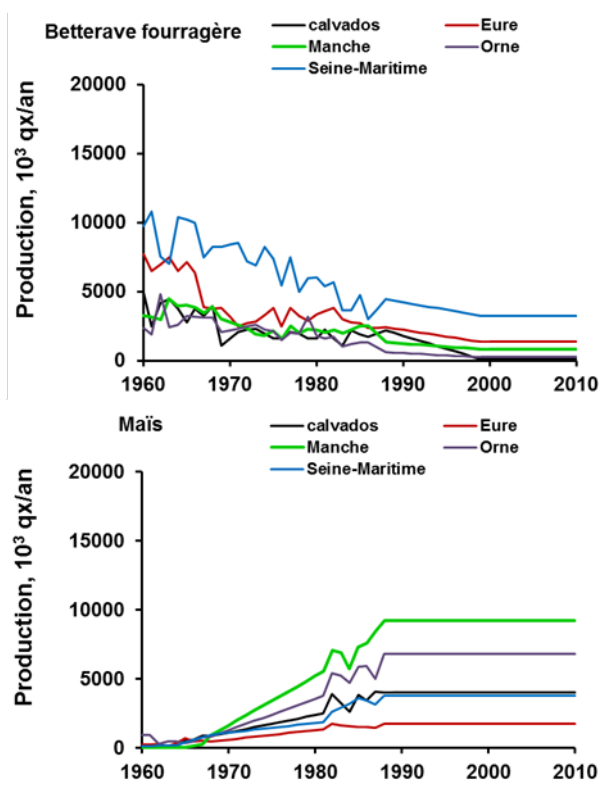


Figure 6. Evolution des deux cultures principales de fourrage de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie.

La culture des protéagineux (pois essentiellement) quasiment inexistante jusque que dans les années 1980 atteint son maximum dans les années 1990 et diminue drastiquement dans les années 2000 (Figure 7).

Après la réforme de la PAC de 1992 'la fin du régime de prix garantis, suivie du découplage progressif des aides à la surface, associés à des rapports de prix peu favorables des protéagineux' permettent d'expliquer leur quasi disparition à la fin des années 2000 au profit des cultures de céréales (Figure 5) ou d'oléagineux, comme le colza et le colza navette (Figure 7), (Fiches techniques sur l'Union européenne, 2017; Blogowski & Pingault, 2002).

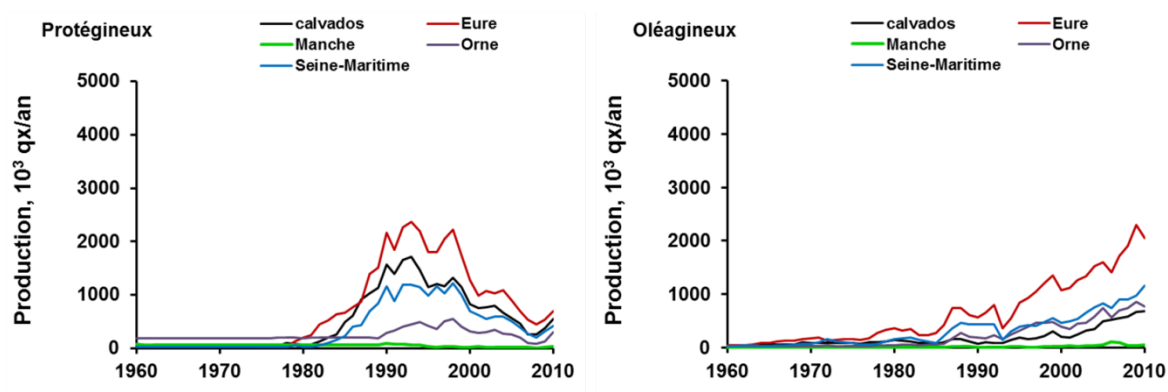


Figure 7. Evolution des protéagineux et oléagineux de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie.

La régression des fruits à pépins (pommes et poires à cidre pour l'essentiel) est spectaculaire en Manche et Calvados surtout (**Figure 8**). Au début des années 1980 la production a été divisée par 5.

En Manche, l'arboriculture fruitière disparaît probablement avec les prairies qui traditionnellement associaient l'économie cidricole et l'industrie laitière, fait en partie place à la production de légume feuille (choux, poireaux et salades surtout), et aux légumes racines (carottes, navet) qui diminue au cours du milieu des années 1990. La production de pomme de terre augmente notablement en Seine-Maritime, et reste stable partout ailleurs.

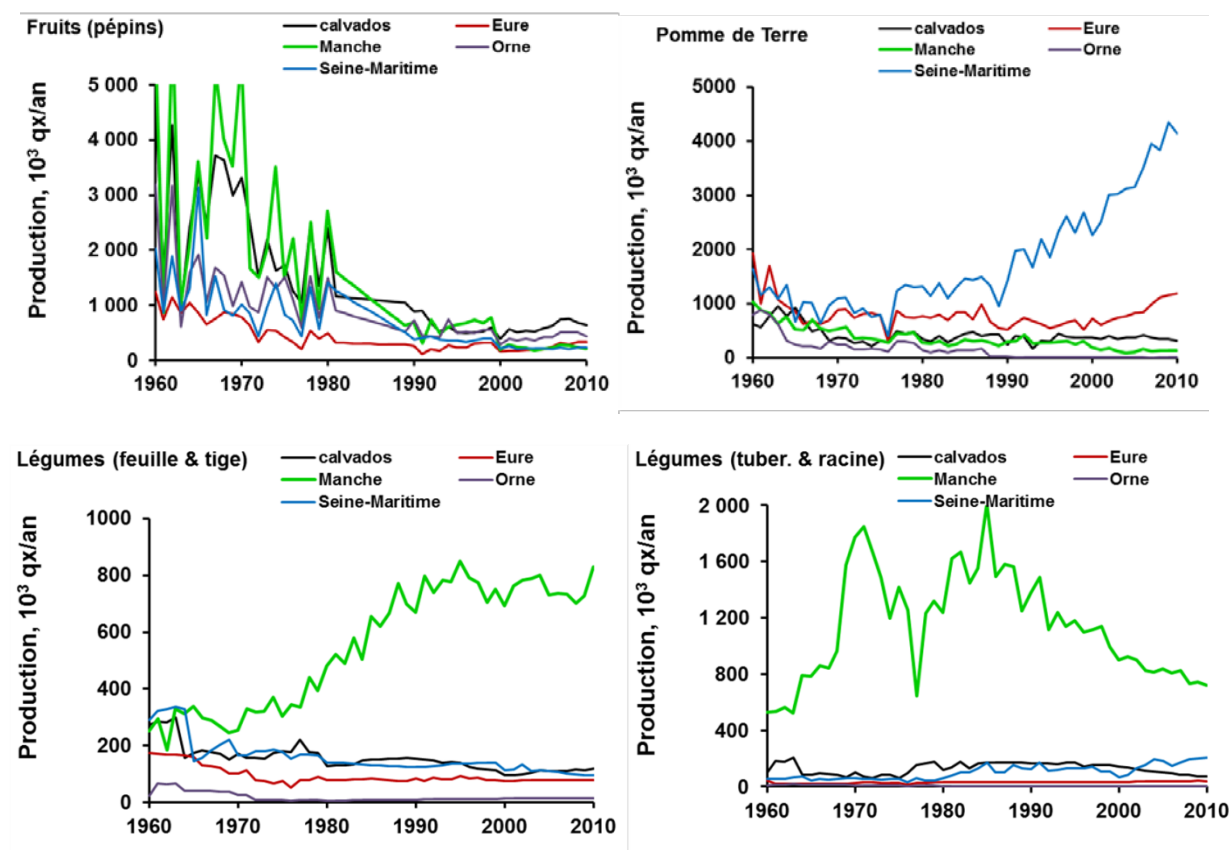


Figure 8. Evolution des productions de fruits (à cidre), de pommes de terre et de légumes (feuilles et racines) de 1960 à 2007 pour les 5 départements de Normandie.

5. Conclusions

Les départements de Normandie présentent des spécificités assez nettes : avec des SAU similaires, le département de la Manche est plus spécialisé en élevage, fourrage et cultures fruitières puis légumières, alors que la production de l'Eure est orientée vers culture céréalière. L'Orne et le Calvados ont des orientations très similaires, de sorte qu'on peut les analyser en les regroupant et se situent avec la Seine-Maritime dans une position intermédiaire en termes de production végétale (céréales, fourrages et de bovins). Les tendances sur la période des 50 années sont globalement similaires, à part pour le département de la Manche qui se distingue seul par un développement de l'élevage porcin et des cultures de légumes, tandis que la Seine-Maritime se caractérise par la culture de la pomme de terre.

L'instauration de la PAC en 1962 est réellement le moteur d'une augmentation de la production qui s'accompagne d'une réduction du nombre d'exploitations, ce qui signifie nécessairement une augmentation de la taille des exploitations, d'un facteur 2 en Orne, Calvados et Eure et d'un facteur 3 en Manche et Seine-Maritime où elles étaient plus petites dans les années 1960 (20-25 ha contre 30-35 ha dans les trois autres départements) et le restent dans les années 2000.

L'instauration des quotas laitiers en 1984 a probablement motivé les modifications de l'activité d'élevage avec une diminution de l'élevage bovin au profit d'un cheptel à viande blanche.

En 1992, la fin du régime de prix garantis de la PAC ([Fiche technique, 2017](#)) semble avoir pour effet de remplacer les cultures de protéagineux par celles des oléagineux, dans un contexte d'accroissement continu de la production de céréales. Ce début des années 1990 marqué aussi par la directive nitrates ([Directive 91/676/CEE](#)) montre ses effets sur l'utilisation des engrais, soit une évolution irrégulière (Seine-Maritime) soit une diminution (Manche, Eure) ou une stagnation (Orne et Calvados).

6. Références

Barles S. (2010). Society, Energy and Materials: What are the Contributions of Industrial Ecology, Territorial Ecology and Urban Metabolism to Sustainable Urban Development Issues? *Journal of Environmental Planning and Management*, 53(4): 439-455.

Blogowski A., N. Pingault (2002). La réforme de la PAC de 1992 : bilan d'une décennie d'adaptation des exploitations de "grandes cultures". *NEE*, 16 : 35-54.

Directive 91/676/CEE. EU-Nitrate Directive, 1991. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources OJ L 375, 31.12.1991, 1–8.

Fiches techniques sur l'Union européenne – 2017. LES INSTRUMENTS DE LA PAC ET LEURS RÉFORMES. 5pp. http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/fr/FTU_5.2.7.pdf
INSEE (2014).

<https://www.bdm.insee.fr/bdm2/affichageSeries?bouton=OK&idbank=000067575&idbank=000067589&idbank=000067612&idbank=000067622&idbank=000067623&idbank=000067637&idbank=000067638&idbank=000067639&idbank=000067647&codeGroupe=28>

Poisvert C., F. Curie , F. Moatar (2016). Annual agricultural N surplus in France over a 70-year. Period. *Nutr Cycl Agroecosyst*, DOI 10.1007/s10705-016-9814-x



Rapport Annexe 5 Seine-Aval 5

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date : 31 mars 2017

Amstram, un logiciel de calcul de bilans d'approvisionnement : Application aux flux alimentaires en Normandie

Marie Silvestre

UPMC-CNRS, FR3020 FIRE – Fédération Île-de-France de Recherche sur l'Environnement, 4 place
Jussieu, 75005 Paris

1. Introduction

Le logiciel Amstram permet de réaliser des bilans d'approvisionnement sur un territoire et d'en déduire sa « consommation ». Il calcule les flux d'importation, d'exportation et la production locale puis estime les provenances et les destinations des marchandises. Grâce à l'identification des territoires sources de l'approvisionnement et de destination, les distances parcourues par les marchandises sont calculées.

Les calculs font appel à des bases de données de transport et de production de marchandises. Ces bases sont d'origines diverses et renseignées à des échelles variables (échelon géographique et niveau d'agrégation des classes de marchandises). Une étape clé du travail consiste donc à mettre en concordance les nomenclatures géographiques et de marchandises mises en jeu par ces multiples bases.

L'identification des territoires d'importation et d'exportation peut se faire grâce aux informations directement fournies par les bases de données de transport de marchandises. Il s'agit de ce que nous appelons un calcul au premier ordre. Cependant, ces bases renseignent les flux de marchandises entre des lieux de chargement et déchargement mais pas entre le lieu de production et le lieu de consommation. Nous introduisons alors une méthode de calcul faisant intervenir des statistiques de production de marchandises pour reconstituer les différentes étapes du transport des marchandises et obtenir une estimation des lieux de production et de consommation réels des marchandises. Il s'agit de calculs d'ordres multiples, détaillés dans ce rapport. Les distances parcourues sont ensuite dérivées des résultats précédents.

Compte tenu des bases de données utilisées, leurs périodes de disponibilité et leurs niveaux géographiques, le logiciel Amstram s'intéresse spécifiquement à l'approvisionnement des départements français sur la période 1981 – 2013.

2. Intégration des données

Amstram mobilise de multiples bases de données sur le transport, la production et la définition géographique des territoires (**Figure 1**). Pour optimiser le stockage des données puis faciliter et automatiser leurs traitements, il est fait appel à un système de gestion de base de données, PostgreSQL/PostGIS couplé à un ensemble de scripts Python.

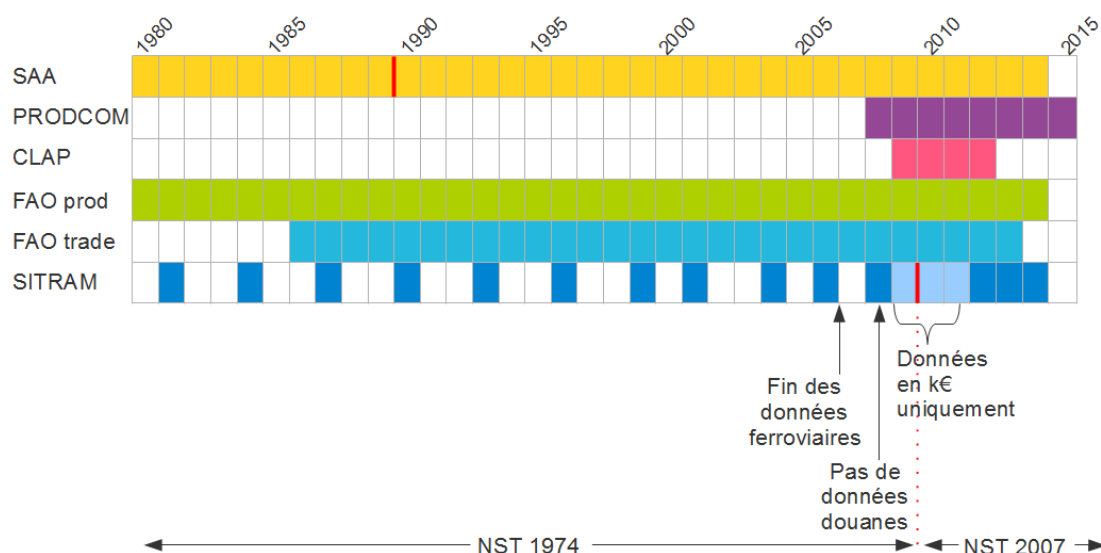


Figure 1. Disponibilité temporelle des données de transport et de production utilisées par Amstram.

2.1 Les bases de données de transport

Les informations sur le transport des marchandises sont rassemblées depuis deux bases de données, une base française, SitraM (Système d'information sur le transport des marchandises) ([SitraM, 2015](#)), et une base de la FAO concernant les données internationales du « Commerce » (Food and Agriculture Organization - Matrices du commerce détaillées) ([FAOSTAT, 2016a](#)).

SitraM

La base de données SitraM recense chaque année les flux de marchandises entre leur lieu de dernier chargement (département français ou pays étranger) et leur destination (département français ou pays étranger). Cette base est gérée par le Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et la Mer. Elle existe depuis 1975 en ce qui concerne le transport routier (données issues d'enquêtes TRM), 1974 pour le rail (données SNCF), 1971 pour la navigation intérieure (données Voies Navigables de France) et 1973 pour le commerce extérieur (données issues des Douanes). Les flux sont fournis en tonnes brutes ainsi qu'en tonnes-kilomètres pour les échanges entre départements français. Les autres flux (internationaux), sont donnés en tonnage net uniquement. Les modes de transports sont également renseignés pour chaque flux. Concernant les flux ferroviaires, du fait de l'ouverture du fret à la concurrence en France, les données SNCF ne sont disponibles que jusqu'en 2006.

La base SitraM a été acquise lors de différents projets de recherche (PIRVE Empreintes - Empreintes spatiales des villes sur leur environnement, ANR Confluent - CONnaissances des FLux Urbains, EmpreINTes environnementales et gouvernance durable, Projet Seine-Aval RESET - Rôle de l'Estuaire de Seine dans l'Écologie Territoriale de la Normandie : cycles des nutriments et systèmes hydro-agro-alimentaires) et compte tenu des coûts d'achat, nous disposons d'une sélection d'années : 13 années de 1981 à 2014. La nomenclature des classes de marchandises ayant changée en 2009, les données se décomposent en deux séries temporelles.

FAO - Matrices du commerce détaillées

Les matrices du commerce détaillées de la FAO fournissent les échanges commerciaux de produits agricoles bruts et transformés et recensent chaque année les flux de produits échangés (en tonnage net) entre les différents pays du monde, tous modes de transport confondus. Les informations disponibles à ce jour correspondent à la période 1986 – 2013.

Ces données sont téléchargeables librement et gratuitement depuis le site internet FAOSTAT.

2.2 Les bases de données de production

Pour calculer des bilans et appliquer les méthodes de calcul à de multiples ordres, il est indispensable de disposer de données sur les productions. Ces données sont donc requises à l'échelle des départements français et des pays étrangers. Il a été fait une compilation de plusieurs bases de données françaises et internationales.

Production agricoles brutes françaises

Les données de production de marchandises brutes issues de l'agriculture sont rassemblées par département français et par année par le Service de la Statistique et de la Prospective (SSP), l'organisme de statistique et de recensement dépendant du Ministère de l'Agriculture français. Il s'agit de la « Statistique Annuelle Agricole » (SAA) ([Agreste, 2015b](#)). Ces données ne concernent que les productions suivantes : les récoltes des surfaces cultivées exprimées en quintaux, la production de vin exprimée en hectolitres, les productions issues de l'élevage (produits laitiers, œufs, viande) exprimées en hectolitres, nombre ou tonnes-équivalent-carcasse et enfin les effectifs d'élevage exprimés en nombre ou têtes.

Elles sont disponibles à ce jour sous forme numérique tabulaire sur la période 1969 - 2015 et se décomposent en deux séries de données : 1969 – 1989, dont l'acquisition a été faite sur demande directe des données au SSP, et 1989 – 2015, dont le téléchargement se fait librement et gratuitement depuis le site internet Agreste.

Produits alimentaires transformés en France

Pour compléter les données agricoles brutes des départements français, il est fait appel aux productions alimentaires transformées. Elles sont issues de la base PRODCOM (PRODUCTION COMmunautaire) qui fournit des statistiques annuelles sur la production de marchandises manufacturées à l'échelle des pays de l'Union Européenne depuis 1995 ([Agreste, 2016a](#)). Les

données en tonnes pour la France et pour la période 2008-2015 sont téléchargeables librement et gratuitement depuis le site internet Agreste.

L'intégralité de la base de données n'a pas été mobilisée et seules les productions non disponibles dans la Statistique Agricole Annuelle ont été intégrées.

PRODCOM fournit des données à l'échelle de la France donc, afin de disposer d'informations à l'échelle des départements français, les données d'effectifs des établissements agroalimentaires par département français ont été utilisées. Elles sont issues du dispositif CLAP (Connaissance Locale de l'Appareil Productif) dont l'INSEE est responsable et ont été traitées par le SSP. Elles couvrent la période 2009 – 2012. Les établissements sont regroupés par filière agroalimentaire. Une fois mise en correspondance les classes de produits manufacturés et les filières, la descente d'échelle des productions nationales a été faite proportionnellement aux effectifs (équivalents temps plein) des établissements par département.

Productions des pays étrangers

La FAO fournit des données annuelles de production issues de l'agriculture : récoltes de produits bruts, animaux terrestres vivants et produits transformés d'origine animale ou végétale ([FAOSTAT, 2016b](#)). Les données disponibles à ce jour correspondent à la période 1961 – 2014 et sont fournies en tonnes annuelles. Elles sont téléchargeables librement et gratuitement depuis le site internet FAOSTAT.

2.3 Les bases de données géographiques

Afin de calculer les distances parcourues par les marchandises et cartographier les résultats, deux bases de données géographiques sont mobilisées.

La base GEOFLA produite par l'IGN rassemble notamment les limites des départements français ([GEOFLA, 2016](#)). Elle est en accès libre et gratuit depuis le site internet de l'IGN.

La couche d'information « 1 :50 / Admin 0-Countries » produite par Natural Earth fournit les limites des pays du monde au 1/50000000ème ([Natural Earth, 2016](#)). Elles sont également en accès libre et gratuit (données dans le domaine public). Ces données ont été enrichies pour permettre de représenter des territoires auparavant unifiés (URSS, Yougoslavie, Soudan, etc.).

2.4 Gestion des nomenclatures

Les nomenclatures des territoires et des marchandises sont propres à chaque base de données et ont évolué dans le temps. Afin d'effectuer les calculs, il est nécessaire de les mettre en concordance. Étant donné l'exhaustivité géographique et thématique de la base SitraM, le choix a été fait de faire correspondre toutes les autres nomenclatures à celles utilisées par cette base.

La nomenclature utilisée pour la classification des marchandises dans la base SitraM est la NST (Nomenclature Uniforme des marchandises pour les Statistiques de Transport). Elle a subi une

évolution majeure en passant de la NST 1974 à la NST 2007. La NST 1974, utilisée jusqu'en 2008, dispose de 177 classes de marchandises au niveau de détail le plus fin dont 47 concernant les produits destinés à l'alimentation humaine et animale (y compris les animaux vivants). La NST 2007, utilisée à partir de 2009, se décompose en 382 classes au niveau de détail le plus fin dont 98 concernant l'alimentation humaine et animale (y compris les animaux vivants). Cette nouvelle NST permet de dissocier la plupart des produits bruts des produits transformés mais les correspondances entre les deux nomenclatures sont complexes : la majorité des classes sont agrégées dans la NST 1974 et désagrégées dans la NST 2007 mais pour certaines, le cas inverse se présente (voir l'exemple des fruits et légumes sur la **Figure 2**).

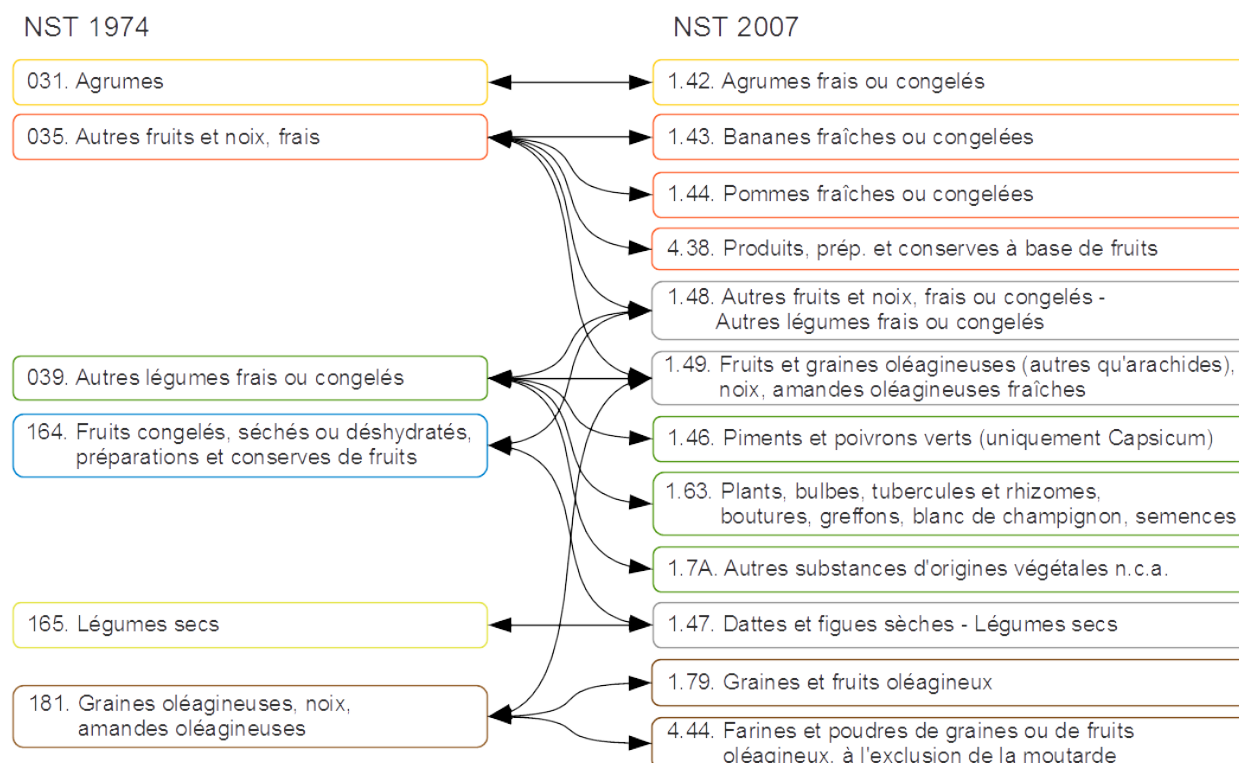


Figure 2. Exemple de correspondance pour les fruits et légumes entre les deux nomenclatures utilisées par SitraM, la NST 1974 et la NST 2007

La nomenclature utilisée par la FAO (production et commerce) ne concerne que les classes de produits agricoles bruts et transformés (y compris les animaux vivants) et se décompose en 422 types de produits. Ce nombre plus élevé ne correspond pas à un niveau de détail supérieur aux autres nomenclatures mais un panel de produits plus diversifié car il recense les productions et échanges de l'ensemble des pays du globe et ne se focalise pas uniquement sur la France.

Pour les productions agricoles brutes françaises issues de la Statistique Agricole Annuelle, les données pour la période 1969 – 1989 (respectivement 1989 - 2014) sont fournies avec une nomenclature en 785 classes au niveau de détail le plus fin (respectivement 335 classes). Le nombre de classes nettement plus élevé pour la période 1969 – 1989 s'explique principalement par la décomposition des productions selon les races d'élevage et les variétés de fruits et légumes. Ces deux nomenclatures présentent plusieurs niveaux de détails selon les productions. Pour opérer des correspondances au plus juste avec les nomenclatures SitraM, des niveaux d'agrégation variables ont été sollicités.

Pour les produits alimentaires transformés, la nomenclature utilisée dans les données PRODCOM propose 373 classes (pour les produits alimentaires). Cependant, dans un souci de complémentarité avec les productions fournies par la Statistique Agricole Annuelle, seules 354 classes sont prises en compte (les productions de vins, viande et lait ont été écartées).

Enfin, les nomenclatures géographiques propres à chaque base sont également à faire coïncider. Ces correspondances permettent de gérer les cas où les données seraient agrégées géographiquement dans une base et désagrégées dans une autre et prennent en compte les dates de création et de disparition des pays qui ne concordent pas systématiquement entre les bases.

2.5 Unités de calcul

Selon les bases, les données de transport et de production sont fournies en tonnes, en quintaux, en hectolitres, en équivalent-carcasse ou en nombre. Lors de la mise en correspondance des nomenclatures, les données sont donc toutes converties en tonnes.

La principale limitation identifiée ici est liée au fait que, selon les bases de données de transport, les informations peuvent être fournies en tonnage net ou brut (incluant le poids des emballages, etc.). Les flux SitraM intra-nationaux sont donnés en tonnage brut contrairement à ceux extra-nationaux et à ceux de la FAO. Les données de production sont renseignées en tonnage net. Ceci entraîne alors un déséquilibre entre les deux types de données et une surestimation de certains flux de transport par rapport aux productions locales.

3. Évaluation des provenances

Les bases de données de transport utilisées dans Amstram fournissent les flux de marchandises entre un lieu de chargement et un lieu de déchargement, ce qui ne renseigne pas sur les lieux réels de production et de consommation de ces marchandises. La méthode présentée ci-dessous permet d'estimer les étapes de transport manquantes et de reconstituer la chaîne depuis le lieu de production vers celui de consommation (par l'alimentation humaine ou animale, par une industrie de transformation, par du stockage de longue durée – de plus d'un an, etc.). Elle est détaillée pour la détermination des origines des importations.

3.1 Identification des territoires d'approvisionnement

Les bases de données dont nous disposons recensent les flux annuels de marchandises (notés I) entre un lieu de chargement (o) et de déchargement (d). Les flux internes (les transports au sein du territoire étudié) n'ont pas de signification pour le calcul de l'origine des marchandises, ils sont ignorés. Par contre, les données de production de marchandises (produits agricoles, produits transformés sur le territoire, produits extraits localement, etc.) sont indispensables aux calculs et seront considérés comme des flux de production interne.

Pour chaque marchandise considérée et pour chaque année nous obtenons ainsi une matrice noté $I^*(d,o)$ représentant l'ensemble des flux de transport et de production interne.

Pour déterminer l'origine des produits, il est fait l'hypothèse du « mélange parfait » : la répartition en origine géographique des produits consommés et exportés est supposée identique à celle des importations et des productions. Nous faisons donc l'hypothèse qu'un territoire ne consomme pas préférentiellement les marchandises produites localement, et qu'il n'exporte pas non plus préférentiellement sa production.

La contribution relative au premier ordre d'un territoire, i , à l'approvisionnement du territoire étudié, a , est notée $r_1(a,i)$. Elle est calculée de la manière suivante :

$$r_1(a,i) = \frac{I(a,i)}{\sum_j I(a,j)} \quad (1)$$

$$\text{avec } \sum_i r_1(a,i) = 1 \quad (2)$$

$r_1(a,a)$ correspond donc à la contribution de la production locale dans l'approvisionnement de a .

Les origines calculées au premier ordre ne reflètent toutefois pas la provenance réelle (lieu de production) des marchandises, il faut donc tenir compte des origines antérieures. Pour l'estimer, nous nous intéressons à chacun des territoires contribuant à l'approvisionnement au premier ordre et calculons la provenance des marchandises sur ces territoires. Nous appliquons donc un deuxième calcul au premier ordre sur ces territoires. Nous appelons cette méthode le calcul au second ordre.

Lorsque le territoire d'approvisionnement au second ordre correspond au territoire étudié (a), les flux sont comptabilisés parmi les flux dits annulés, notés $r_2(a,a)$. En effet, sur une année, ces flux font un aller-retour entre le territoire étudié et l'un des territoires d'approvisionnement.

Voici la formalisation mathématique de ce calcul :

$$r_2(a,i) = \frac{\sum_{k \neq a} [I(a,k) \times r_1(k,i)]}{\sum_j I(a,j)} \quad (3)$$

$$\text{avec } \sum_i r_2(a,i) + r_1(a,a) = 1 \quad (4)$$

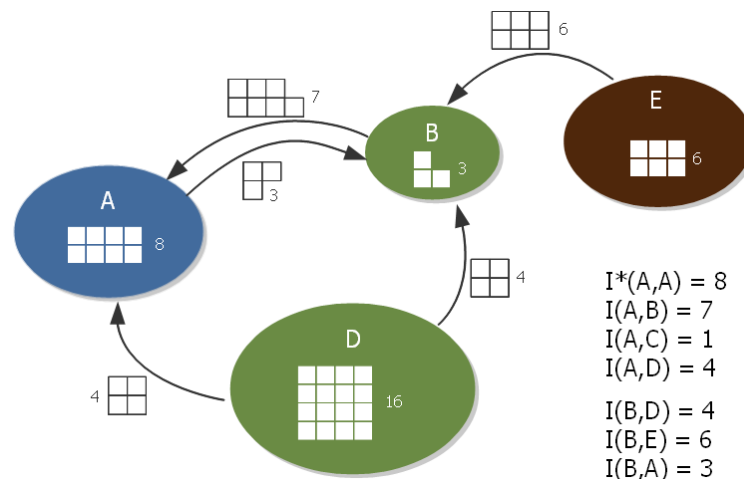


Figure 3. Schéma illustrant le principe du calcul au second ordre : au premier ordre, A est approvisionné principalement par B et dans une moindre mesure par D. En appliquant la méthode au second ordre, D et E deviennent les contributeurs principaux alors que B voit son importance diminuer.

A l'issue de ces calculs à l'ordre 2, un ensemble de territoires est identifié ainsi que leurs contributions respectives. Le tonnage total importé par le territoire étudié n'a pas été modifié par l'ordre 2 mais les provenances sont maintenant réparties sur un plus grand nombre de territoires.

3.2 Identification des territoires d'exportation

La méthode de calcul utilisée pour les exportations est similaire à celle utilisées pour les importations. La seule différence réside dans le fait qu'il est nécessaire de faire un calcul de bilan complet et donc un calcul de la consommation des territoires identifiés à l'ordre 1. Ce bilan permet en effet le calcul de la part des marchandises qui sont effectivement consommées par les territoires à l'ordre 1 et la part qui est réexportée. N'ayant pas d'information sur les stocks de marchandises, le terme de consommation dans le bilan peut être négatif. Dans ce cas, la consommation du territoire d'ordre 1 est ramenée à zéro et il est fait l'hypothèse que la totalité des marchandises exportées par ce territoire proviennent d'importations vers celui-ci. Il s'agit alors d'un territoire de transit pur qui sera effacé à l'ordre 2.

3.3 Évaluation des distances

Une fois les territoires d'approvisionnement ou de destination identifiés, reste le calcul des distances parcourues par les marchandises.

Pour les échanges entre départements, la base SitraM nous fournit les tonnes-kilomètres qui permettent facilement le calcul des distances parcourues. Pour les flux en provenance de l'étranger, il est nécessaire d'estimer ces distances. Si des calculs simples de distances entre les centroïdes de deux territoires fournissent une première approche, ils sous-estiment généralement les distances réelles parcourues, notamment pour les transports par voies maritimes. Les flux SitraM entre pays étrangers et départements français nous renseignent sur le mode de transport. Via des logiciels de calcul d'itinéraire en fonction du mode de transport (par exemple, le site internet <https://www.searates.com>), il est possible d'adosser des distances à ces flux. Enfin, pour les échanges entre pays étrangers pour lesquels nous ne disposons pas des modes de transport, la solution retenue est d'attribuer à ces flux le mode de transport le plus probable en fonction des marchandises (ou regroupement de marchandises) puis d'utiliser les logiciels de calcul d'itinéraire précédemment cités.

4. Guide pour l'exploitation des résultats

4.1 Regroupement de classes

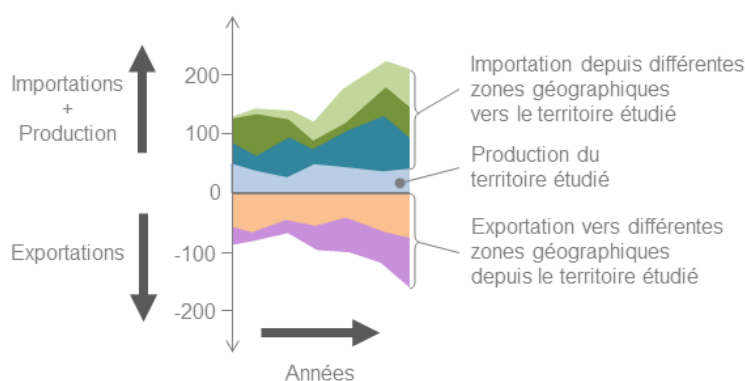
La base SitraM qui alimente Amstram a subi un changement de nomenclature en passant de la NST 1974 à la NST 2007 et les correspondances entre les anciennes et nouvelles classes ne sont pas directes. Pour permettre la constitution de chroniques continues de résultats sur l'ensemble de la période, un certain nombre de regroupements ont été effectués et sont récapitulés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Liste des regroupements utilisés dans les résultats

Regroupement de marchandises	Précisions sur les regroupements
Céréales	Blé, épeautre, méteil, orge, seigle, avoine, riz, maïs grain et doux
Fruits et légumes (bruts et transformés)	Dont les pommes de terre, betteraves à sucre, jus de fruits
Produits végétaux transformés (céréales)	Farine, semoule, pâtes, malt, etc.
Café, cacao, thé, épices	
Sucre, sel	
Autres produits transformés	Prép. alimentaires, sauces, pâtes à tartiner, vinaigre, etc.
Huiles et graisses	D'origine animale ou végétale
Produits laitiers	
Œufs	
Viande	
Produits de la pêche et aquaculture	
Pailles foin, déchets indus. agro	Pailles foin, déchets indus. agro, son, déchets indus, brasseries, farine animales, etc.
Tourteaux, résidus extraction huiles végétales	
Graines oléagineuses	Graines, noix, amandes, farine et poudre.
Engrais	A base de nitrate, phosphate, potasse. Naturels ou synthétiques

4.2 Types de résultats présentés

Les graphiques de « bilans d'approvisionnement » (**Figure 4**) représentent, dans les valeurs positives, les productions et les importations vers le territoire étudié et, dans les valeurs négatives, les exportations depuis le territoire étudié. Pour enrichir ces informations de bilan, les provenances et destinations des marchandises sont données par regroupements géographiques dont la composition est détaillée dans le **Tableau 2**.

**Figure 4.** Guide de lecture des graphiques de bilan

Pour les graphiques concernant la Normandie dans son ensemble, il s'agit de la production de la Normandie puis des importations/exportations depuis/vers le reste du bassin versant de la Seine (« BV Seine »), le reste de la France métropolitaine (hors Normandie et BV Seine), le reste de l'Europe, l'Afrique, etc. Quant aux graphiques concernant chacun des départements normands, il s'agit de la production du département puis des importations/exportations depuis/vers le reste de la Normandie, le reste de la France métropolitaine (hors Normandie), le reste de l'Europe, l'Afrique, etc.

Les graphiques de « distances d’approvisionnement» (Figure 5) représentent l’évolution dans le temps de la distance à parcourir depuis le territoire étudié pour cumuler différents pourcentage d’importation.

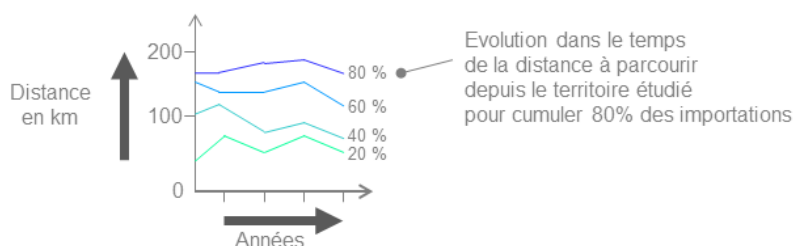


Figure 5. Guide de lecture des graphiques d’évolution de la distance d’importations cumulées

Tableau 2 : Détail des regroupements géographiques utilisés dans les graphiques de résultats

Zone géographique	Détail (dénominations issues de la base SitraM)
Normandie	Calvados, Eure, Manche, Orne, Seine-Maritime
BV Seine	Aisne, Ardennes, Aube, Côte-d'Or, Eure-et-Loir, Loiret, Marne, Haute-Marne, Nièvre Oise, Paris, Seine-et-Marne, Yvelines, Yonne, Essonne, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne, Val-d'Oise
France metrop.	Tous les départements français hors DOM-TOM et hors Normandie ou BV Seine
France DOM TOM	Guadeloupe, Guyane Française, Iles Wallis et Futuna, Martinique, Mayotte (à partir de 2014), Nouvelle-Calédonie et dépendances, Polynésie Française, Réunion, Saint-Pierre et Miquelon
Western Europe	Allemagne, Autriche, Belgique, Belgique - Luxembourg, Liechtenstein, Luxembourg, Monaco, Pays-Bas, RFA, Suisse
Northern Europe	Danemark, Estonie, Finlande, Groenland, Iles Féroé, Irlande, Islande, Lettonie, Lituanie, Norvège, Régions polaires, Royaume Uni, Suède, Svalbard (Archipel du)
Southern Europe	Albanie, Andorre, Bosnie-Herzégovine, Croatie, Espagne, Grèce, Italie, Malte - Gozo - Gomino, Portugal, Saint-Marin, Serbie - Monténégro, Slovénie, Territoire ex Macédoine, Vatican, Yougoslavie, Yougoslavie - Macédoine
Eastern Europe	Belarus, Bulgarie, Hongrie, Moldova, Pologne, RDA, République Tchèque, Roumanie, Russie, Slovaquie, Tchécoslovaquie, Ukraine, URSS
Northern Africa	Algérie, Ceuta - Melilla, Egypte, Gibraltar, Iles Canaries, Libye, Maroc, Soudan, Tunisie
Western Africa	Bénin, Burkina Faso, Cote d'Ivoire, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Liberia, Mali, Mauritanie, Niger, Nigéria, République du Cap-Vert, Sénégal, Sierra-Leone, Togo
Middle Africa	Angola, Cameroun, Congo, Gabon, Guinée Equatoriale, République Centrafricaine, Sao Tomé et Principe, Tchad, Zaïre
Eastern Africa	Burundi, Comores, Djibouti, Erythrée, Ethiopie, Kenya, Madagascar, Malawi, Maurice, Mayotte (Grande Terre et Pamanzi), Mozambique, Ouganda, Rwanda, Seychelles et dépendances, Somalie, Tanzanie, Zambie, Zimbabwe
Southern Africa	Botswana, Lesotho, République d'Afrique du Sud, Sainte-Hélène et dépendances, Swaziland
Northern America	Canada, USA - Porto Rico
Caribbean	Anguilla, Antigua et Barbuda, Antilles néerlandaises, Antilles néerlandaises, Aruba, Bahamas, Bermudes, Cuba, Dominique, Grenade, Haiti, Iles Cayman, Iles Turks et Caicos, Iles Vierges Britanniques, Iles Vierges Britanniques - Montserrat, Iles Vierges des Etats-Unis, Indes Occidentales, Indes Occidentales, Jamaïque, La Barbade, Montserrat, République Dominicaine, Saint Christophe et Névis, Saint Vincent et Grenadines Nord, Sainte Lucie, Trinidad et Tobago
Central America	Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexique, Nicaragua, Panama y compris Zone du canal
South	Argentine, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Equateur, Guyana, Iles Falkland et dépendances, Paraguay,

America	Pérou, Surinam, Uruguay, Venezuela
Western Asia	Abou Dhabi, Arabie Saoudite, Arménie, Azerbaïdjan, Bahrein, Chypre, Dubaï, Emirats Arabes Unis, Etats arabes sous régime de traité, Gaza et Jericho, Georgie, Irak, Israel, Jordanie, Koweït, Liban, Oman, Qatar, Syrie, Turquie, Yemen, Yemen du Nord, Yemen du Sud
Central Asia	Kazakhstan, Kirghistan, Ouzbekistan, Tadjikistan, Turkmenistan,
Southern Asia	Afghanistan, Bangladesh, Bhoutan, Inde et Sikkim, Iran, Maldives, Népal, Pakistan, Sri Lanka, Territoires Britanniques de l'Océan Indien
Eastern Asia	Chine, Hong Kong, Japon, Macao, Mongolie, Taiwan
South-Eastern Asia	Birmanie, Brunei, Cambodge, Indonésie, Laos, Malaysia, Philippines, Singapour, Thaïlande, Timor Portugais, Vietnam
Oceania	Anciennes Nouvelles-Hébrides, Australie, Fidji, Iles Marianne du Nord, Iles Marshall, Iles Pitcairn, Iles Salomon, Kiribati, Micronésie (Fédération des Etats de), Nauru, Nouvelle Guinée et Papouasie, Nouvelle-Zélande, Océanie Américaine, Océanie Américaine - Micronésie, Océanie Australienne, Océanie Néo-zélandaise, Palau, Samoa Occidentales, Tonga, Tuvalu, Vanuatu

4.2 Avertissements sur l'analyse des résultats

Amstram permet d'estimer la provenance réelle de marchandises consommées sur un territoire ainsi que le lieu de consommation final des marchandises exportées et donc produites par ce territoire sur des chroniques de trente ans et pour chaque département français. Les résultats produits par Amstram prennent de nombreuses formes et sont à mettre en regard de connaissances locales des territoires étudiés et des dynamiques qui s'opèrent afin d'établir des analyses pertinentes. Par ailleurs, de par la multiplicité des sources de données et des échelles, des disparités sont constatées entre les bases mais également au sein d'une même source de données, entre années, entre territoires. Par exemple, les données SitraM, outre le changement de nomenclature, ont subi de multiples ruptures dues à des modifications de méthodes d'enquête, des harmonisations européennes, etc. Pour éviter d'interpréter des variations qui seraient dues à une moindre fiabilité des données, il est conseillé de travailler sur des résultats moyennés sur plusieurs années ce qui nécessite d'avoir des séries continues de données.

Si les calculs à l'ordre 2 permettent de « remonter » au plus près de l'origine des marchandises, ils restent cependant insuffisants dès lors que les marchandises changent plus d'une fois de mode de transport ou sont stockées temporairement (pour une durée inférieure à un an) sur différents territoires avant d'atteindre le territoire de consommation. En effet, concernant la France, de nombreuses marchandises proviennent d'outre Atlantique et ont déjà subi plusieurs phases de transport avant d'arriver sur le continent Européen (par transport maritime ou aérien). Une des perspectives à court terme de l'outil est donc d'introduire un troisième ordre de calcul, selon les mêmes principes que pour l'ordre 2.

L'hypothèse du mélange parfait appliquée aux calculs d'ordres multiples suppose l'absence de préférence locale pour la consommation de marchandises sur un territoire. Il pourrait être pertinent de nuancer cette hypothèse et d'introduire un facteur de territorialité de la consommation à chaque type de marchandise, ce qui impliquerait des études complémentaires.

5. Application à l’approvisionnement de la Normandie

Dans le cadre du projet RESET, nous nous intéressons plus spécifiquement à l’approvisionnement de la région Normande (**Figure 6**) en produits destinés à l’alimentation humaine et animale. Cet approvisionnement peut se calculer pour la Normandie dans son ensemble mais, vu les caractéristiques propres à chacun de ses cinq départements (en terme d’orientation de l’agriculture, d’infrastructures de transport, de population, etc.), cette échelle régionale lisse souvent de fortes disparités internes. Les résultats présentés dans ce rapport concerneront donc les deux échelles, régionale et départementale.

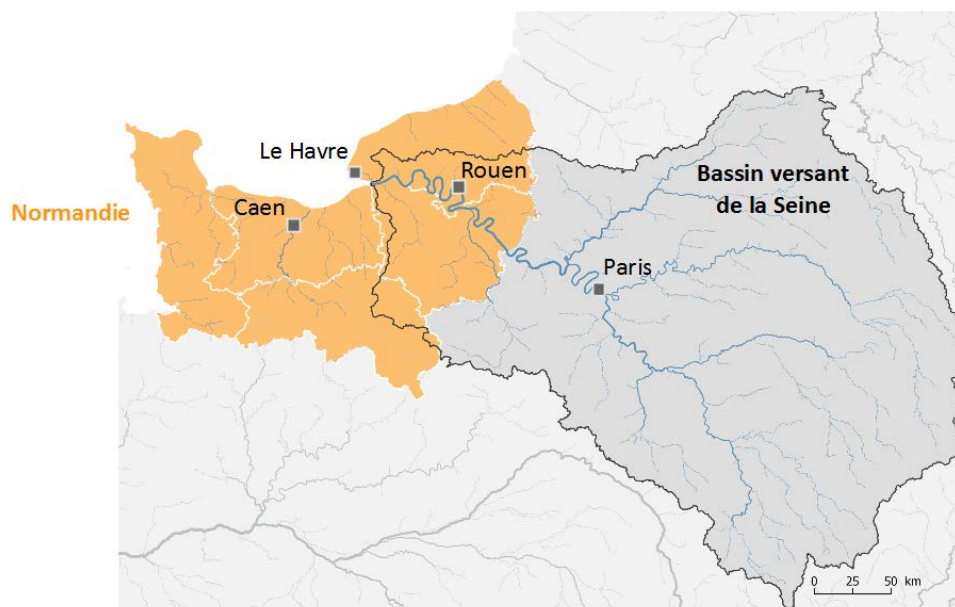


Figure 6. La région Normande et ses 5 départements, localisation par rapport au bassin versant de la Seine.

5.1 Approvisionnement en céréales

L’approvisionnement de la Normandie en céréales non transformées se fait en grande partie localement grâce à la production agricole puis via des importations en provenance des départements du bassin versant de la Seine (**Figure 7**). De cet approvisionnement, la majorité est réexportée vers l’étranger. Jusqu’en 1993, l’Europe de l’Est occupait une place prédominante dans ces exportations pour devenir négligeable ensuite. L’Afrique du Nord a toujours constitué une part importante des exportations pour devenir la destination première dès les années 2000.

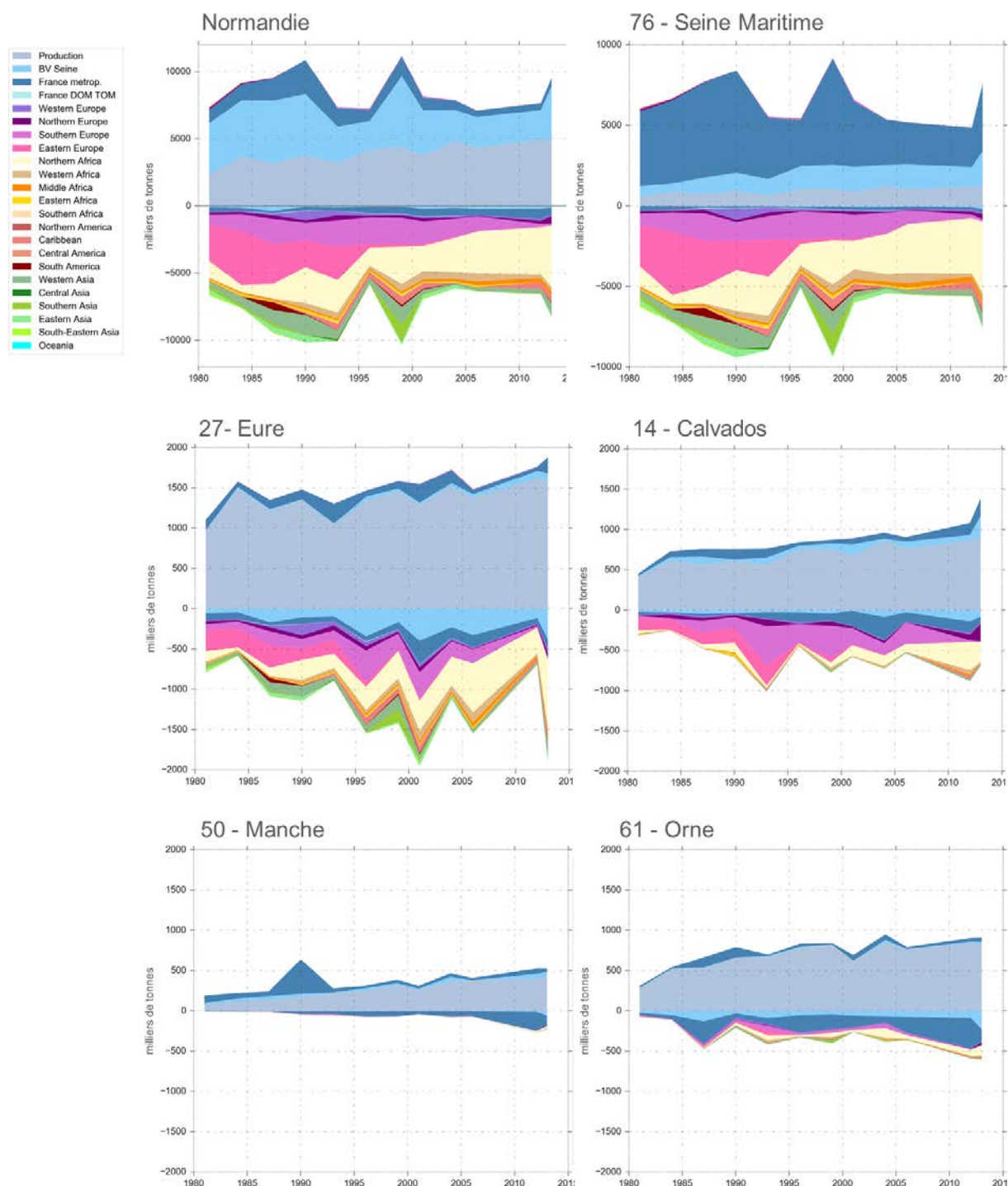


Figure 7. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en céréales non transformées

Le détail par département montre de très grandes disparités. Tout d'abord dans les volumes totaux importés et exportés : la Seine-Maritime importe environ 5 millions de tonnes de céréales en moyenne en 2012-2013 alors que l'Eure et Calvados importent à cette même période chacun moins de 0.35 millions de tonnes et l'Orne et la Manche moins de 0.15. Les importations de ces quatre derniers départements sont nettement minoritaires par rapport aux productions. Les importations de la Seine Maritime proviennent pour moitié de la Normandie et pour moitié du reste de la France

(environ à 80% du bassin de la Seine). Les distances d'importation des céréales sont relativement stables sur la période et 90% des volumes parcourent moins de 450 km (**Figure 8**).

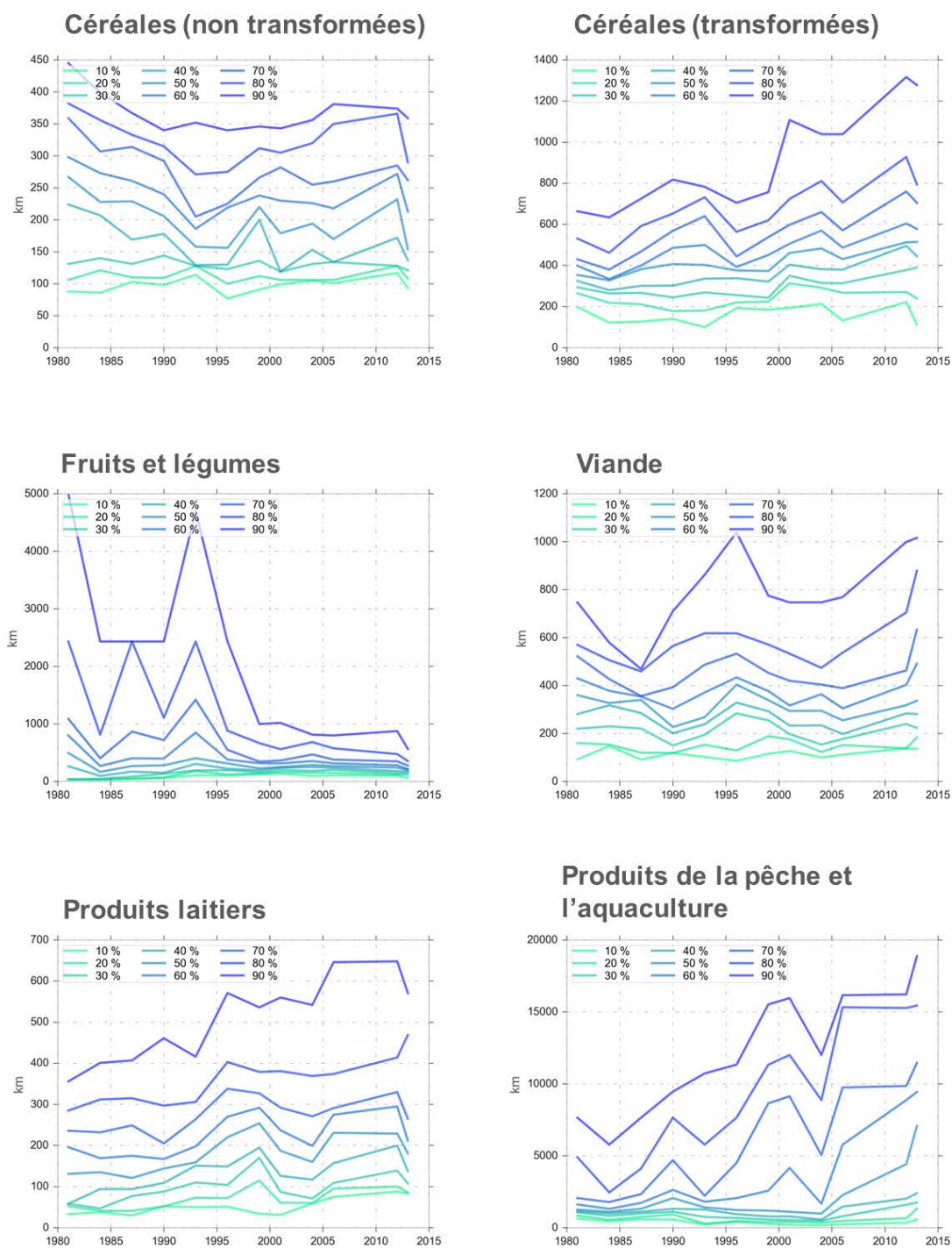


Figure 8. Evolution des distances parcourues par les importations normande de céréales, fruits et légumes et produits animaux

Les importations de la Normandie en produits transformés à base de céréales proviennent majoritairement de France et sont complétées par des flux d'Europe du Sud et de l'Est qui

augmentent sur la période (Figure 9). Les distances d'importations augmentent ainsi et le cumul des 90% d'importation est atteint à plus de 1200 km en 2012 contre 650 km en 1981 (Figure 8). Les exportations montrent une diversification progressive des destinations avec une augmentation des exportations vers l'étranger, principalement l'Afrique et l'Amérique du Sud) dès le début des années 1990. A noter que les données de productions n'apparaissent pas ici du fait de l'absence d'information détaillée par département sur l'ensemble de la période. Le détail par département fait ressortir le poids majoritaire de la Seine Maritime dans les volumes importés et exportés par la Normandie.

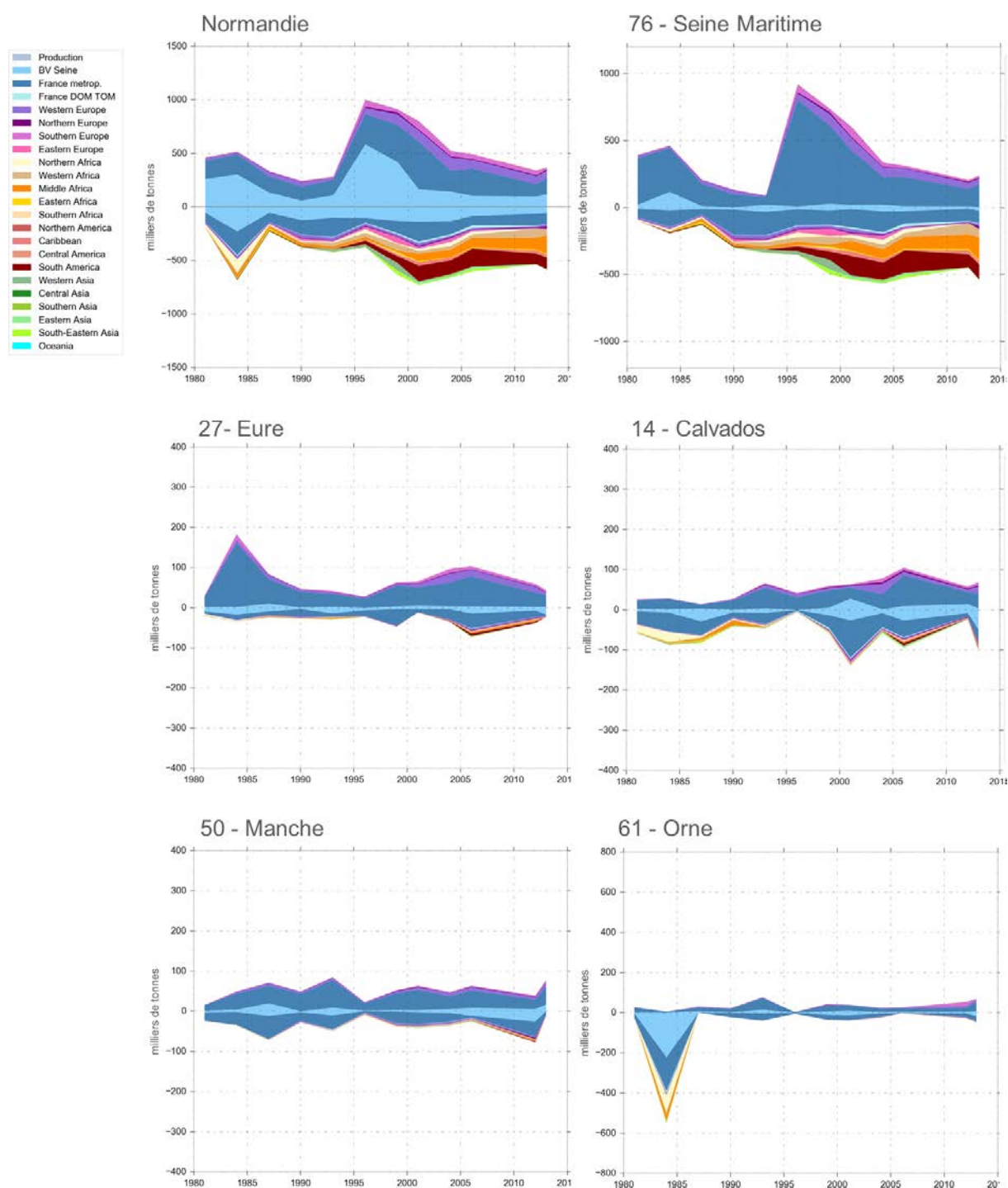


Figure 9. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en céréales transformées

5.2 Approvisionnement en fruits et légumes

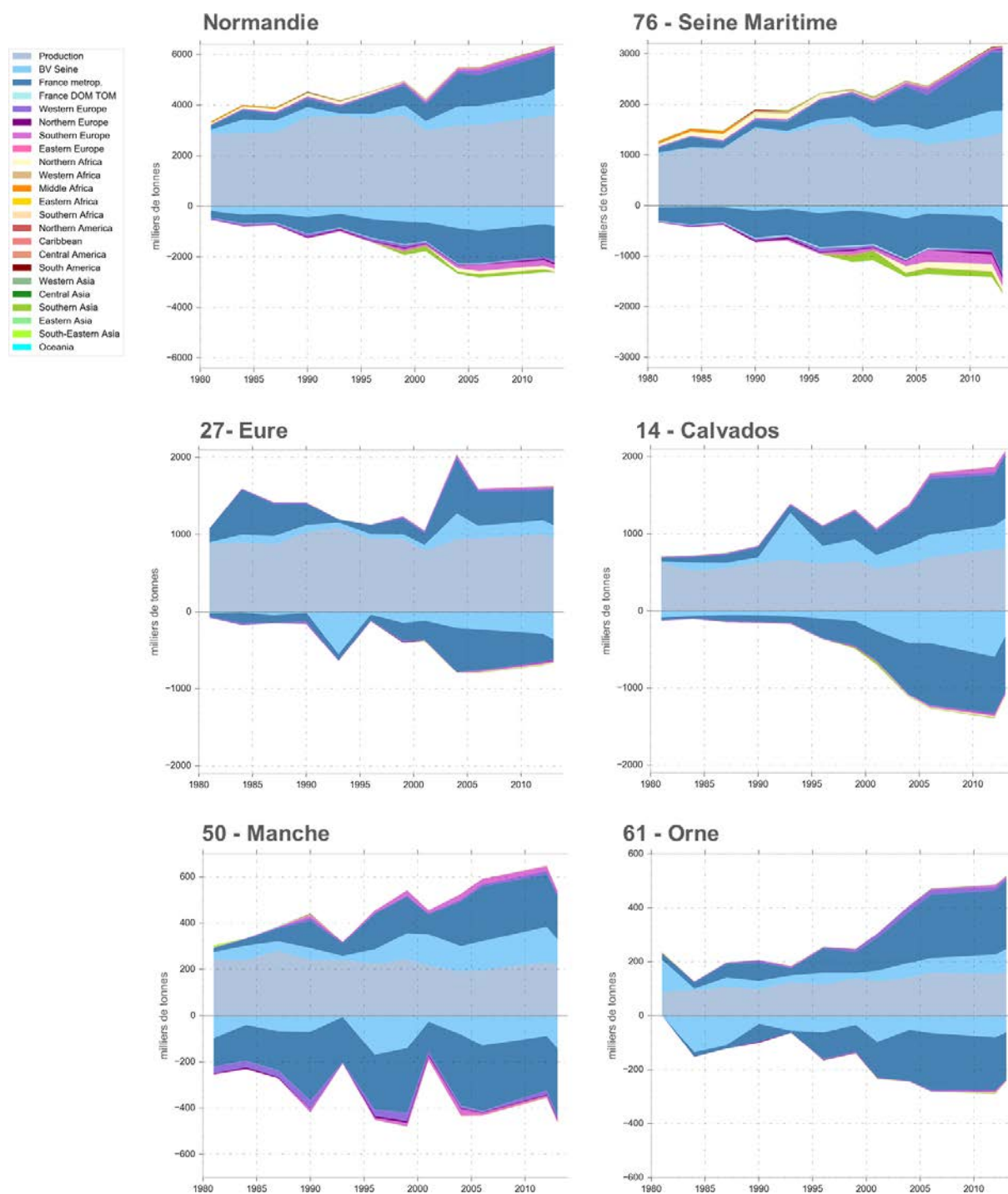


Figure 10. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en fruits (bruts et transformés)

La production représentée ici ne contient que la production de fruits et légumes bruts (récoltés)

La Seine Maritime contribue environ pour moitié aux flux normands d'importation et d'exportation suivi du Calvados puis de l'Eure (Figure 10). Les importations et les exportations se font majoritairement en provenance et à destination des départements français. Les échanges avec les pays étrangers se font avec l'Europe et, pour la Seine-Maritime avec l'Afrique du nord et l'Asie. Sur la période étudiée, pour la Seine-Maritime, le Calvados et l'Orne, la tendance est à l'augmentation des importations et des exportations. Le poids des importations depuis les départements français

augmente sur la période pendant que les exportations vers les pays étrangers prennent plus d'ampleur. Ainsi, pour l'ensemble de la Normandie, les distances d'approvisionnement diminuent sur la période étudiée et 80% des importations proviennent de moins de 500 km en 2012-2013 contre 2000 km au début des années 1980 (Figure 8).

5.3 Approvisionnement en produits animaux

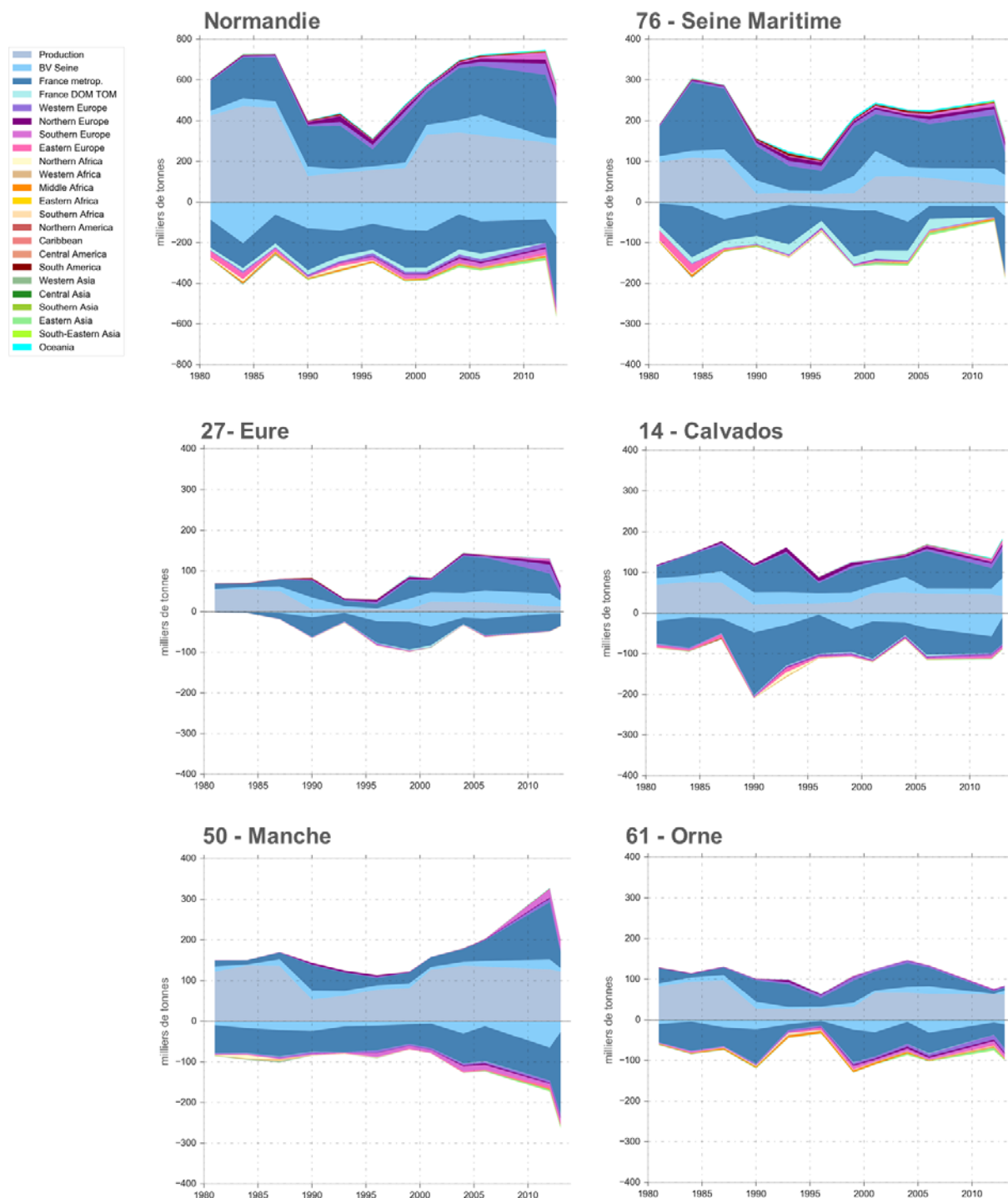


Figure 11. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en viande
(données partielles entre 1990 et 1999 ne comprenant que les abatages de vaches de réforme)

La viande importée en Normandie provient principalement de France malgré une part croissante des pays étrangers (Europe et Océanie) (Figure 11). Les distances d’approvisionnement marquent ainsi une tendance à la hausse débutée dès la fin des années 1980 (Figure 8). Les exportations de viandes se font majoritairement vers la France métropolitaine et, pour la Seine-Maritime, vers les DOM-TOM.

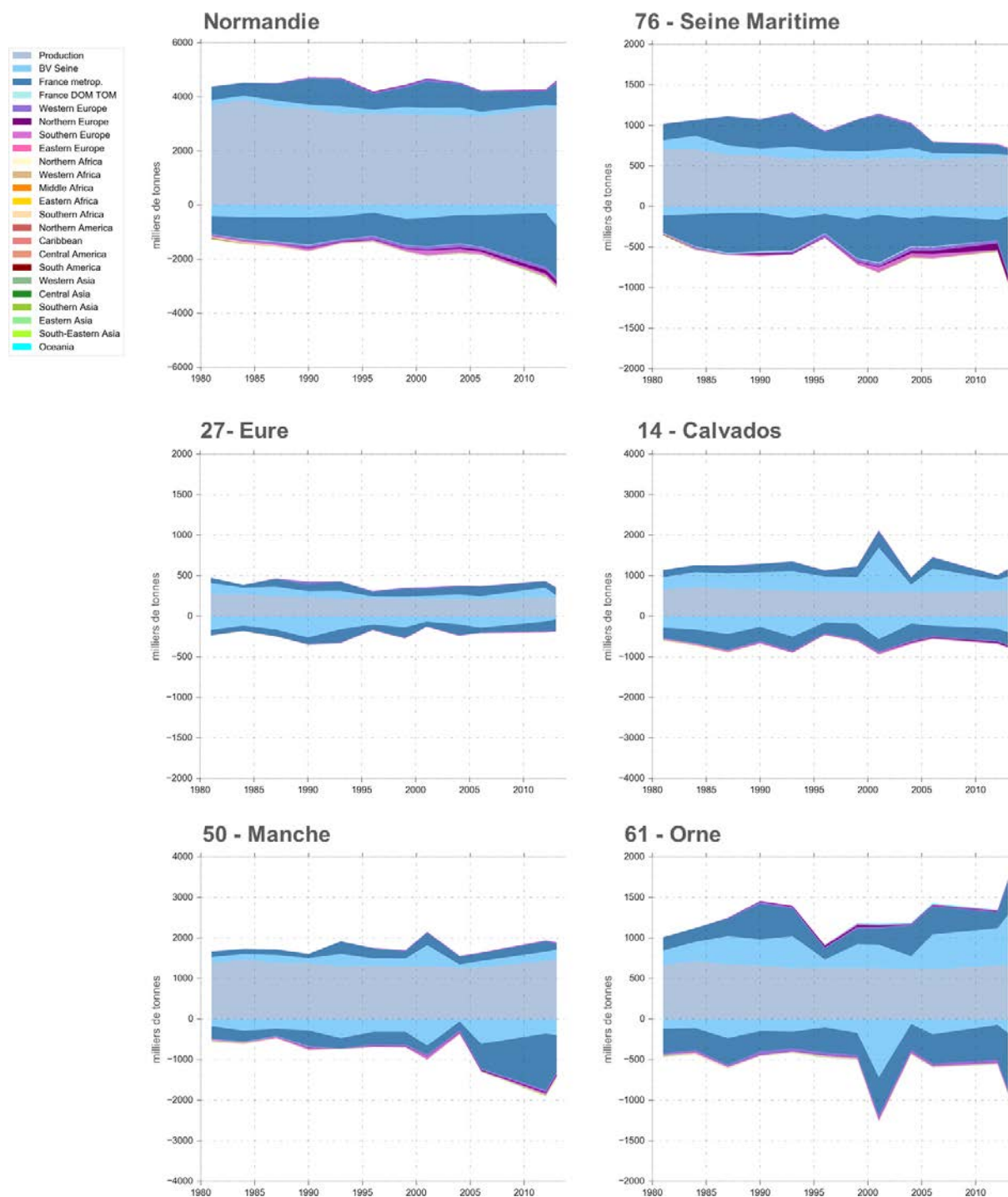


Figure 12. Bilan d’approvisionnement de la Normandie en produits laitiers

Concernant les produits laitiers, les approvisionnements sont dominés par les productions locales (Figure 12) et les exportations sont principalement destinées aux départements français. La tendance est à l’augmentation des distances sur l’ensemble de la période (Figure 8).

Les importations normandes de produits issus de la pêche et de l'aquaculture proviennent pour moitié de France et pour moitié de pays étrangers (Europe et Asie principalement) (Figure 13). Sur la période étudiée, les distances parcourues sont en nette augmentation : depuis 2006, 30% des importations proviennent de plus de 1000 km (Figure 8). Les départements côtiers, Seine-Maritime, Calvados et Manche, dominent en termes de volumes importés et exportés (à noter que les productions ne figurent pas sur le graphique).

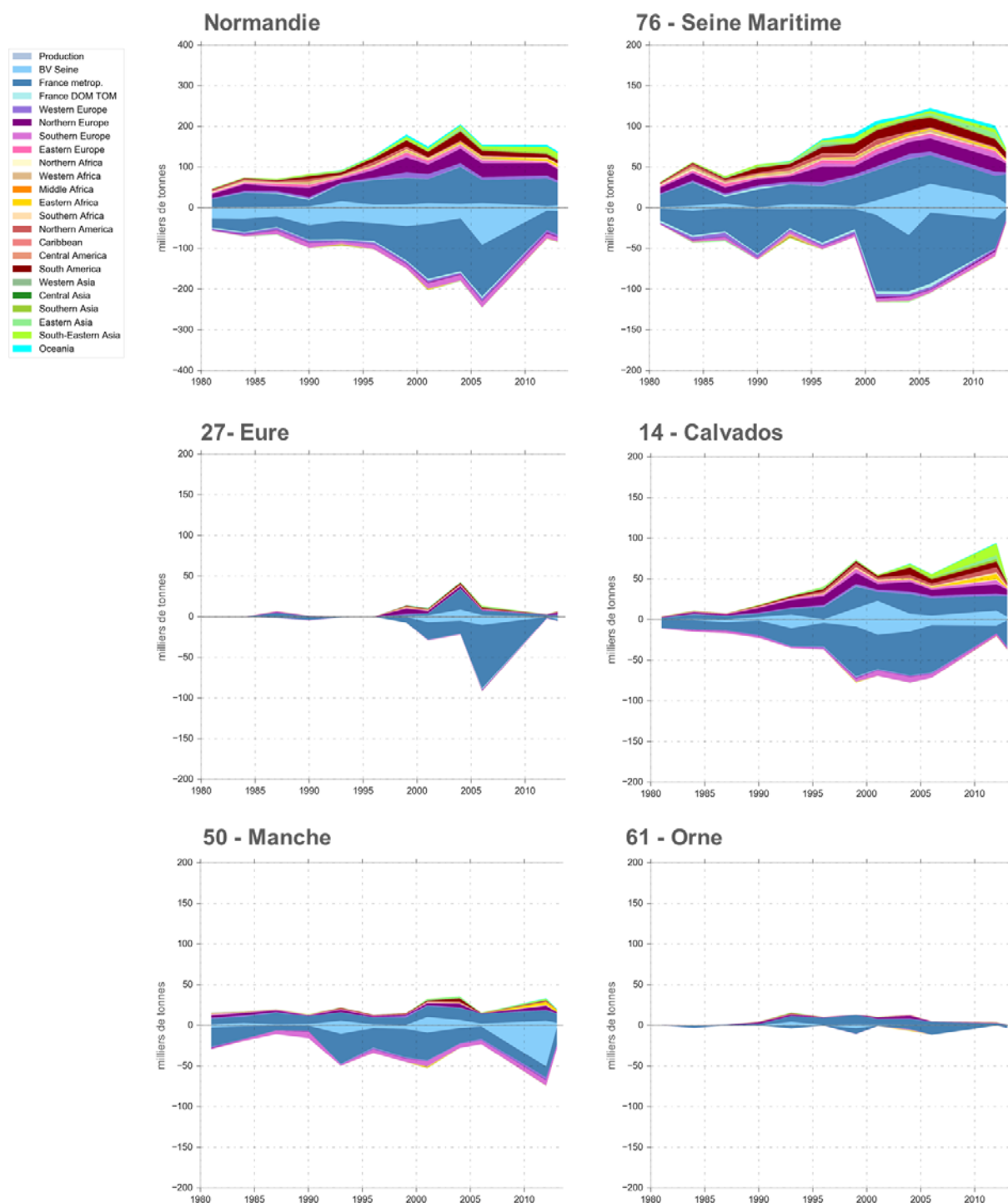


Figure 13. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en produits de la pêche et de l'aquaculture

5.4 Approvisionnement en aliments pour le bétail

L'approvisionnement en pailles, foin, déchets des industries agro-alimentaires est très largement dominé par les productions locales qui, au vu des très faibles volumes exportés, sont consommées localement (**Figure 14**). La chute des volumes produits en 1990 dans tous les départements normands est la conséquence directe d'une importante sécheresse qui a touchée l'ouest de la France et a fait chuter les rendements.

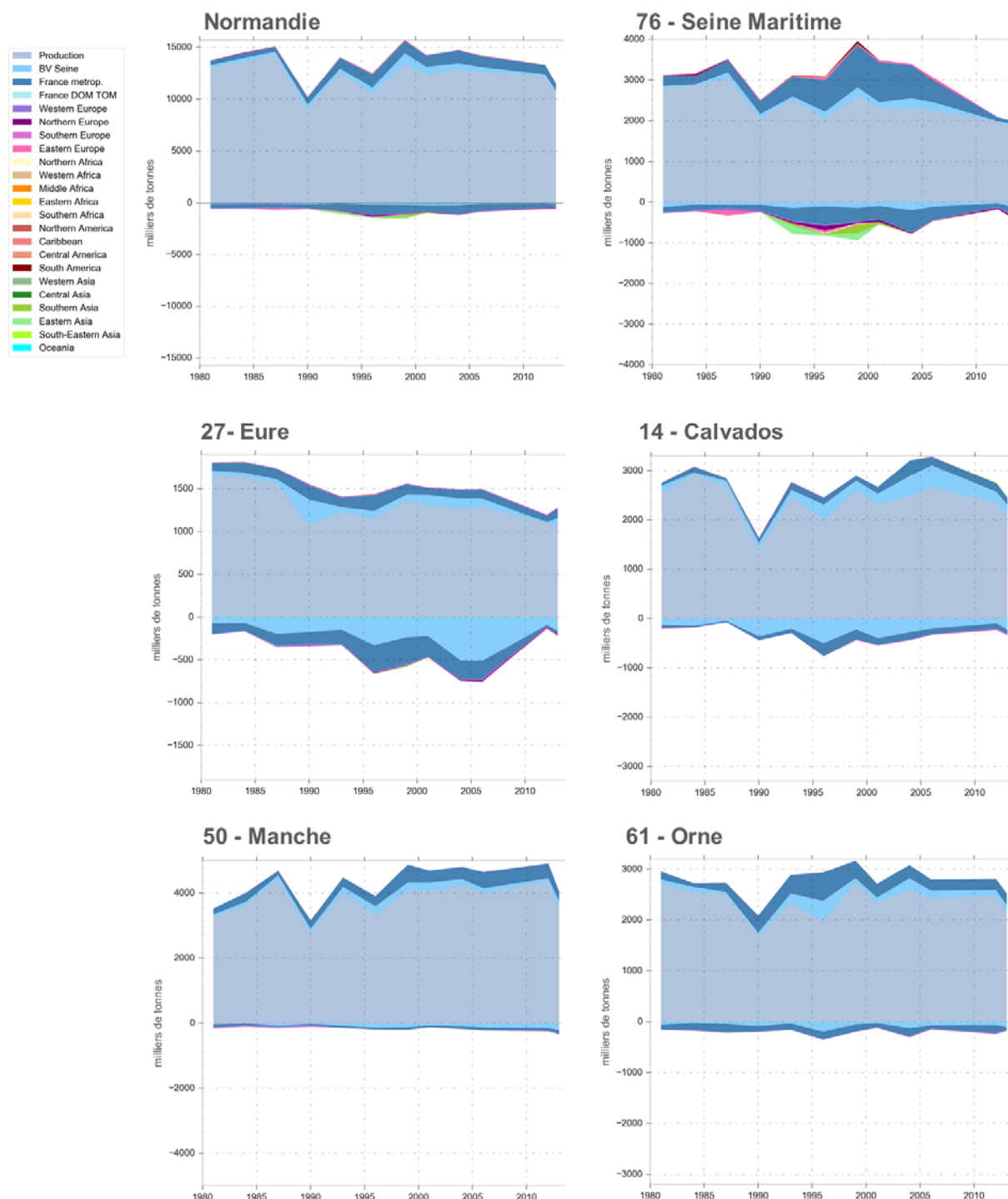


Figure 14. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en pailles foin, déchets des industries agro-alimentaires destinés à l'alimentation animale

L'approvisionnement en tourteaux et résidus d'extraction d'huiles est dominé par les importations en provenance d'Amérique du Sud (Figure 15). La Seine-Maritime réexporte d'importants volumes vers la Normandie et les autres départements français.

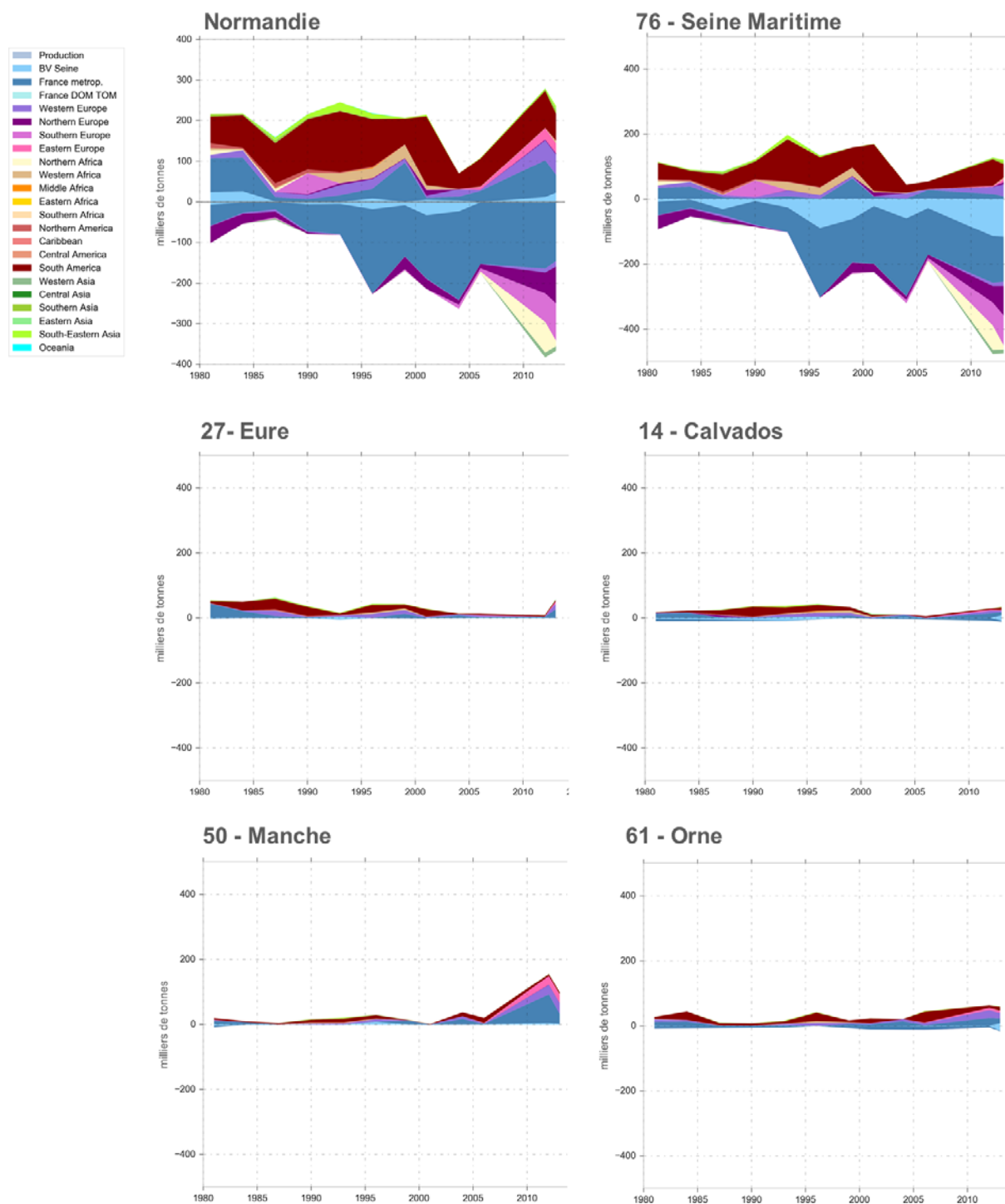


Figure 15. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en tourteaux et résidus d'extraction d'huiles

La Seine-Maritime domine encore une fois les flux normands d'importations et d'exportations de graines oléagineuses (Figure 16). La tendance est à l'augmentation de ces flux sur l'ensemble de la période étudiée.

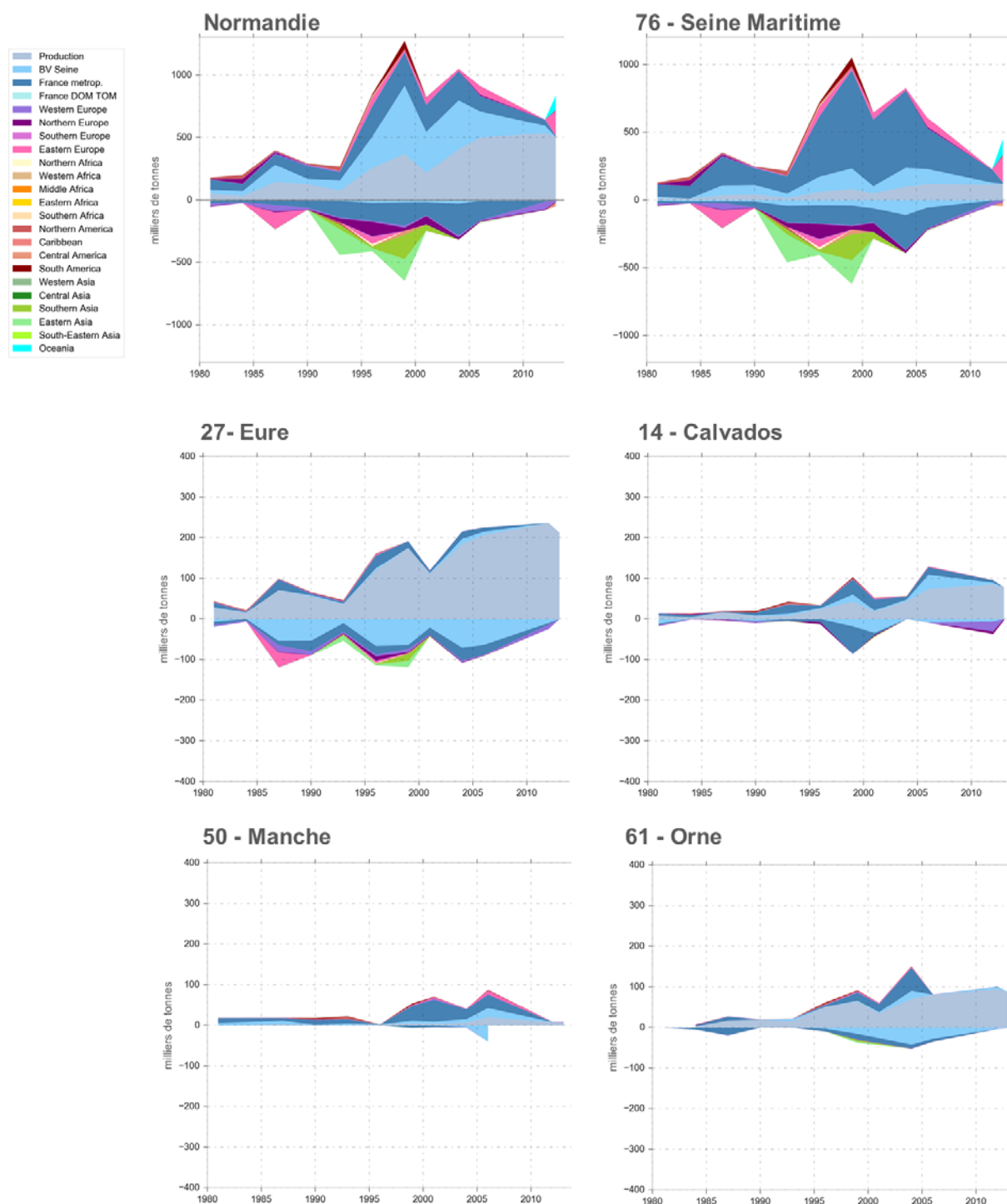


Figure 16. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en graines oléagineuses

Les distances d'approvisionnement en aliments pour bétail sont très variables selon les produits considérés (Figure 17). Les pailles, foin et déchets issus des industries agro-alimentaires proviennent à 80% de territoires situés dans un rayon de moins de 400 km au début des années 1980 et de moins de 300 km au début des années 2010. Par contre, les importations de 80 % des tourteaux oscillent autour d'une distance de 10000 km entre 1981 et 2013. Les graines oléagineuses proviennent à 80% de moins de 1000 km jusqu'en 2012 et passe à 2000 km en 2013 avec l'importance que prennent l'Europe de l'est et l'Océanie.



Figure 17. Evolution des distances parcourues par les importations normande de pailles, foin et déchets des industries agro-alimentaire, tourteaux, graines oléagineuses et engrais.

5.5 Approvisionnement en engrais

Les importations d'engrais par la Normandie proviennent majoritairement de France. Ces volumes ont diminué sur la période étudiée (Figure 18). Les importations de pays étrangers sont relativement stables mais les provenances ont évolué : les pays d'Asie de l'ouest ont progressivement diminué au profit notamment de l'Amérique centrale. De même, l'Europe de l'ouest semble laisser la place à l'Europe de l'Est.

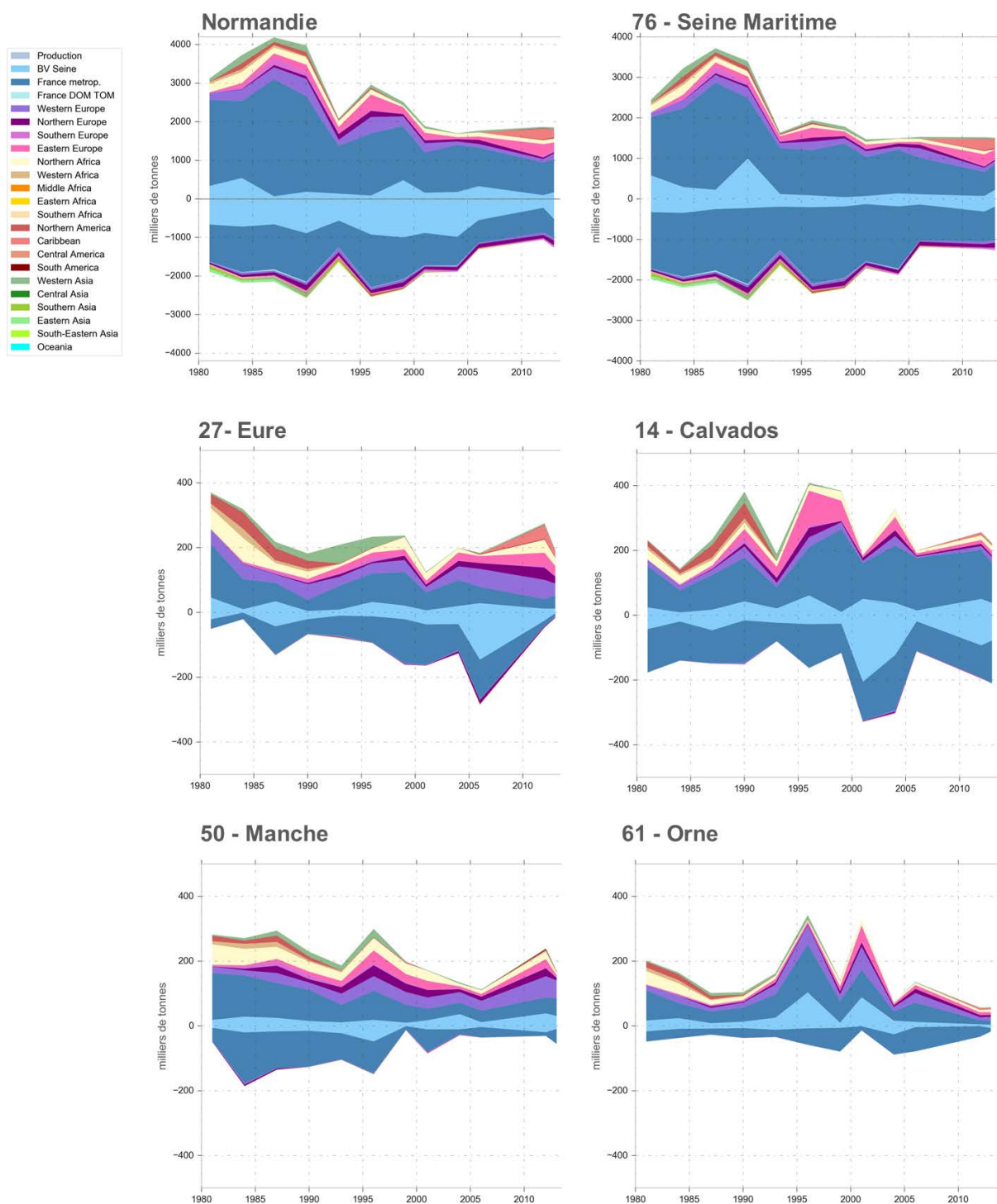


Figure 18. Bilan d'approvisionnement de la Normandie en engrais

Les distances d'approvisionnement en engrais sont marquées par une diminution sur la période étudiée (Figure 17) avec un rebond sur les dernières années, lié à l'apparition des pays d'Amérique centrale parmi les provenances en 2012 et 2013.

7. Références

Agrete (2015), PRODCOM, Ministère de l'Agriculture, disponible sur <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar/> (dernier accès 25/11/2015)

Agrete (2015), Statistiques Agricoles Annuelles. Ministère de l'Agriculture, disponible sur <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar/> (dernier accès 30/11/2015)

FAOSTAT (2016), Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, disponible sur <http://www.fao.org> (dernier accès 08/02/2016)

FAOSTAT (2016), Matrices du commerce détaillées. Food and Agriculture Organization of the United Nations, disponible sur <http://www.fao.org> (dernier accès 08/06/2016)

GEOFLA (2016), Départements français. IGN, disponible sur <http://professionnels.ign.fr/geofla> (dernier accès 28/06/2016)

Natural Earth (2016), « 1:50 / Admin 0-Countries ». Natural Earth. Free vector and raster map data disponible sur <http://www.naturalearthdata.com/> (dernier accès 10/12/2016)

SitraM (2014), Système d'information sur le transport des marchandises. Service de l'Observation et des Statistiques du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et la Mer, disponible sur http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sources-methodes/enquete-nomenclature/1543/0/sitram.html?tx_ttnews%5Bcatdomaine%5D=873&cHash=1eeb9411fcb1a5f0a53d7b3c59d32ae7 (dernier accès : 16/11/2015)



Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date de soumission : 31 mars 2017

Date de révision : 15 décembre 2017

Evolution du métabolisme territorial des régions normandes et adjacentes

Gilles Billen, Josette Garnier, Julia Le Noë (UMR Metis, UPMC/CNRS),
Marie Silvestre (FR FIRE, CNRS)

Introduction

Nous cherchons ici à caractériser le **fonctionnement des territoires normands** du point de vue de leur métabolisme, et plus particulièrement sous l'angle des **échanges de matière** qui caractérisent sa **chaîne agro-alimentaire**.

La Normandie n'est pas un territoire isolé : sa position géographique à l'aval du bassin de la Seine, le rôle que jouent ses ports maritimes dans l'économie nationale, la proximité de l'énorme métropole parisienne, la spécialisation agricole des régions adjacentes (bassin Parisien, Nord-Pas de Calais, Bretagne,...) font que le métabolisme du territoire normand ne peut être envisagé qu'en relation avec ses grands voisins qui couvrent tout le quart Nord-Ouest de la France.

La Normandie n'est pas un ensemble homogène : elle est constituée de plusieurs territoires aux orientations nettement différentes, montrant des structures de métabolisme très contrastées.

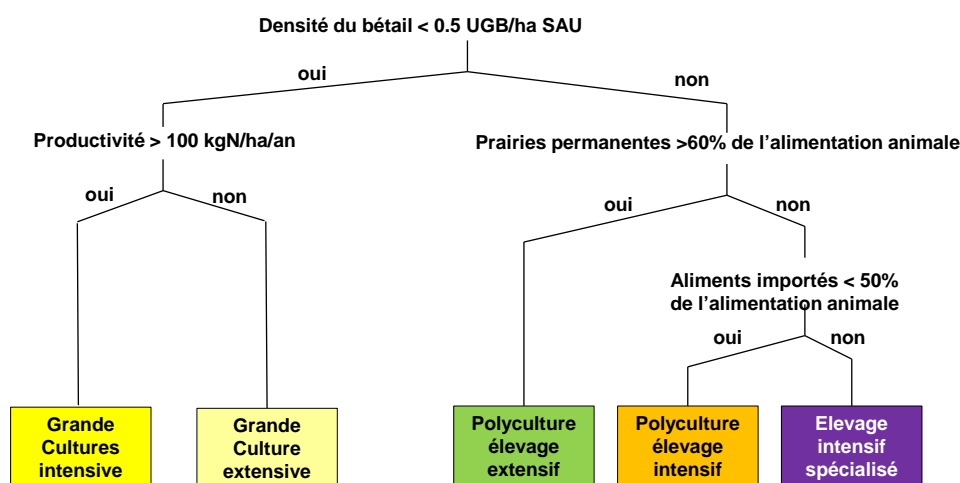
Nous présenterons d'abord le **métabolisme actuel** des régions normandes, et leurs relations avec les territoires adjacents sur base de l'examen des flux d'azote entre les principaux compartiments du système agro-alimentaire tel qu'établi par l'analyse GRAFS de la situation de 2006 (Billen et al., 2014 ; Le Noë et al, 2017).

Nous retracerons ensuite **l'évolution rétrospective** de ce métabolisme au cours des 50 dernières années, sur base de la même analyse GRAFS établie sur les données chronologiques disponibles, issues des Statistiques Annuelles de l'Agriculture (<http://agreste.agriculture.gouv.fr/>) et des données de l'Unifa (www.unifa.fr) relatives à la consommation de fertilisants de synthèse.

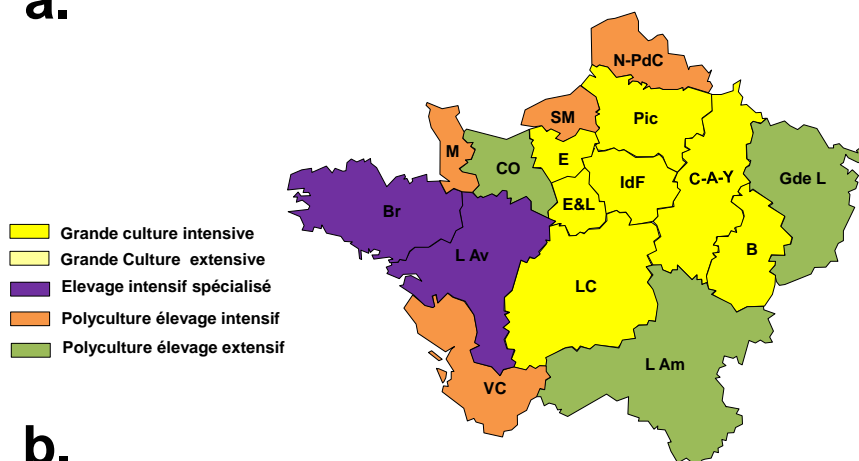
1. Le métabolisme actuel des régions Normandes

1.1. Orientation agricole

Une typologie de l'orientation agricole des territoires, à partir de critères simples tels que la densité du cheptel et l'origine de son alimentation, a été proposée par Le Noë et al (2017). Ses principes en sont résumés dans la Fig. 1a, et son application au quart Nord-Ouest de la France dans la Fig. 1b. L'hétérogénéité des territoires normands apparaît clairement à la lumière de cette typologie, avec la Manche, et la Seine-Maritime qui se caractérisent par une orientation de polyculture élevage intensive, l'Orne et le Calvados, par un type de polyculture élevage extensif, tandis que l'Eure est clairement une zone de Grande Culture Intensive, comme l'ensemble du bassin parisien. La Bretagne et la Loire Aval constituent le pôle d'élevage intensif spécialisé dominant.



a.



b.

Figure 1. Typologie des orientations agricoles des territoires du quart Nord-Ouest de la France (d'après Le Noë et al, 2017)

1.2. Métabolisme des régions normandes

La représentation des flux d'azote au sein du système agro-alimentaire des 4 territoires normands (Figures 2 à 5) permet de préciser les différences structurelles entre ces territoires, et de mettre en évidence leurs interrelations. L'ampleur des échanges avec les territoires voisins est illustrée à travers la représentation des flux de transport de marchandises agricoles, calculés à partir de la base de données SitraM (Le Noë et al, 2016) (Fig 6 à 8).

La **Seine Maritime** est caractérisée par l'importance du trafic de marchandises agricoles liées aux activités portuaires de Rouen et du Havre. Les flux concernés sont trois fois plus importants que ceux liés à la production agricole locale, qui présente quant à elle des caractéristiques de polyculture élevage intensives, avec un cheptel nourri majoritairement sur la production arable locale.

L'**Eure** est pour sa part tournée vers les grandes cultures exportatrices et montre une densité de cheptel beaucoup plus faible. Elle exporte l'essentiel de sa production céréalière vers la Seine Maritime.

Seine Maritime (6329 km²) 2006, kton N/an

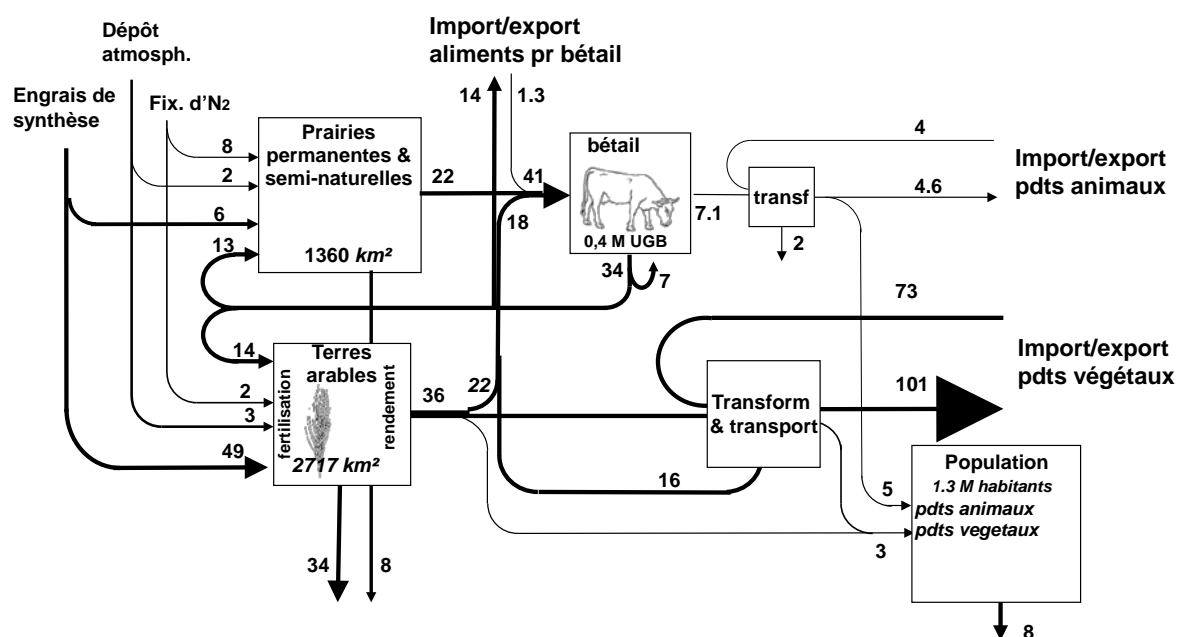


Figure 2. Métabolisme territorial de la Seine Maritime en 2006, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire. (données issues de Le Noë et al, 2017)

Eure (6028 km²) 2006, kton N/an

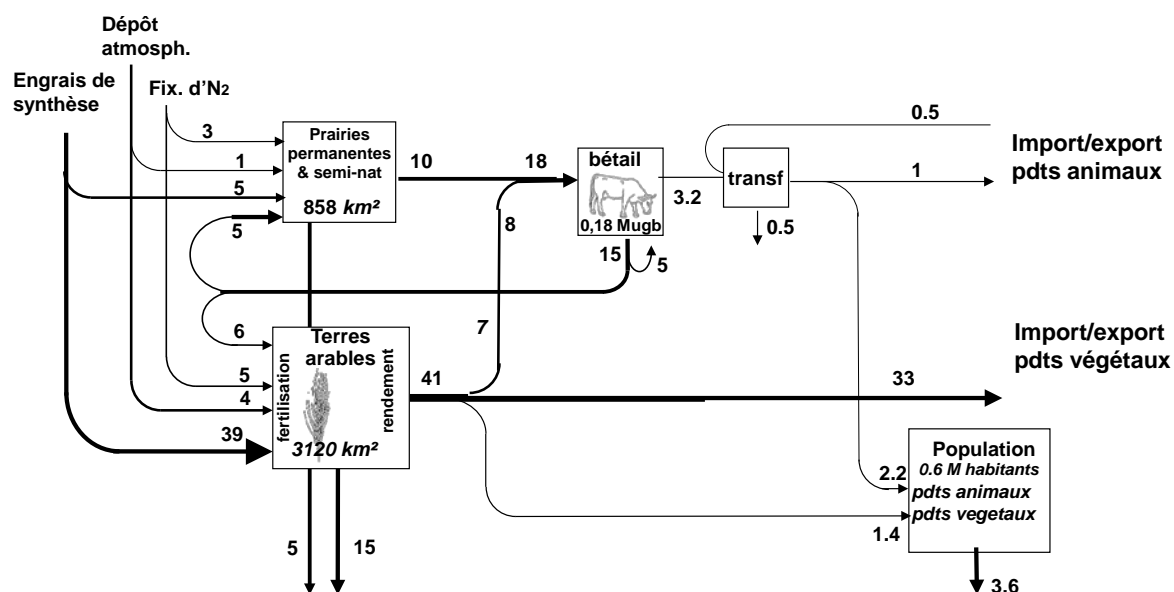


Figure 3. Métabolisme territorial de l'Eure en 2006, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire. (données issues de Le Noë et al, 2017)

Manche (6051 km²) 2006, kton N/an

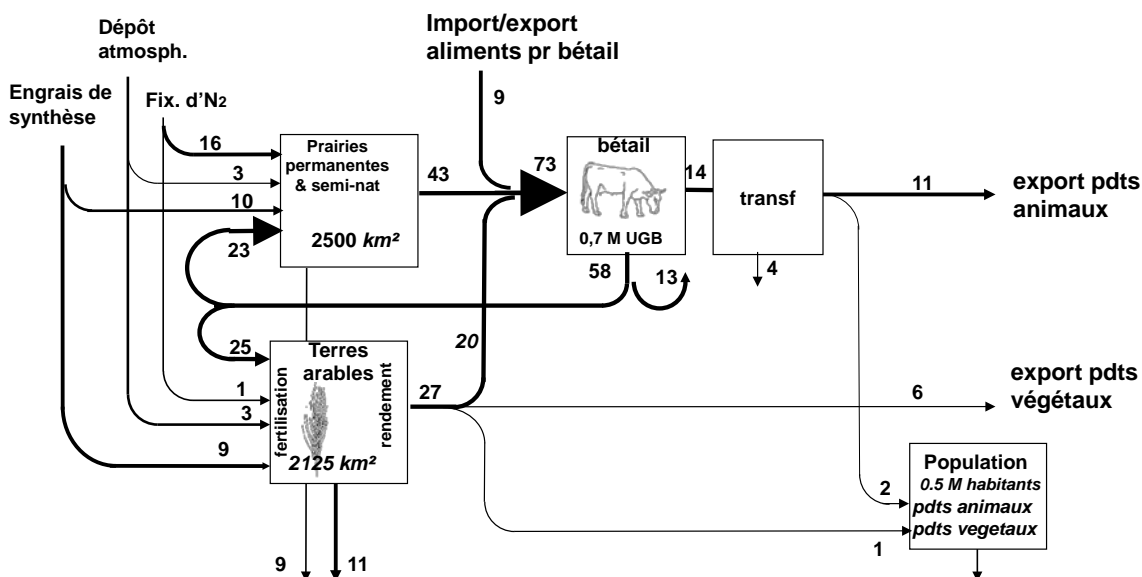


Figure 4. Métabolisme territorial de la Manche en 2006, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire. (données issues de Le Noë et al, 2017)

Calvados-Orne (11758 km²) 2006, kton N/an

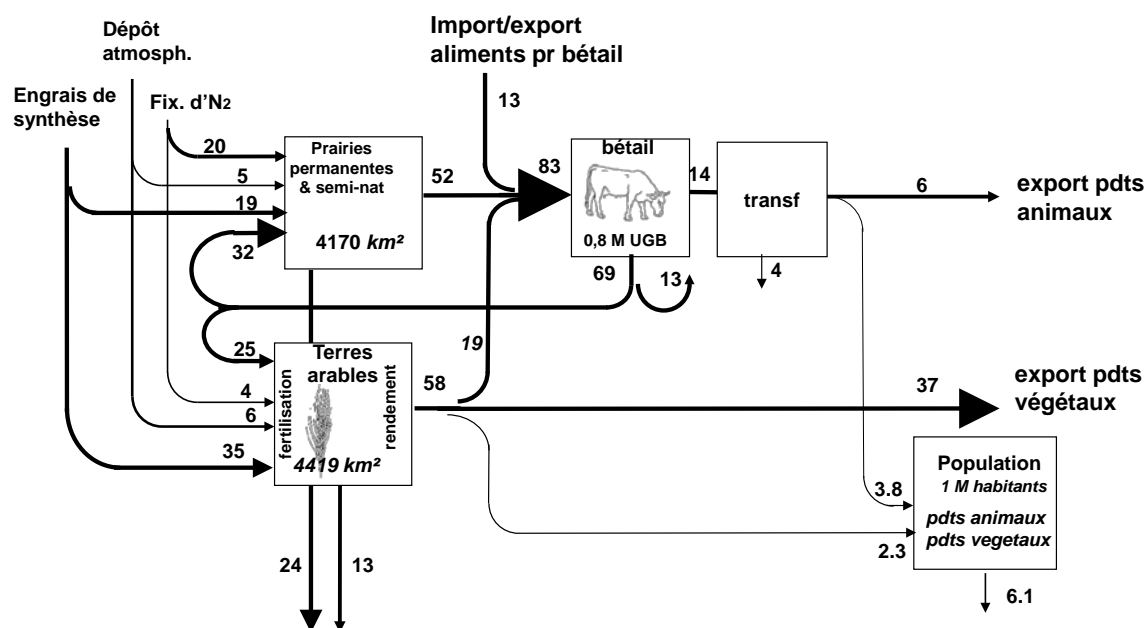


Figure 5. Métabolisme territorial de la région Calvados-Orne en 2006, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire. (données issues de Le Noë et al, 2017)

Flux de céréales, 2006

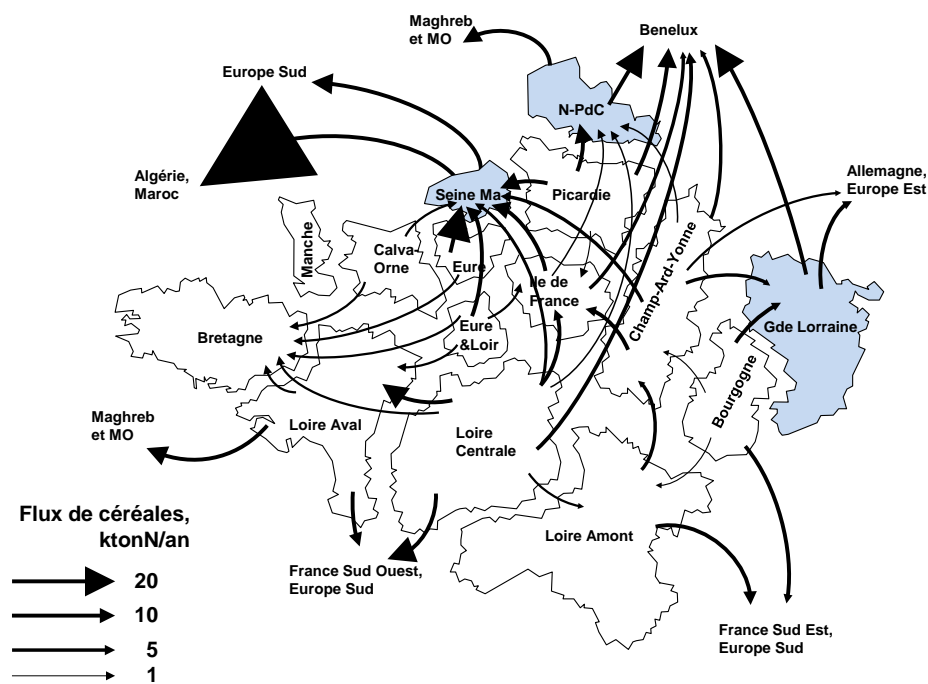


Figure 6. Flux de transport de céréales (exprimés en milliers de tonnes d'azote contenu) entre les régions du quart Nord-Ouest de la France en 2006 (d'après les données SitraM, Le Noë et al 2016).

Flux de produits animaux, 2006

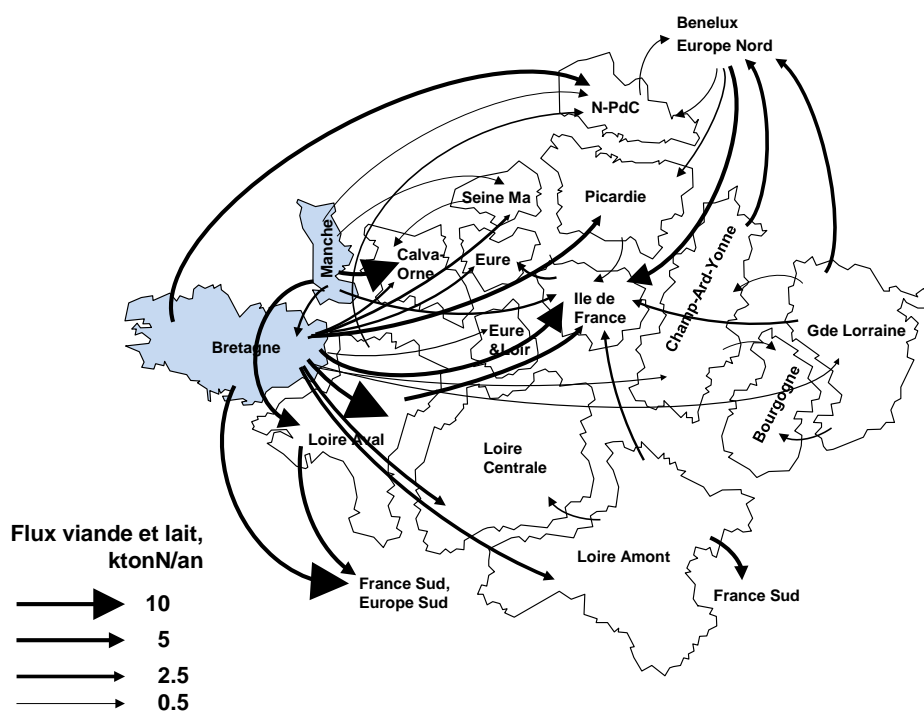


Figure 7. Flux de transport de produits animaux (exprimés en milliers de tonnes d'azote contenu) entre les régions du quart Nord-Ouest de la France en 2006 (d'après Le Noë et al 2016).

Flux d'aliments pour animaux, 2006

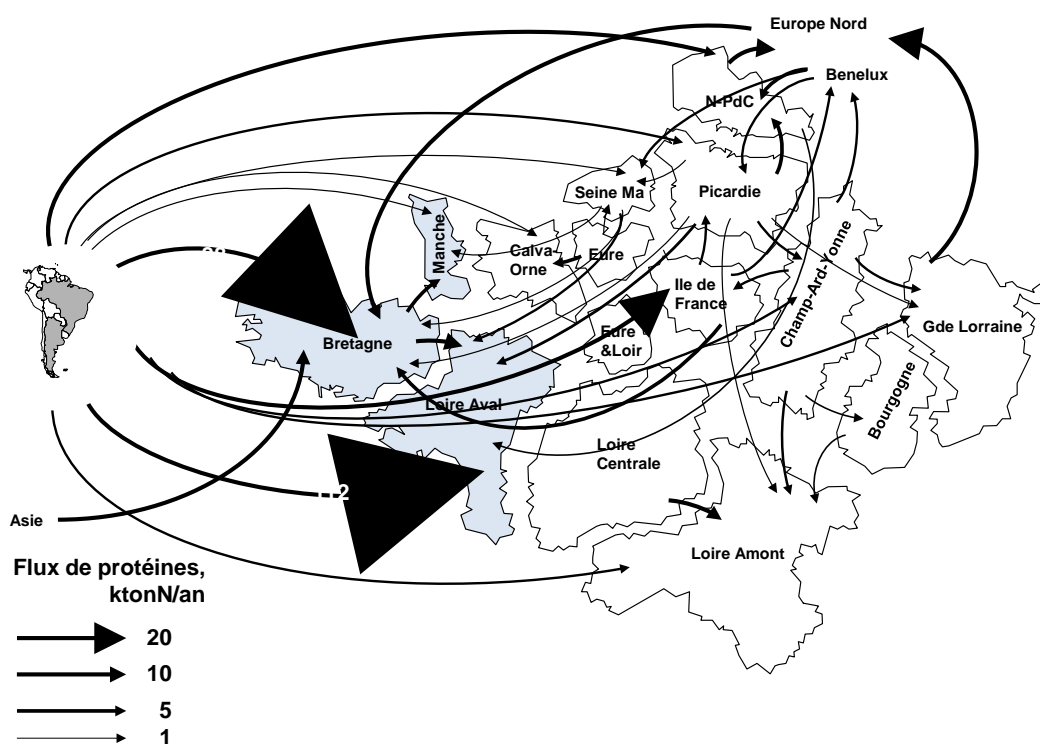


Figure 8. Flux de transport d'aliments pour animaux (exprimés en milliers de tonnes d'azote contenu) entre les régions du quart Nord-Ouest de la France en 2006 (d'après les données SitraM, Le Noë et al 2016).

Le **Calvados et l'Orne** sont des régions caractérisées par une forte densité de cheptel, dont la nutrition est assurée majoritairement à l'herbe, avec peu de recours aux aliments importés, ce qui justifie leur classement en polyculture élevage extensif. L'agriculture y est cependant assez productive et diversifiée et la région est très exportatrice de produits agricoles.

La **Manche** est également une région tournée vers l'élevage, avec une forte densité de cheptel. Le recours à l'herbe pour l'alimentation de ce cheptel est très proche mais inférieure à la limite qui la ferait classer en polyculture-élevage extensif. L'essentiel de la production agricole est destinée à l'alimentation du bétail, de sorte que la région est très peu exportatrice de produits végétaux. L'industrie de transformation des produits animaux y est très développée.

2. Trajectoires d'évolution du métabolisme des régions Normandes

2.1. Evolution de la fertilisation et du surplus agricole

L'évolution des modes de fertilisation des terres arables constitue le moteur principal qui gouverne l'évolution de l'agriculture. Au cours des dernières décennies, le développement de la fertilisation minérale synthétique a ainsi été crucial pour permettre la spécialisation de certaines régions vers les grandes cultures céréalières en s'affranchissant de la dépendance à la fertilisation animale. La figure 9a montre l'évolution de la fertilisation azotée minérale des terres agricoles dans les 2 régions normandes, en termes de niveau d'apport exprimé en kgN/haSAU/an. C'est entre 1960 et 1987, avec une interruption temporaire juste après le premier choc pétrolier, que les apports engrais synthétiques azotés ont atteint le niveau d'intensité auquel ils se sont stabilisés aujourd'hui dans les régions normandes. Marginale avant 1970, la contribution des engrais de synthèse dans la fertilisation totale des terres arables est aujourd'hui dominante dans la plupart des régions normandes, sauf dans la Manche, où les déjections animales représentent encore l'apport majoritaire. Dans toutes les régions, les apports d'azote par fixation symbiotique, qui représentaient au moins un tiers des apports totaux d'azote aux sols arables en 1930, sont devenus négligeables. Dans les régions spécialisées en grandes cultures, la fertilisation par les engrais de synthèse représente plus de 80% des apports d'azote aux sols arables.

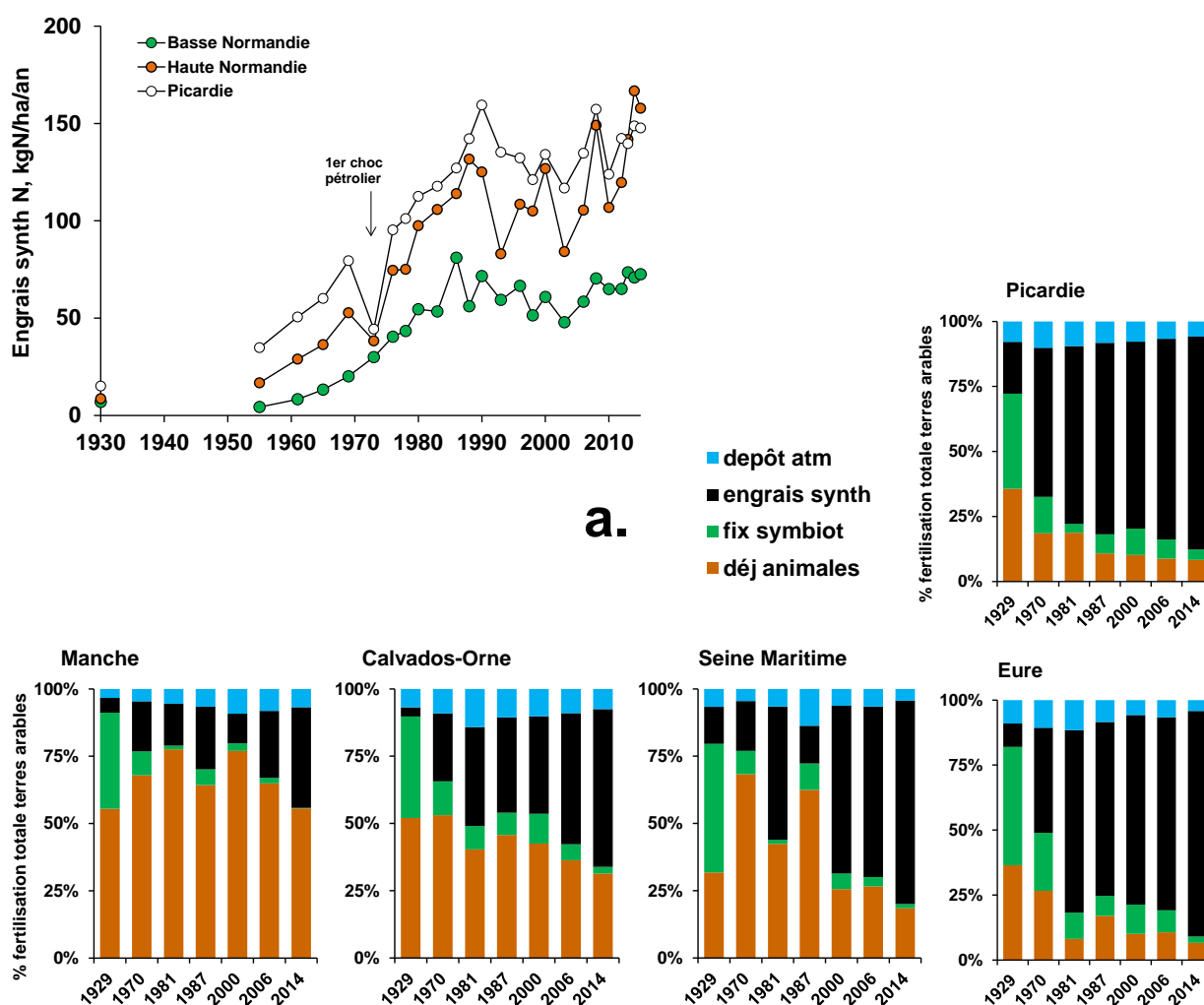


Figure 9. Evolution de la fertilisation azotée minérale des terres arables dans les 2 régions normandes et en Picardie (comme exemple de zone de Grandes Cultures) en kgN/haSAU/an (a), et en % des apports fertilisants totaux d'azote au sol (b).

Le surplus d'azote apporté aux terres arables et non exporté par la récolte constitue un bon indicateur des pertes environnementales. Il dépend moins des apports totaux d'azote au sol que de leur adéquation par rapport aux rendements effectifs de la production agricole. La trajectoire de l'agriculture du bassin de la Seine dans son ensemble en termes de relation rendement-fertilisation (Fig. 10a) permet d'identifier des moments de transition dans les conditions de maîtrise de la fertilisation, comme l'ont montré Lassaletta et al (2014) à l'échelle des pays du monde. Si jusqu'aux années 1980, l'accroissement de la fertilisation azotée s'est accompagnée d'un accroissement monotone de la production selon une relation hyperbolique classique impliquant une perte progressive d'efficacité de l'utilisation de l'azote et un accroissement du surplus, on assiste ensuite à un changement de trajectoire avec passage sur une autre relation plus efficiente. Il en résulte des rendements supérieurs à niveau de fertilisation identiques, voire décroissant.

L'évolution du surplus azoté des terres arables reflète ces changements de trajectoire. Il montre ainsi un maximum autour des années 1980, pour diminuer ensuite, à un niveau qui n'est cependant pas suffisamment bas pour assurer la production d'une eau d'infiltration et de recharge des nappes compatible avec les normes de potabilité (Fig. 10b).

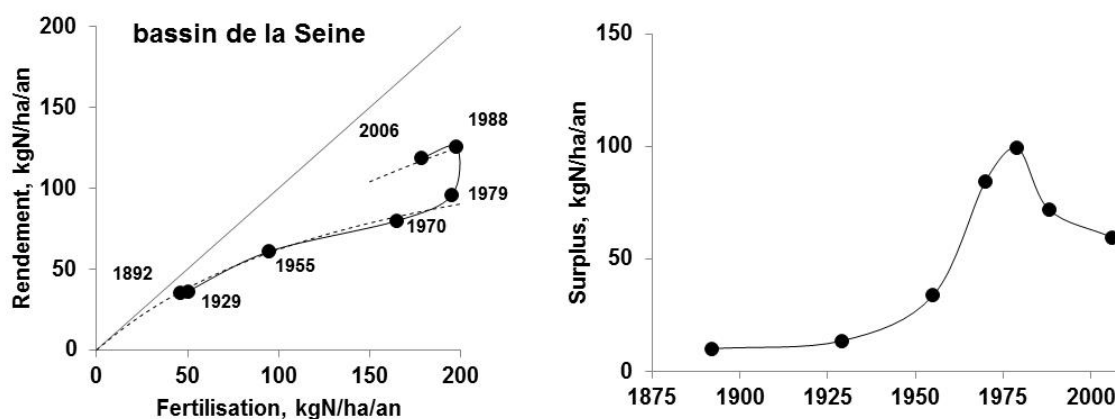


Figure 10. *a. Trajectoire de la fertilisation et du rendement des terres arables dans le bassin de la Seine au cours des 60 dernières années. b. Evolution du surplus azoté correspondant.*

2.2. Evolution du cheptel animal et de son mode d'alimentation

L'unité fonctionnelle choisie pour évaluer l'importance du cheptel animal est l'UGB (Unité Gros bétail), que nous définissons, conformément aux recommandations du CORPEN (1999), comme la quantité d'animaux produisant une excrétion de 85 kgN/an. Cette définition correspond à peu de choses près à celle de l'UGB TA (unité gros bétail tout aliments), correspondant à une vache laitière de 600 kg, produisant annuellement 3000 L de lait par an et 100 kg de poids carcasse, et ingérant 300 UF/an (ie 105 kgN/yr en protéines), ce qui implique une excrétion de 87 kgN/an et une efficacité de conversion de 17%.

Pour calculer les UGB à partir des existences en nombres de têtes des animaux de chaque catégories fournis par les statistiques agricoles, on utilise donc les coefficients d'excrétion tels qu'ils sont renseignés pour l'actuel par le CORPEN (1999), le MEEM (2010) et le CITEPA (2013) (voir synthèse dans Le Noë et al (2017)). Ces coefficients sont ajustés pour les changements historiques de l'excrétion et du poids moyen des animaux, tels qu'ils apparaissent des données de la Figure 11, issus de la compilation de nombreuses sources historiques (voir Le Noë et al, subm). Les ajustements sont surtout importants pour les bovins, dont le poids moyen a considérablement augmenté depuis un siècle. C'est moins le cas pour les autres catégories d'animaux

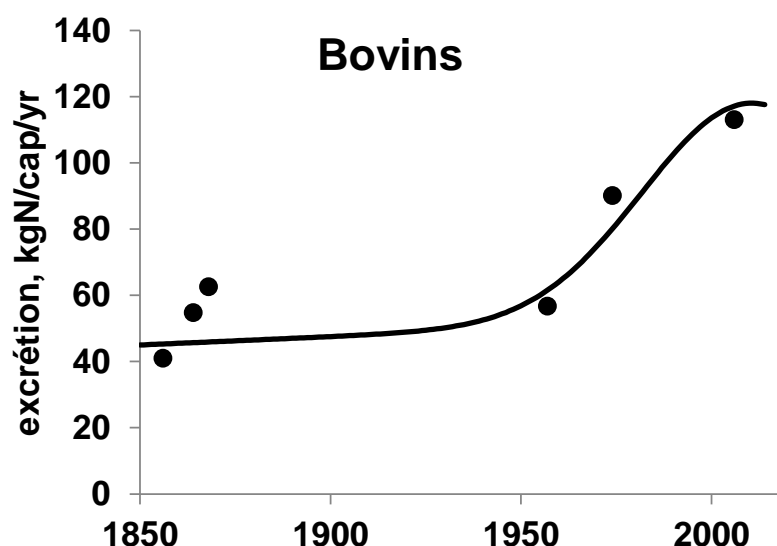


Figure 11. Poids moyen par tête de bétail par rapport aux valeurs actuelles. (Compilation de données en poids vif ou en poids net par tête fournies par les statistiques agricoles, moyennées sur la France entière et ramenées en % de la valeur 2000)

L'évolution de la densité de cheptel dans les quatre régions normandes et en Bretagne est retracée dans la figure 12. En 1929, premier point de de notre série chronologique, la densité du cheptel est de 0.4 à 0.9 UGB/ha de SAU pour toutes les régions de Normandie, de Bretagne et d'Ile de France. Si la Bretagne et la Manche se distinguent déjà des autres régions par une densité légèrement plus élevée, il est clair que toutes les régions peuvent être considérées comme ayant à cette époque fondamentalement le même fonctionnement de type polyculture-élevage. Dès les années 1950 s'amorce alors des trajectoires différenciées entre les différentes régions. La Bretagne et la Manche accroissent considérablement leur densité de cheptel ; l'Ile de France voit son cheptel se réduire très fortement. L'Eure suit l'évolution de l'Ile de France avec un certain retard. Le Calvados/Orne et la Seine Maritime doublent progressivement leur densité de cheptel, qui se stabilise de 1970 à 2000, puis diminue légèrement.

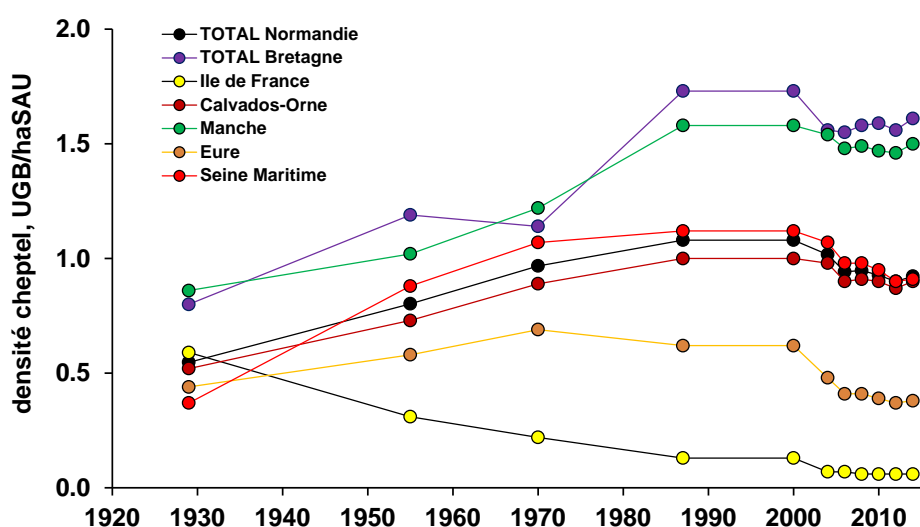


Figure 12. Evolution de la densité de cheptel dans les 4 régions normandes et les régions adjacentes en UGB/ha de SAU.

L'analyse des données de la base SiTraM relatives aux principales catégories de produits agricoles utilisées pour l'alimentation animale permet de retracer l'accroissement de la dépendance de l'élevage vis-à-vis des importations d'aliments pour bétail. Parmi ces produits, le poste principal, au moins en termes d'azote protéique contenu qui constitue le meilleur marqueur de la valeur nutritive des aliments pour animaux, est de loin constitué par les tourteaux et les graines oléagineuses, et particulièrement le soja, en provenance d'Amérique latine.

L'évolution des importations d'aliments pour bétail vers les 4 régions normandes et vers la Bretagne est retracée dans la Figure 13. Les données relatives aux importations nettes pour la France entière, telles qu'elles peuvent être déduites sur une plus longue période (1961-2013) à partir des bases de données de la FAO (Fig. 13) montrent que le recours à une alimentation du bétail basée sur des fourrages importés s'est très fortement accéléré à partir du début des années 1960, pour atteindre un maximum vers 2000, et décroître légèrement depuis une dizaine d'années. On peut sans doute considérer comme négligeables, les importations longue distance de fourrage antérieures à 1960.

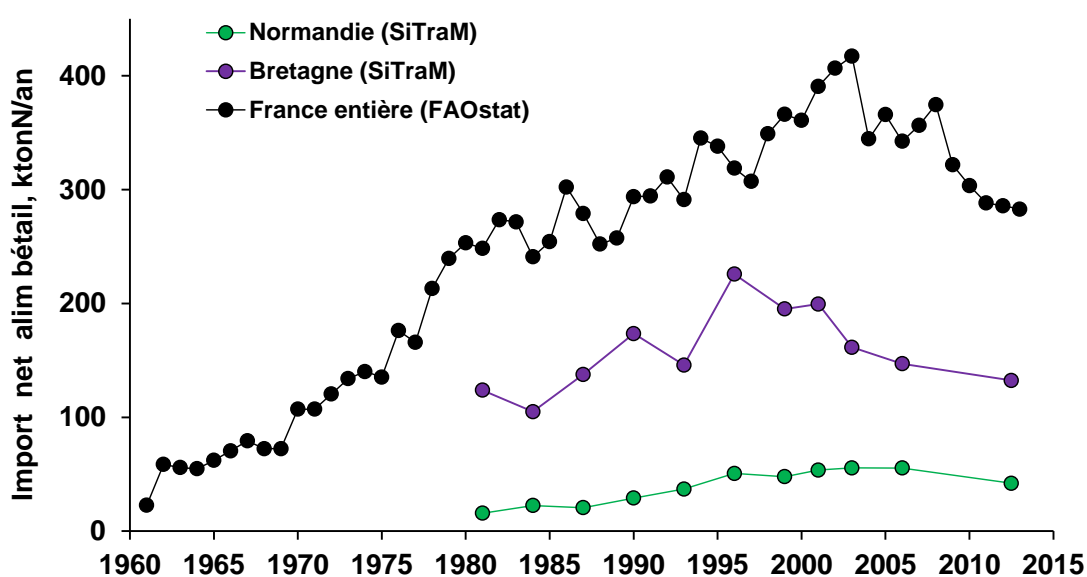


Figure 13. Evolution des importations nettes d'aliments pour bétail vers les 4 régions normandes et la Bretagne au cours de la période 1981-2006 (données Sitram : somme des importations nette (imports – exports) de tourteaux, graines oléagineuses, foin et paille, sons et autre aliments pour bétail). Les données relatives à l'importation nette des mêmes produits vers la France entière (données FAOstat) sur la période 1961-2013 sont également présentées pour comparaison.

La part de l'alimentation du bétail assurée par l'herbe des prairies permanentes diffère beaucoup de région à région et au cours du temps (Figure 14).

Cette fraction est historiquement faible en Bretagne : déjà inférieure à 25% avant les années 1970, elle diminue à moins de 10% actuellement. Dans le Calvados et l'Orne, ainsi que dans la Manche, l'herbe des pâturages permanents constitue la part majeure de l'alimentation animale jusque dans les années 1970-1980. Elle diminue ensuite à des valeurs comprises entre 50 et 60%. L'Eure (avec beaucoup moins d'élevage) et la Seine Maritime connaissent des évolutions intermédiaires.

La part de l'alimentation animale assurée par les importations de fourrage depuis l'étranger, est un bon marqueur de l'élevage industriel. Dès les années 1960, la Bretagne se tourne vers un type d'élevage basé sur les importations de fourrage extérieur, dont la part dans le total de la ration se stabilise autour de 40%. Dans la Manche et le Calvados/Orne, ce virage est plus tardif, et aboutit à une part d'alimentation assurée par les importations de l'ordre de 15%. La Seine Maritime rejoint progressivement des niveaux de dépendance aux importations de fourrage de l'ordre de ceux observés

actuellement en Bretagne. Dans toutes les régions normandes, la part d'herbe issue de prairies permanentes reste néanmoins sensiblement plus élevée qu'en Bretagne.

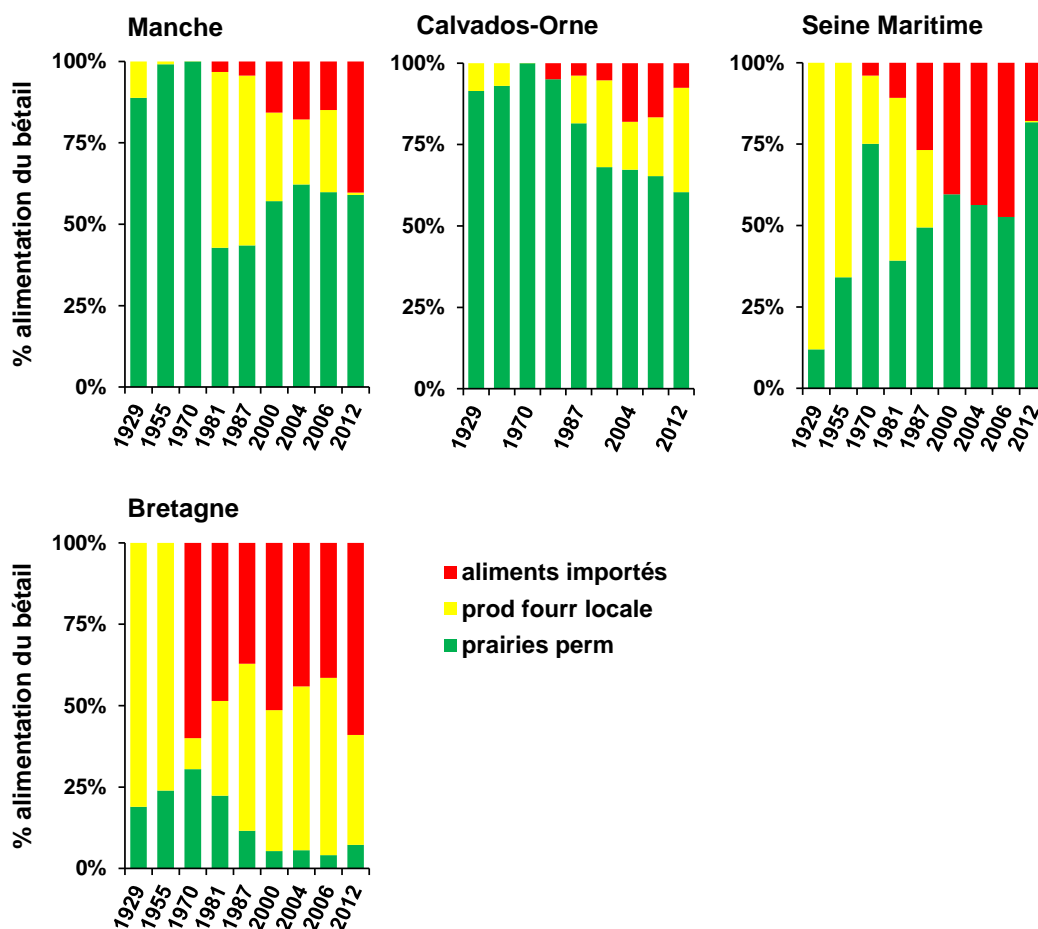


Figure 14. Evolution de la part d'herbe (de prairies permanentes), de productions fourragères locales et d'aliments importés dans la ration du bétail dans les 4 régions normandes et la Bretagne

2.3. Evolution de l'orientation agricole des régions normandes et adjacentes

Les données présentées ci-dessus, et l'application des critères typologiques détaillés dans la figure 1a permettent de retracer l'évolution de l'orientation agricole des régions normandes et adjacentes en termes d'appartenance aux 5 classes de systèmes de production que nous avons distinguées (Fig 15). Si une certaine spécialisation de ces systèmes est déjà présente dès la fin du XIXe siècle, nos résultats montrent bien la progression de cette spécialisation et son accélération dans la deuxième moitié du XXe siècle.

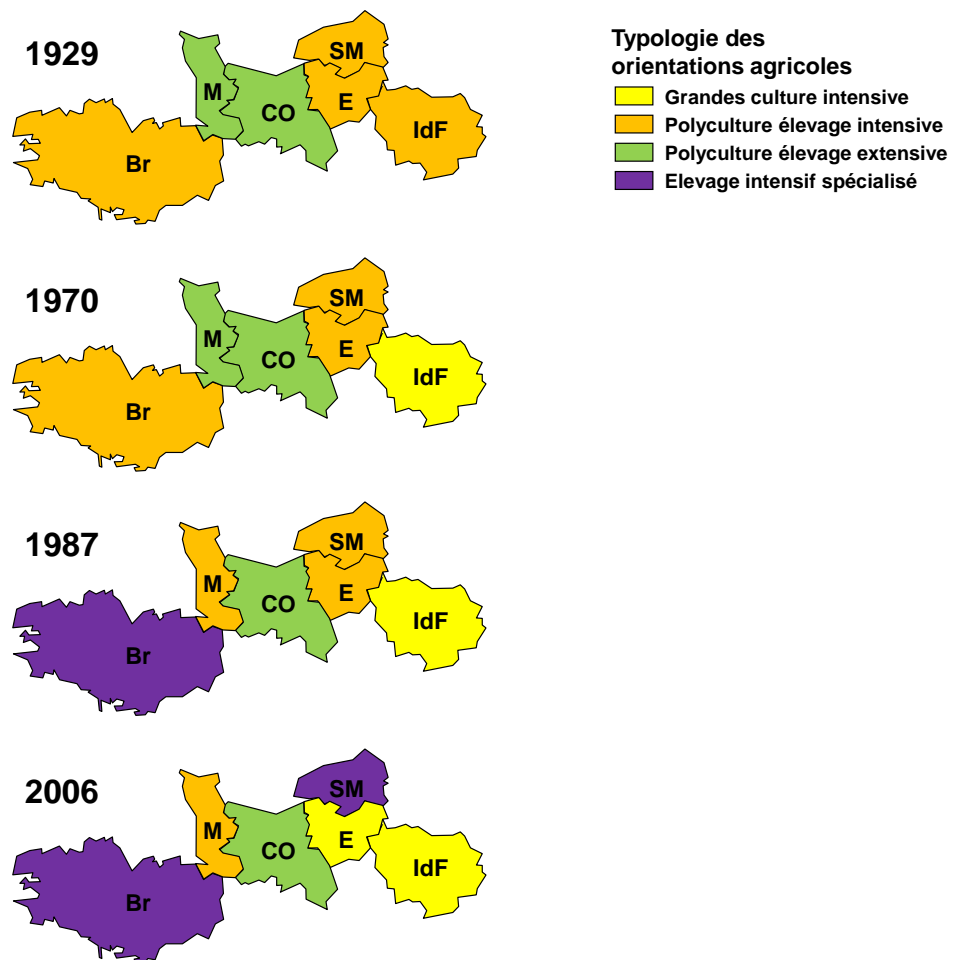
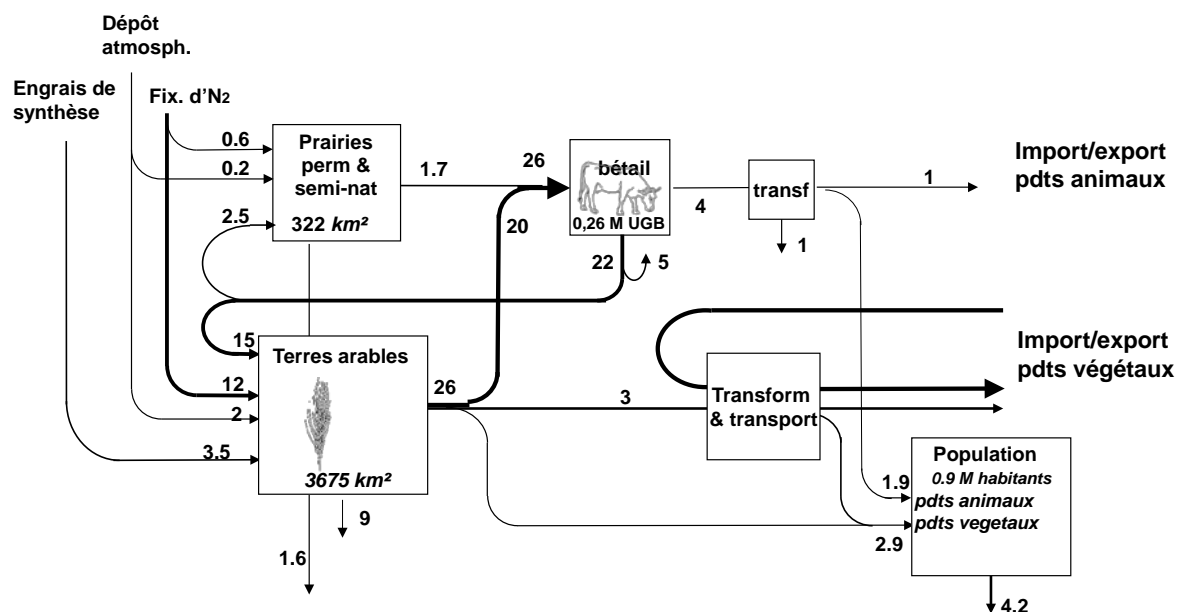


Figure 15. *Evolution des orientations agricoles des 4 régions normandes et des régions adjacentes depuis 1929.*

Les figure 16 à 19 montrent la représentation GRAFS(azote) du fonctionnement du système agro-alimentaire des 4 régions normandes.

Seine Maritime (6329 km²) 1929, kton N/an



Seine Maritime (6329 km²) 1985, kton N/an

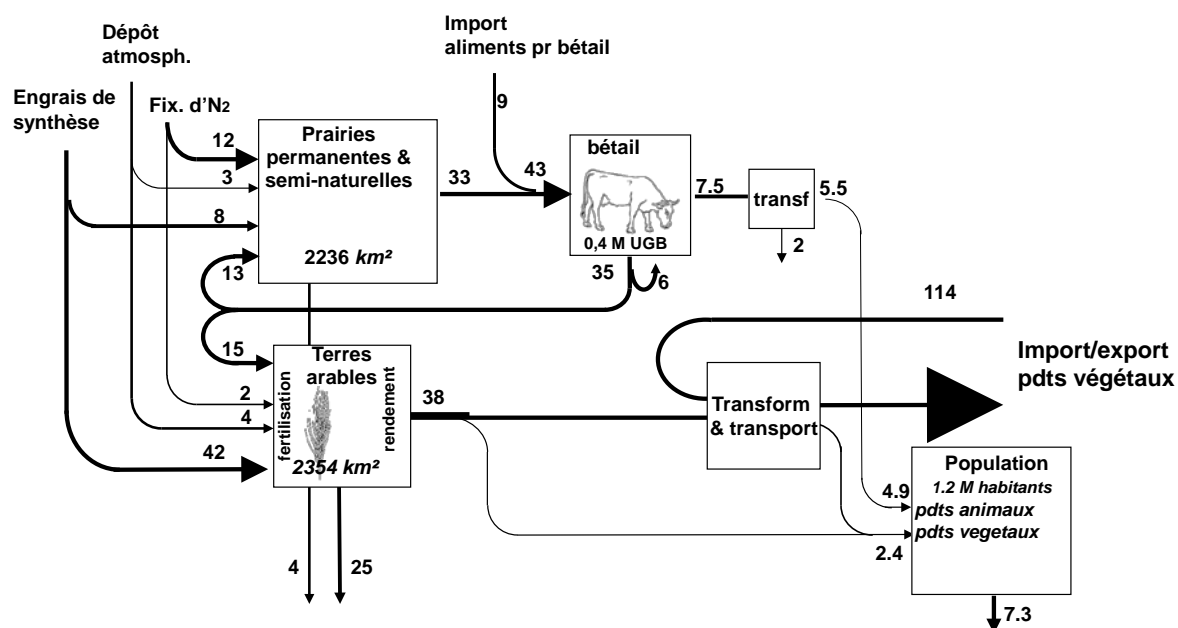
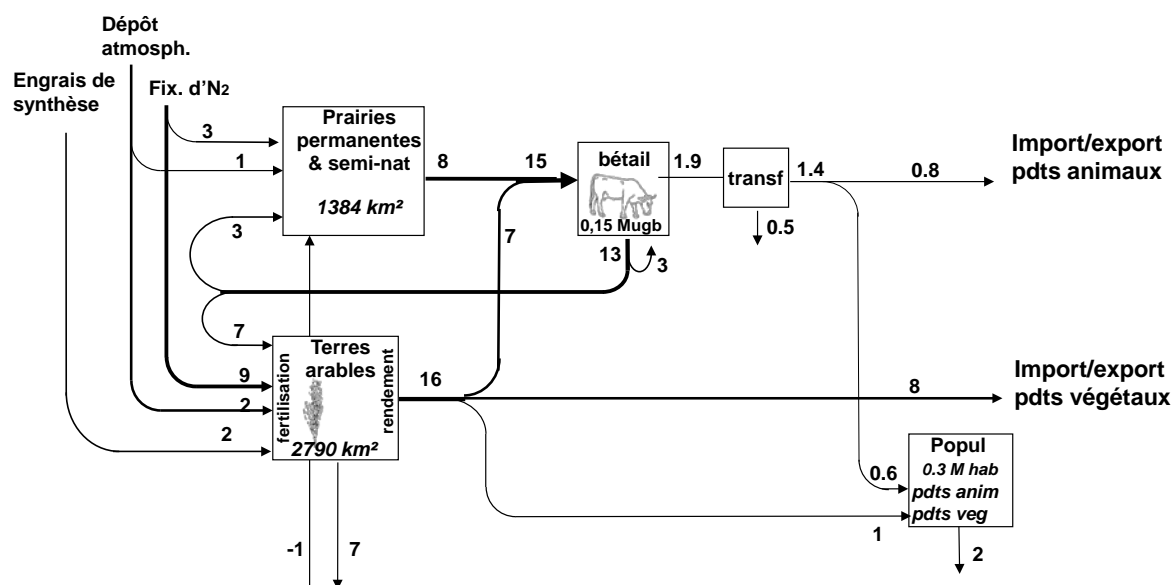


Figure 16. Métabolisme territorial de la Seine Maritime en 1929 et 1987, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire.

Eure (6028 km²) 1929, kton N/an



Eure (6028 km²) 1985, kton N/an

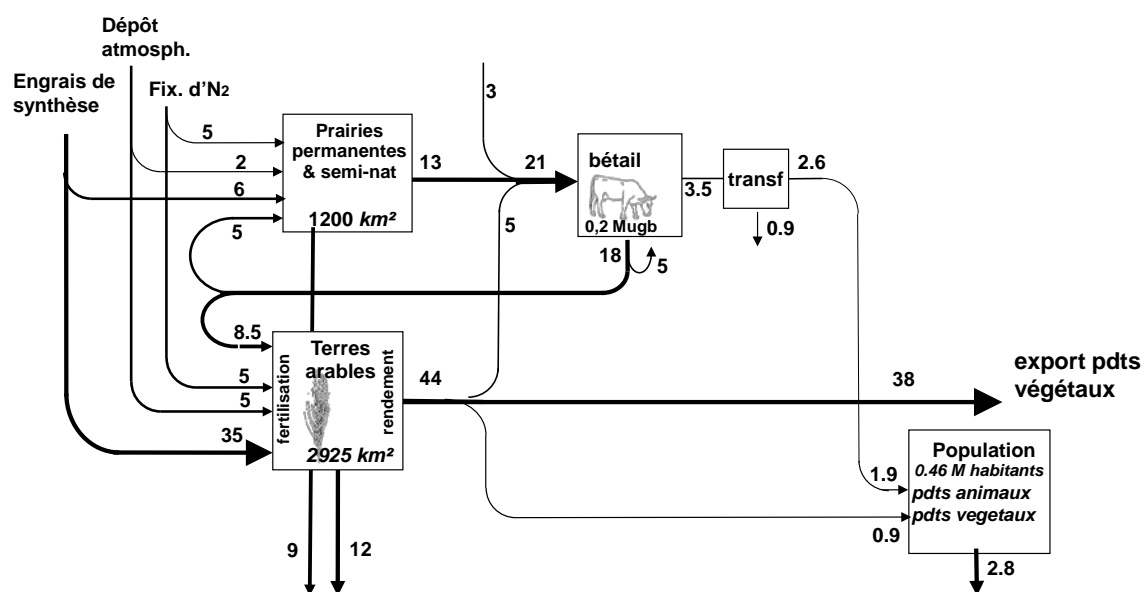
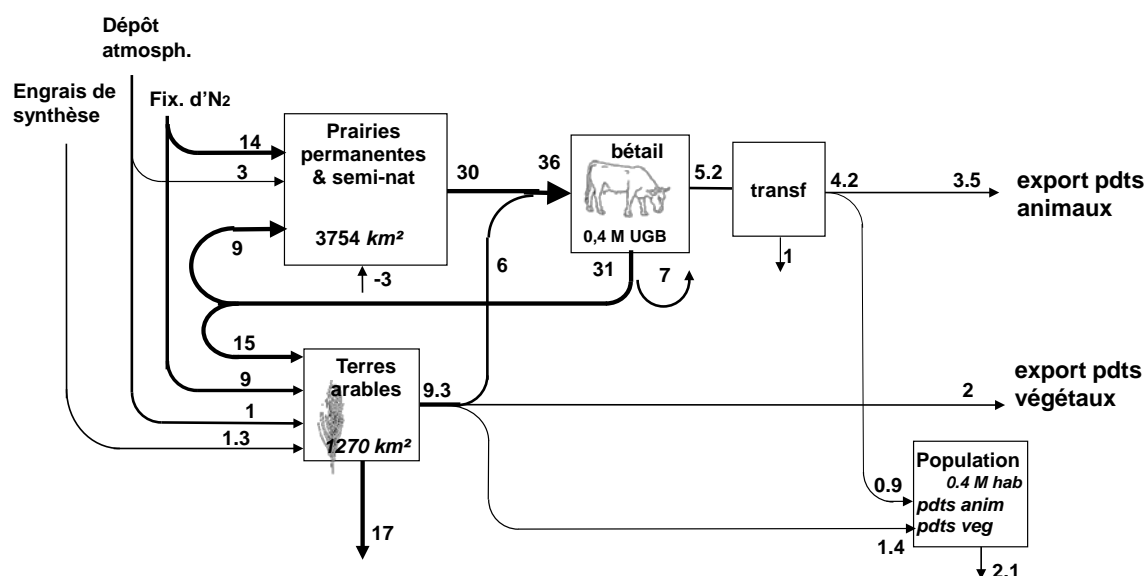


Figure 17. Métabolisme territorial de l'Eure en 1929 et 1987, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire.

Manche (6051 km²) 1929, kton N/an



Manche (6051 km²) 1985, kton N/an

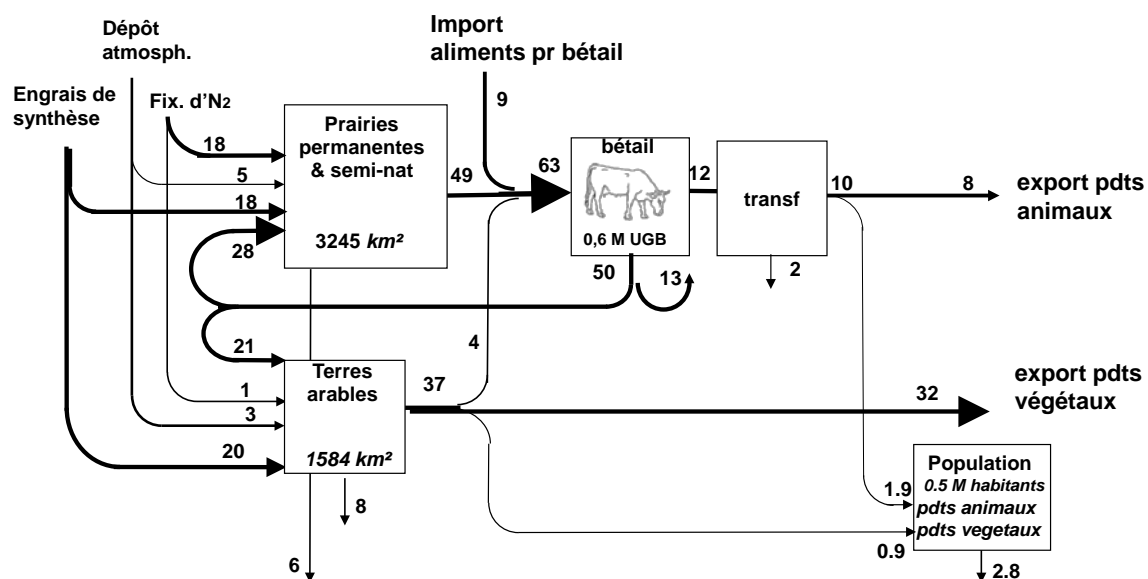
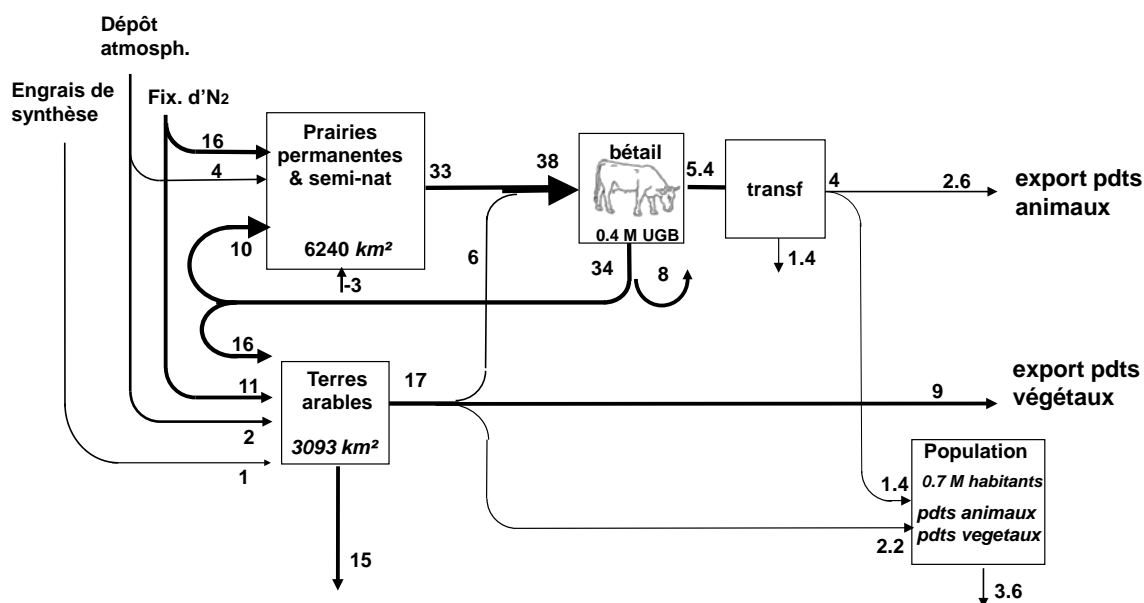


Figure 18. Métabolisme territorial de la Manche en 1929 et 1987, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire.

Calvados-Orne (11758 km²) 1929, kton N/an



Calvados-Orne (11758 km²) 1985, kton N/an

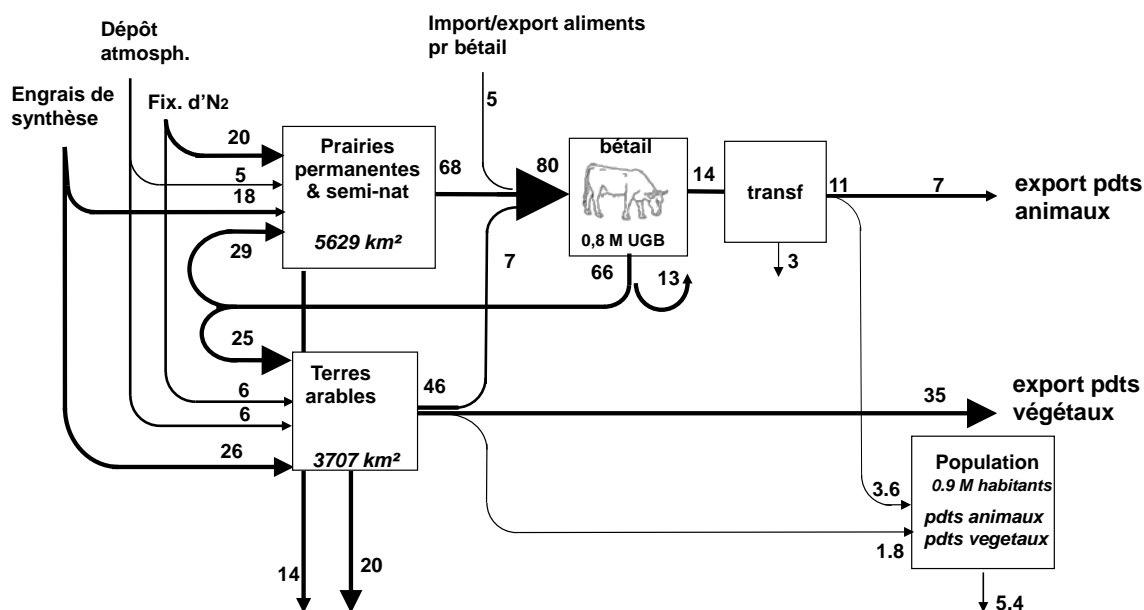


Figure 19. Métabolisme territorial du Calvados-Orne en 1929 et 1987, figuré par les flux d'azote à travers le système agro-alimentaire.

Références

- Billen, G; Lassaletta, L & Garnier, J. (2014) A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. *Global Food Security*, 3: 209-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2014.08.003i>.
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Garnier, J., Leach, A.M, Galloway, J.N. (2014). Food and feed trade as a driver in the global nitrogen cycle: 50-year trends. *Biogeochemistry*, 118:225–241 (DOI 10.1007/s10533-013-9923-4)
- Le Noë J, Billen G, Lassaletta L, Silvestre M, Garnier J. (2016). La place du transport de denrées agricoles dans le cycle biogéochimique de l’azote en France : un aspect de la spécialisation des territoires. *Cahiers Agricultures* 25, 15004. DOI: 10.1051/cagri/2016002
- Le Noë J, Billen G, Garnier J (2017). How the structure of agro-food systems shapes nitrogen, phosphorus, and carbon fluxes: the Generalized Representation of Agro-Food System applied at the regional scale in France. *Science of the Total Environment* 586: 42–55.
- Le Noë J, Billen G, Esculier F, Garnier J (subm). Long term socio-ecological trajectories of agro-food systems revealed by N and P flows: the case of French regions from 1852 to 2014. *Subm Agr Ecosyst Env*.

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date de soumission : 31 mars 2017

Date de révision : 15 décembre 2017

Etablissement de scénarios contrastés du système socio-écologique normand et traduction en termes de fonctionnement biogéochimique de l'estuaire

Josette Garnier, Gilles Billen, Antsiva Ramarson, Estela Romero, Vincent Thieu, Julia Le Noë (**UMR Metis**), Sabine Barles, Sabine Bognon (**Géographie-Cités**), Romain Legendre, Philippe Riou (**LERN-IFREMER**), Marie Silvestre, Sylvain Théry (**FR-FIRE**), Nicolas Bacq, Cédric Fisson (**GIP-Seine Aval**)

1. Introduction

Le projet (Seine-Aval) vise à jeter les bases d'une approche d'écologie territoriale permettant de replacer le fonctionnement du territoire de l'Estuaire de Seine vu sous l'angle des flux de nutriments qui le traversent et de l'organisation de sa chaîne agro-alimentaire, dans le cadre plus vaste de celui du bassin de la Seine, voire d'un grand quart Nord-Ouest de la France. Dès le début du projet RESET, nous avons identifié le besoin de replacer l'estuaire de Seine en perspective du bassin amont, son système hydro-agroalimentaire en étant largement dépendant.

Le projet s'est attaché à décrire l'évolution historique (depuis les années 1950) de ces aspects du fonctionnement du territoire : évolution de l'agriculture et de l'élevage, des industries agro-alimentaires, des activités portuaires, de la consommation alimentaire et de la qualité de l'eau.

En résumé, ce travail permet de distinguer 3 périodes:

- 1950-1980 : l'intensification et la spécialisation du système agro-alimentaire, le renouvellement de la structure commerciale et la dégradation de la qualité de l'eau. **Le régime** de cette période **post 2ème guerre mondiale** est caractérisé par une agriculture encore peu industrialisée et spécialisée, une chaîne agro-alimentaire peu internationalisée, une qualité de l'eau affectée surtout par les rejets urbains ponctuels. La transition vers **le régime actuel** (1960-2000) voit l'internationalisation de la chaîne agro-alimentaire et développement des échanges commerciaux longue distance, la spécialisation de l'agriculture, un développement urbain très polarisé, et la généralisation du traitement 'end of pipe' des eaux usées urbaines.
- 1980-2010 : succès de la grande distribution, prise de conscience de la dégradation de la qualité environnementale entraînant l'implémentation des directives (1991, nitrate ; 2000 : DCE état écologique) dont les effets sont visibles au début des années 2000, grâce aux efforts sur l'assainissement et le raisonnement des pratiques agricoles dans un contexte de poursuite de la spécialisation et de l'intensification.
- 2011-2012-2013 : amélioration de la qualité de l'eau, sauf pour la contamination nitrique, mais apparition de signaux faibles en direction d'une désintensification de l'agriculture et d'une relocalisation de l'approvisionnement agro-alimentaire. Alors que le programme de mise aux normes des stations d'épuration s'achève, un certain nombre de mesures relevant de l'agriculture raisonnée (raisonnement de la fertilisation, CIPAN,...) s'impose à tous les agriculteurs, mais sans impliquer aucune modification structurelle de la chaîne agro-alimentaire.

Un second volet du projet a consisté à élaborer divers scénarios d'évolution à plus long terme (horizon 2050) du système agro-alimentaire et d'en modéliser les conséquences en termes de fonctionnement biogéochimique et de qualité de l'eau de l'estuaire.

Le modèle estuarien doit donc être chaîné avec les résultats d'un modèle prenant en compte, à l'amont du système estuarien, les apports à Poses du bassin de la Seine incluant le grand axe Seine et les impacts de la mégapole Parisienne, et les affluents normands principaux de l'estuaire, l'Eure et la Risle ainsi que les apports ponctuels intra-estuariens. Ce chainage est effectué tant pour une simulation de référence (années 2002-2014) que pour les conditions de divers scénarios de l'évolution future du système.

Lors de la réunion du consortium RESET le 23 mars 2016 (à Paris), les grandes lignes de scénarios contrastés ont été proposées, puis soumises à la réflexion des partenaires lors de la réunion du 13 juin 2016 (à Rouen) pour recueillir leurs réactions, les enrichir et les préciser. L'AESN, la Métropole Rouen, le Port de Rouen, la DREAL Normandie, l'Union des industries chimiques (UIC) ont participé. Des membres des programmes GIP-SA et PIREN-Seine étaient aussi présents.

Les scénarios retenus s'inspirent des documents de prospective élaborés par diverses instances ([Poux et al., 2005](#); [Attali, 2010](#) ; [Duszinski, 2013](#) ; [Benhalima, . 2015](#) ; [CA Normandie \(2006\)](#); [DREAL, 2014](#); [HAROPA, 2015](#) ; [Solagro, 2014](#) ; [Poux et al., 2005](#)).

2. Les visions prospectives de l'agriculture en Normandie

Quatre scénarios contrastés, plausibles mais sans doute provocateurs ont élaborés, alors qu'initialement 3 avaient été proposés. Ils seront nommés visions territoriales car construits pour pousser à l'extrême certaines tendances déjà perceptibles dans le territoire d'aujourd'hui.

L'objectif de ces visions n'est pas de définir le futur probable ou souhaité du territoire, mais de susciter la réflexion, et une meilleure compréhension des tendances, parfois antagonistes, visibles actuellement dans le territoire. Comme l'a écrit Découflé (1980), « *un bon scénario est par définition inacceptable. Il est là pour provoquer celui à qui on le présente, pour le forcer à remettre en question les hypothèses choisies. Un scénario est fait pour être récusé et, une fois rejeté, en nourrir un autre de ses propres dépouilles* ».

Il s'agit donc d'explorer les conséquences de certaines trajectoires qui pourraient être suivies par le territoire si des tendances déjà perceptibles dans les dynamiques actuellement à l'œuvre étaient poussées jusqu'au bout de leur logique.

2.1. Le futur radieux du Grand Paris et l'hyper-spécialisation des territoires agricoles

Narratif. Le développement volontariste du Grand Paris se fait le long de l'Axe Seine, avec un accroissement sensible de population dans ce secteur (au détriment des villes plus amont du bassin). Les technologies les plus pointues de l'épuration urbaine centralisée sont mises en œuvre.

Les ports de Seine portent un projet ambitieux de développement autour du Seine Gateway® qui fait notamment « de la filière céréale un moteur de l'industrie Normande ». Une industrie agro-alimentaire et agro-chimique exportatrice se développe.

Un vaste hinterland portuaire est rendu accessible par de nouvelles infrastructures de transport; le chenal de la Seine du Havre à Rouen est approfondi, le Canal Seine Nord Europe est mis en eau. La liaison ferroviaire Orléans-Chartres-Rouen est établie.

Les régions de grandes cultures intensifient dès lors leur spécialisation et leur production de céréales et d'oléoprotéagineux selon les techniques les plus rigoureuses de l'agriculture chimique raisonnée (Chimie verte, agro-carburants). L'élevage est exclu des zones de grande culture, mais s'intensifie, en mode industriel, dans les régions du Grand Ouest, y compris la Manche.

Ce scénario est très présent dans les discours officiels, et s'accompagne d'une profonde ouverture structurelle de la chaîne agro-alimentaire. Il s'accompagne de l'accroissement de la spécialisation territoriale, de la poursuite de l'intensification agricole, de la concentration de la population le long de l'axe Seine au détriment du bassin amont.

2.2. Un futur bio-autonome-démocratique, sobre et écologiquement vertueux

Narratif. La transition écologique prend corps avec des actions volontariste de l'Etat en matière de développement des énergies renouvelables et une politique foncière visant à limiter l'extension urbaine, qui se poursuit autour des petites et moyennes agglomérations existantes, y compris à l'amont du bassin. Le système eau-énergie-aliments (water-energy-food nexus) fait l'objet de politiques locales, interterritoriales et intersectorielles.

Les pratiques d'assainissement urbain sortent du paradigme de l'épuration centralisée 'end of pipe' et les filières de valorisation des urines collectées à la source se développent, ainsi que la méthanisation des déchets et excréments solides.

Suite à des crises alimentaires et sanitaires répétées, des mouvements citoyens de plus en plus nombreux visent à reprendre en main leur alimentation, à la fois à travers une recherche de qualité diététique et un désir de renouer des liens sociaux avec les producteurs locaux. L'approvisionnement local est de plus en plus privilégié, ainsi que les produits biologiques. La consommation de viande et de produits laitiers diminue de moitié au profit des protéines végétales. Des campagnes spectaculaires de sensibilisation réduisent considérablement le gaspillage alimentaire.

Les pratiques de l'agriculture biologique se généralisent, les exploitants agricoles visent à s'affranchir des fluctuations des prix de l'énergie et des matières premières agricoles en recherchant plus d'autonomie vis-à-vis des intrants. En matière d'azote, la généralisation du recours aux légumineuses permet de s'affranchir des engrais chimiques et des pesticides, et s'accompagne d'une reconnexion avec l'élevage qui est réintroduit dans les régions de grandes cultures. Tandis que la densité de cheptel diminue dans les régions actuellement spécialisées en élevage, les exploitants se tournent également vers un système avec plus d'autonomie fourragère, et un recours accru à l'herbe.

Ce scénario radical implique à moyen et long terme une profonde modification structurelle de la chaîne agro-alimentaire.

2.3. Une agriculture duale

Narratif. Les deux tendances antagonistes à l'œuvre respectivement dans les scénarios 2.1 et 2.2, s'affrontent violemment au sein d'une société polarisée à l'extrême entre un courant libéral privilégiant la croissance et la

compétitivité dans la mondialisation, et un courant de sensibilité écologiste prônant la défense de l'environnement et l'autonomie circulaire locale. Leur affrontement aboutit à un compromis consistant dans un partage du territoire entre espaces de développement économique spécialisé et espaces de protection, dans lesquels sont expérimentés à des échelles territoriales divers modes alternatifs de produire et de consommer. Ces espaces de protection sont constitués par les aires d'alimentation de captage d'eau potable, et par les Parcs Naturels Régionaux; ensemble, ils concernent plus d'un tiers du territoire du bassin de la Seine, ce qui rend l'impact des pratiques qui y sont développées non négligeable sur le fonctionnement de l'ensemble du bassin. Si dans les espaces banaux prédomine une agriculture très spécialisée, semblable à celle du scénario 2.1, dans les espaces réservés prennent place des exploitations agricoles autonomes, biologiques et tournées vers un marché de consommation local.

Ce scénario propose la coexistence de deux modèles d'agriculture aux développements diamétralement opposés

2.4. Et si rien n'avait été fait en matière de réglementation depuis 40 ans ?

Narratif. Un tel scénario vise à reconstituer les bassins dans l'hypothèse où aucune politique publique n'aurait été mise en œuvre depuis 30 ans, ni dans le domaine de l'épuration des eaux usées, ni dans celui des pratiques agricoles.

La population est celle que l'on dénombre actuellement, mais les rejets urbains sont traités comme ceux des années 1980 (traitement biologique par boues activées pour les agglomérations de plus de 2000 habitants, les autres étant laissées sans traitement. Les pratiques agricoles ne sont pas soucieuses d'équilibre de fertilisation, et n'ont pas recours aux CIPAN. On retrouve les niveaux de surplus azotés des années 1980.

Ce scénario permet de mesurer les effets sur l'environnement obtenus grâce à l'application des directives nationales et européennes. Il met en garde contre tout désengagement d'une nation ou d'une Europe en crise, ne pouvant plus investir dans de nouvelles infrastructures ou ayant peine à maintenir l'existant. Les réglementations environnementales seraient mal appliquées, ou ferait l'objet de nombreuses dérogations.

C'est un scénario du pire qui permet d'apprécier les effets des politiques environnementales mises en œuvre depuis 40 ans.

3. Traduction de ces scénarios en termes de modélisation

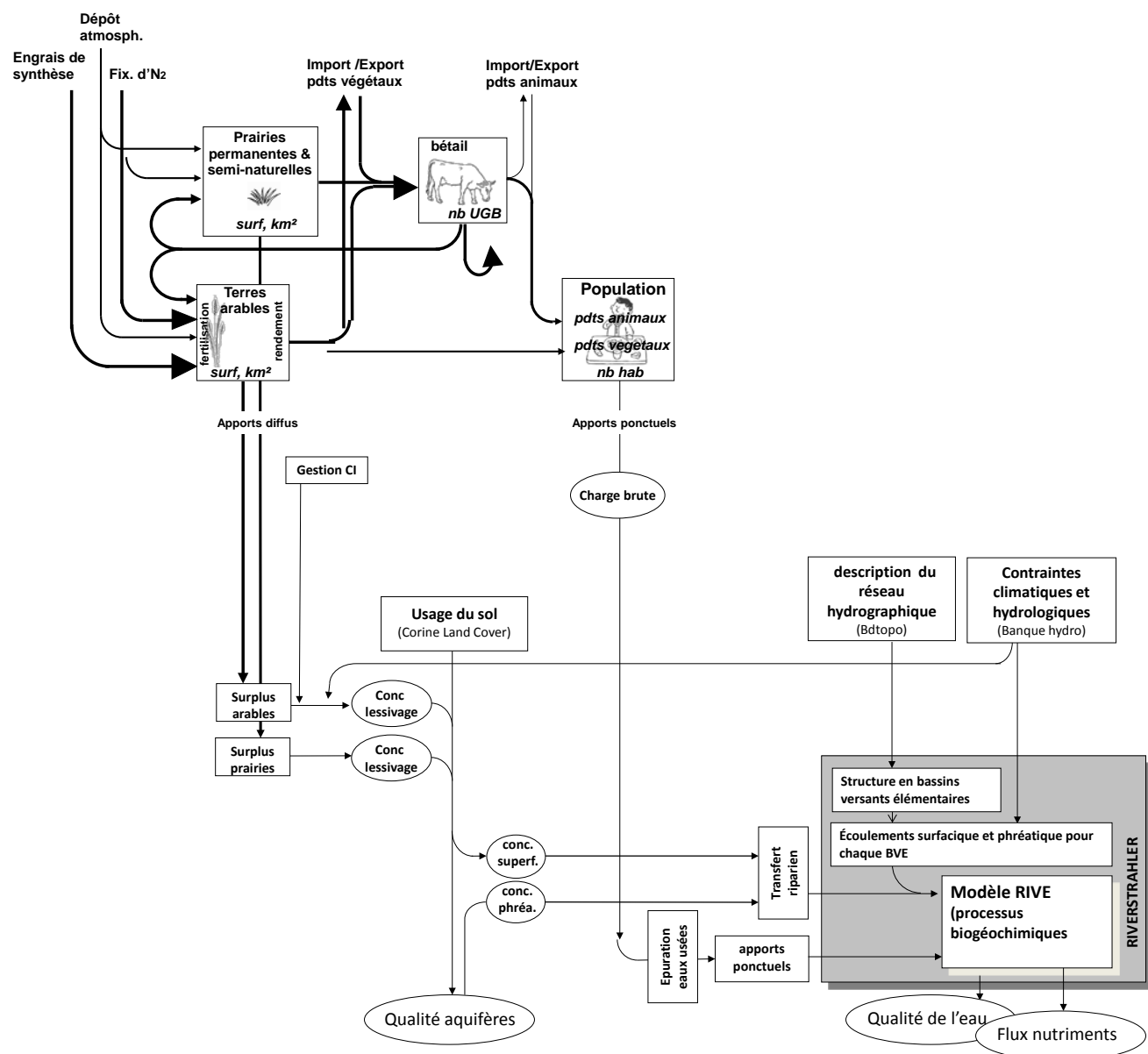
3.1. L'architecture générale du modèle GRAFS-RIVERSTRALER

L'approche GRAFS est basée sur un bilan détaillé des flux d'azote impliqués dans la production, la transformation et la consommation de produits animaux et végétaux dans un territoire, ainsi que des fuites d'azote associées vers l'environnement (**Figure 1**). En formalisant les relations entre ces flux, elle permet d'établir un lien direct entre différents aspects du système hydro-agro-alimentaire, comme par exemple, le lien entre élevage, surfaces prairiales et cultures fourragères; le lien entre régime alimentaire de la population, structure productive du territoire et échanges commerciaux ; le lien entre fertilisation des terres arables et des prairies et les pertes environnementales d'azote.

Complété des connaissances acquises sur la relation surplus lessivage, ce modèle peut être directement couplé au modèle Riverstrahler qui permet alors le calcul des transferts d'azote à travers l'hydrosystème et de la qualité des ressources hydriques (Figure 1).

Strico sensu, Riverstrahler ne décrit en effet que le fonctionnement biogéochimique du réseau hydrographique, et non celui du bassin versant. Il permet le calcul des flux et des concentrations de nutriments en tout point du réseau hydrographique à partir des contraintes constituées par la morphologie et l'hydrologie du réseau de rivières, des apports ponctuels liés aux rejets urbains et des apports diffus résultant des pratiques agricoles. Les entrées au modèle Riverstrahler sont donc celles d'apports directs vers les cours d'eau (apports ponctuels et diffus), (Figure 1). Le modèle complet de bassin versant, reliant l'activité humaine (notamment agricole) à la qualité de l'eau et aux exports de nutriments vers la mer est le résultat du couplage entre GRAFS et le modèle Seneque/Riverstrahler du fonctionnement biogéochimique du réseau hydrographique.

L'outil GRAFS, s'il permet, de formaliser et synthétiser les entrées et les sorties des éléments (l'azote ici) qui circulent à l'échelle d'un territoire (mais aussi de l'exploitation agricole à l'échelle globale), diffère d'un modèle agronomique prenant en compte les interactions eau-sol-plante à l'échelle saisonnière des successions de cultures. GRAFS est basé sur les statistiques agricoles qui existent à l'échelle annuelle (à l'échelle départementale, nationale (AGRESTE) ou internationale (FAO)). GRAFS fournit donc à Riverstrahler des concentrations d'apports diffus (N) en moyenne annuelle, mais qui sont ensuite modulés par la distribution des débits superficiels et phréatiques, ainsi que par un module de rétention riparienne nouvellement développé, représentant l'élimination du nitrate par la dénitrification (Figure 1). Cet outil permet de prendre en compte des scénarios. En changeant les pratiques ou les systèmes, on peut, sur la base de nos travaux expérimentaux et ceux de la littérature, modifier la répartition des prairies et des terres arables, modifier la taille du cheptel, modifier les intrants (apports minéraux vs. organiques), selon certaines règles garantissant la cohérence du fonctionnement du système, et ainsi en déduire un surplus azoté, indicateur de la lixiviation (et donc, des apports diffus) dans les nouvelles conditions à explorer. Un algorithme, adjoint au modèle GRAFS, a été développé pour définir les nouvelles caractéristiques du système agro-alimentaire en fonction des contraintes imposées par le scénario.



Figure

1. Architecture générale de la suite GRAFS-SENEQUE/RIVERSTRAHLER.

3.2. Simulations de la situation de référence avec le modèle GRAFS-RIVERSTRALER

Les simulations de référence concernent la période de 2002 à 2014, représentatives des années de mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (EU-DCE, 2001). Ces années englobent donc des années contrastées, de bas et haut débits, et des apports ponctuels évolutifs en fonction de l'implémentation des traitements en stations d'épuration (STEP) et des apports diffus correspondant à l'année 2006, tant en ce qui concerne l'usage des sols que les pratiques agricoles (**Tableau 1**).

Le tableau 1 résume les contraintes prises en compte pour les simulations couvrant la période 2002-2014.

Tableau 1. Contraintes prises en compte par Seneque/Riverstrahler pour le calcul des flux de nutriments aux exutoires de la Seine et des affluents.

	Sources de données
Jeu de données	Seine-Normandie (AESN)
hydrologie	Ecoulements spécifiques reconstitués à partir de la Banque Hydro
Apports ponctuels	Step et industries renseignées par l'AESN
Apports diffus	
Usage du sol	Corine Land Cover
Concentrations associées	Pour les nitrates calculées à partir des surplus GRAFS par région agricole
Rétention riparienne	Zones humides définies par la couche nationale des zones humides potentielles (INRA Infosol - AgroCampus Ouest, 2010) et son croisement avec l'usage du sol
	Dénitrification potentielle fixée à 0.1 mmol/m3/h

Les rejets ponctuels urbains sont issus des bases de données des Agences de l'Eau. Les apports diffus de nitrates sont calculés à partir des surplus issus de l'analyse GRAFS de la chaîne agro-alimentaire réalisée pour l'année 2006 à partir des données d'Eurostat, croisés avec les écoulements spécifiques moyens sur la période 2002-2014 (Figure 2), compte tenu d'un flux de lessivage dépendant de la couverture hivernale des sols.

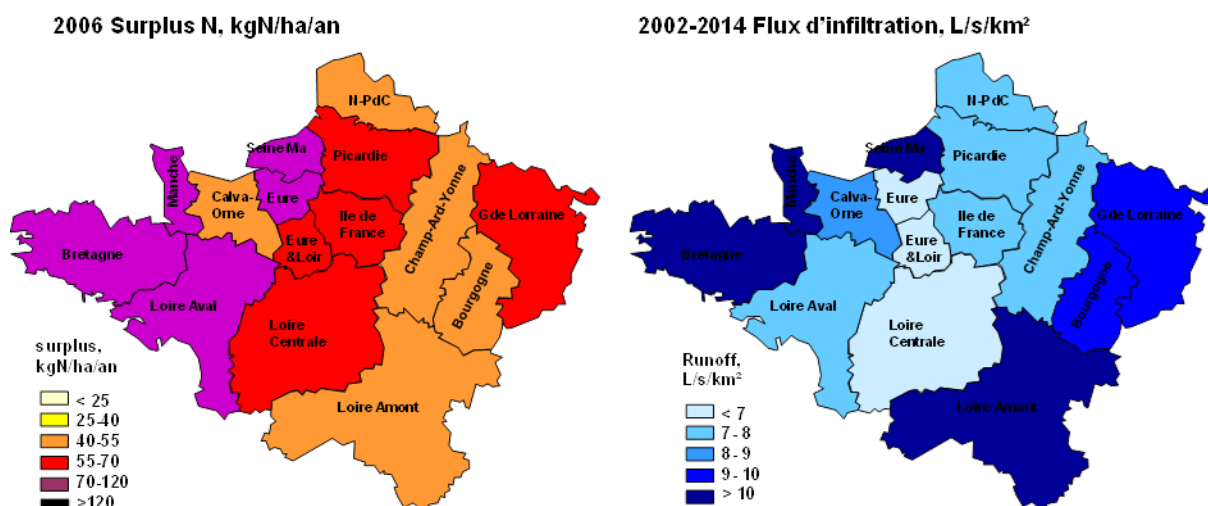


Figure 2. Surplus azotés des sols arables du Nord de la France, issus de l'analyse GRAFS du système agro-alimentaire en 2006 et flux moyen annuel d'infiltration sur la période 2002-2014.

Les variables sont calculées par le modèle Riverstrahler (et son environnement Seneque, Ruelland et al., 2007) avec une résolution temporelle de 10 jours (décade, notée « dec » dans la suite du document). Les résultats pour chaque variable sont donc fournis sous forme de 36 valeurs au long du cycle annuel (1 à 36). Le tableau 2 indique la liste de ces variables.

Les processus écologiques qui dépendent du cycle journalier sont calculés à un pas de temps horaires, moyennés par 24h puis par décade.

Tableau 2. Liste des variables prises en compte dans le modèle Seneque/Riverstrahler. Leurs unités sont aussi indiquées

Variable	Description	Unité
Q	débit moyen décadaire	m3/s
DIA	biomasse des diatomées	mgC/l
GRA	biomasse des algues vertes (Chlorophycées)	
CYA	biomasse des Cyanobactéries	

MES	matière minérale en suspension	mg/l
NO3	nitrate	μmol/l
NH4	ammonium	
PO4	o-phosphates	
PIT	phosphore inorganique total	
SIO	silice dissoute	
OXY	oxygène dissous	
ZOR	zooplancton rotiférien	mgC/l
ZOC	zooplancton cladocérien	
BAG	bactéries hétérotrophes > 1μ (allochtones)	
BAP	bactéries hétérotrophes <1μ (autochtones)	
NIT	bactéries nitrosantes (ammonium oxidizing)	
NAT	bactéries nitrifiantes (nitrite oxidizing)	
HD1	matière organique dissoute rapidement biodégradable	
HD2	matière organique dissoute lentement biodégradable	
HD3	matière organique dissoute réfractaire	
HP1	matière organique particulaire rapidement biodégradable	
HD2	matière organique particulaire lentement biodégradable	
HD3	matière organique particulaire réfractaire	
DSS	substrats organique de faible poids moléculaires directement assimilables	
SIB	silice particulaire amorphe non vivante	μmol/l
HB1	matière organique benthique (déposée) rapidement biodégradable	gC/m²
HB2	matière organique benthique (déposée) lentement biodégradable	
HB3	matière organique benthique (déposée) réfractaire	
BPI	phosphore inorganique benthique (déposée)	mmolP/m²
SED	matière inorganique déposée (couche fluide de sédiments)	g/m²
FEL	bactéries fécales libres	nb/l
FEA	bactéries fécales attachées aux particules	
BFE	bactéries fécales benthiques (déposées)	1000/m²
N2O	oxide nitreux	μmol/l
NO2	nitrite	
CH4	méthane	
BBS	silice biogénique benthique (déposée)	mmol/m²

Les formes de l'azote, de la silice et du phosphore sont calculées à l'échelle décadaire et en tout point du réseau hydrographique. Les figures 3 et 4 présentent les distributions spatiales du nitrate et des phosphates à l'échelle du réseau hydrographique. Si les concentrations en nitrate indiquent une mauvaise à très mauvaise qualité de l'eau sur les grands axes de rivières, les concentrations en phosphates se situent au niveau de bon, voire très bon état. Les concentrations inférieures à 30 μgP l-1 indiqueraient même une limitation du développement algal dans le réseau amont.

Toutes les biomasses (DIA, GRA, CYA, BAG, BAP, NIT, NAT, ZOR, ZOC) et les stocks de matière organique (HD1, HD2, HD3, HP1, HP1, HP3, HB1, HB2, HB3) sont supposées avoir un rapport C:N:P constant, avec C/N=7 (en poids) et C/P=40 (en masse). Le rapport molaire Si/C ratio pour les diatomées est de 0.4, soit un C/Si = 1.07 (en masse).

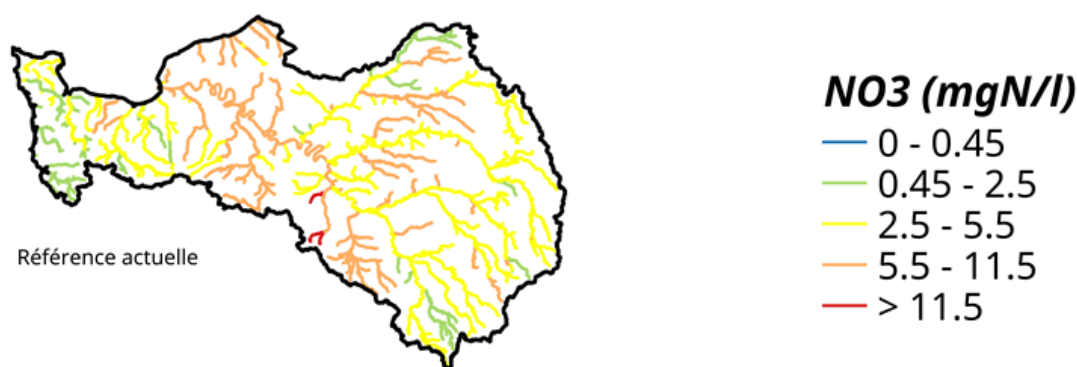


Figure 3. Concentrations moyenne en nitrate dans le réseau hydrographique de la Seine sur la période 2011-2013. Classification SEQ-eau.

Figure 4. Concentrations moyenne en phosphates dans le réseau hydrographique de la Seine sur la période 2011-2013. Classification SEQ-eau.

Avec les concentrations de toutes ces variables, les valeurs des flux sont calculées selon les équations suivantes :

FlxN Le flux d'azote total par décade, en kgN/dec, est calculé comme le produit du débit et des concentrations de la décade correspondante selon la relation :

$$\text{FlxN} = Q \times 3600 \times 24 \times 10 \times [(\text{NO}_3 + \text{NH}_4 + \text{NO}_2) \times 14 / 1000 + (\text{DIA} + \text{GRA} + \text{CYA} + \text{HD}_{1,2,3} + \text{HP}_{1,2,3}) / 7] / 1000$$

FlxP Le flux de phosphore total par décade, en kgP/dec, est calculé comme le produit du débit et des concentrations de la décade correspondante selon la relation :

$$\text{FlxP} = Q \times 3600 \times 24 \times 10 \times [(\text{PIT}) \times 31 / 1000 + (\text{DIA} + \text{GRA} + \text{CYA} + \text{HD}_{1,2,3} + \text{HP}_{1,2,3}) / 40] / 1000$$

FlxSi Le flux de silice biogénique totale par décade, en kgSi/dec, est calculé comme le produit du débit et des concentrations de la décade correspondante selon la relation :

$$\text{FlxSi} = Q \times 3600 \times 24 \times 10 \times [(\text{SIO} + \text{SIB}) \times 28 / 1000 + (\text{DIA}) / 12 \times 0.4 \times 28] / 1000$$

Les flux ainsi calculés contiennent toutes les formes de N, P et Si, y compris les formes organiques (cf. ci-dessous).

3.3. Simulations des scénarios avec le modèle GRAFS-RIVERSTRALER

Jusqu'à présent les scénarios réalisés dans d'autres projets (GIP-SA Nereis ; Liteau-Flam; Emosem-SeasERA ; ou encore les projets du PIREN-Seine) considéraient la population actuelle. Dans le cadre de RESET avec le scénario du « Grand Paris », il nous fallait utiliser les projections de la population en 2040. Nous n'avons pas pu obtenir les projections de l'INSEE par commune, nous avons donc utilisé les projections INSEE à l'échelle des départements disponibles librement.

Ces projections sont basées sur différentes hypothèses d'accroissement de la population par rapport à 2013 : une hypothèse basse, haute et centrale (**Figure 5**). Nous avons choisi de tester l'hypothèse haute afin d'obtenir des résultats contrastés pour les trois visions du futur et de garder la population actuelle pour le scénario de retour aux années 1980.

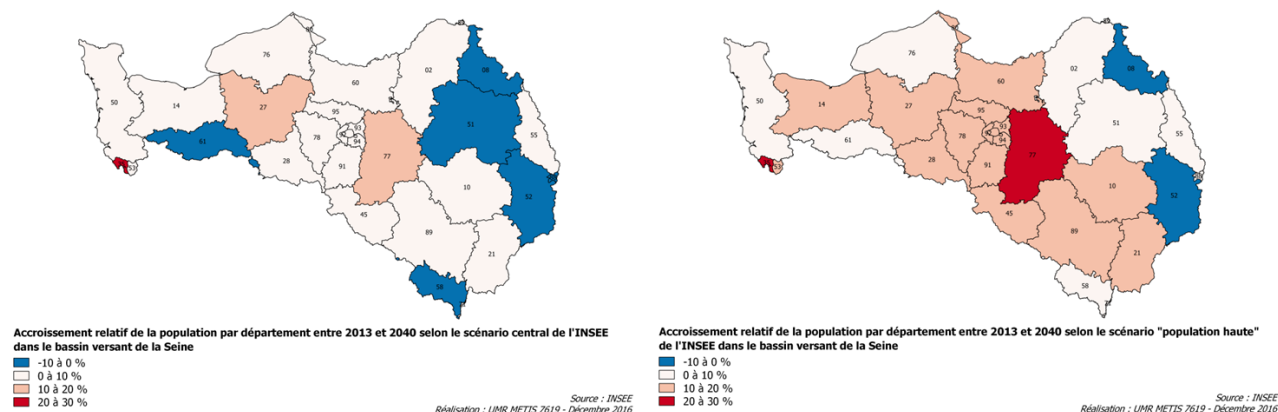


Figure 5. *Accroissement relatif de la population pour les départements du bassin Seine Normandie entre 2013 et 2040 sous l'hypothèse centrale et haute de l'INSEE.*

A titre comparatif, l'accroissement relatif de la population est montré à l'échelle de la France sous les deux mêmes hypothèses (**Figure 6**).

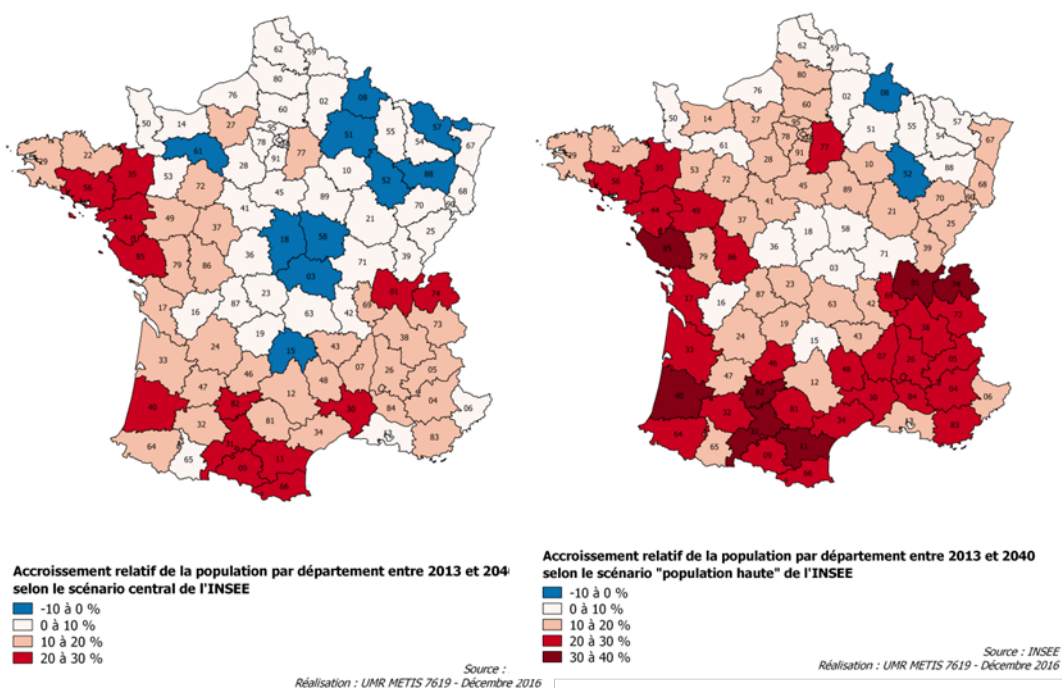


Figure 6. *Accroissement relatif de la population par département pour toute la France entre 2013 et 2040 sous l'hypothèse centrale et haute de l'INSEE.*

Pour réaffecter les surfaces urbaines (au détriment des surfaces agricoles) en relation avec l'augmentation de la population, une relation a été établie entre les surfaces artificialisées et la densité de population (Figure 7). Il apparaît une réduction de la SAU de 20 à 100 ha par 1000 nouveaux habitants selon les régions et leur densité de population actuelle.

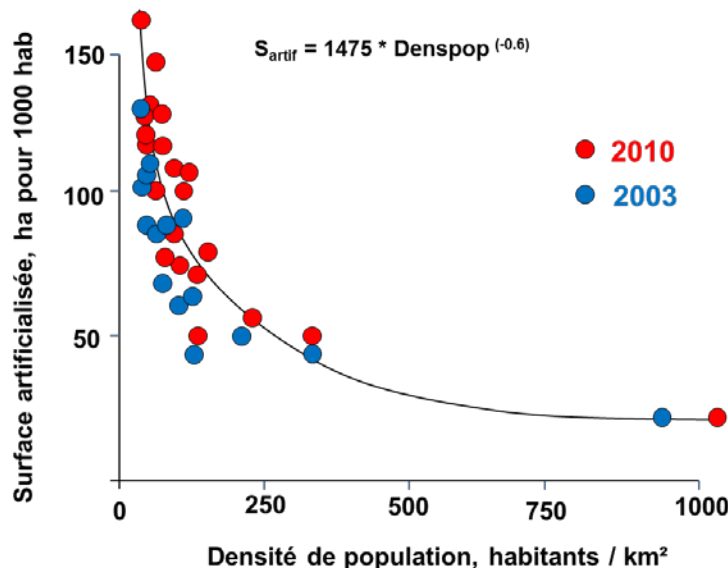


Figure 7. *Relation entre les surfaces artificialisées et la densité de population (Solagro, d'après les données Terruti).*

Scénario Grand Paris.

Dans ce scénario, l'accroissement de population de l'Ile de France par rapport à 2006 est réparti entièrement sur l'axe de la Basse Seine (Tableau 3). Le régime alimentaire de la population est celui prévu par la Chambre d'Agriculture de Normandie, soit une consommation en protéines qui augmentent par rapport à l'actuel à 7.7 kgN/hab/an avec une proportion légèrement plus grande en protéines animales (70%).

L'épuration des eaux usées urbaines est considérée dans le respect des normes DCE, sans recyclage, selon la logique end-of-pipe. La pratique de l'épandage agricole des boues d'épuration est abandonnée.

Sur le plan de l'agriculture, la spécialisation entre régions d'élevage et de grande culture s'accroît encore, avec une disparition totale de l'élevage et des prairies dans les zones de grandes cultures céréalières (dominantes dans le bassin de la Seine), (Figure 8). Les zones mixtes de polyculture- élevage intensif comme la Seine Maritime, le Calvados et Orne et la Manche augmentent leur cheptel de 30%, mais avec des surfaces toujours en herbe (STH) de 0.25ha/UGB et une importation de plus de 50% de la ration alimentaire (hors STH) ; ces zones deviennent donc des zones d'élevage intensif (Figure 9). Dans les zones mixtes de polyculture et d'élevage extensif, l'usage du sol reste stable avec un cheptel qui augmente de 10%, tandis que la Grande Loraine (Gde L) devient une zone de cultures intensives. En dehors du Bassin de la Seine, les zones d'élevage intensif se maintiennent sur le plan de l'usage du sol, mais le cheptel augmente de 75% (Tableau 3).

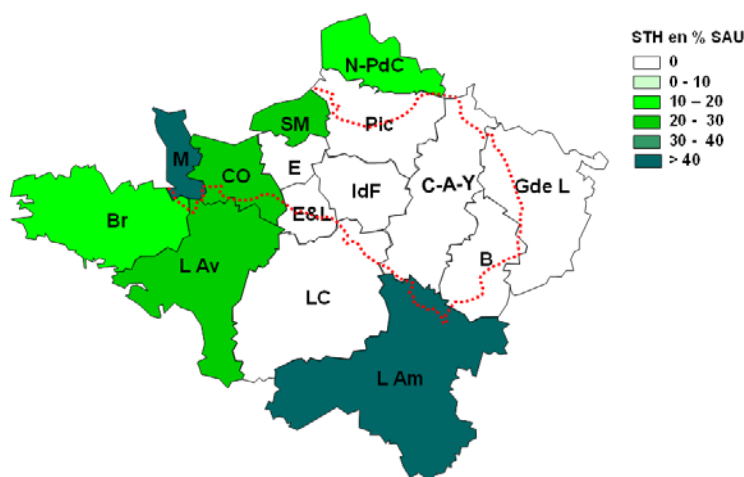


Figure 8. Répartition des surfaces toujours en herbe (STH) du scénario « Grand Paris »

Scénario Bio-autonome-demitarien.

L'accroissement de population de l'Ile de France sous l'hypothèse haute de l'INSEE est redistribué à l'amont du bassin au *pro rata* des populations actuelles. Considérant le *statu quo* des surfaces agricoles, on postule une densification de l'habitat, à surfaces urbaines constantes.

Le régime alimentaire de la population devient demitarien (). La consommation en protéines ainsi que la part des protéines animales diminuent. Avec une réduction de moitié du gaspillage alimentaire au niveau de la distribution et de la consommation, les protéines animales sont réduites à 40% (**Tableau 3**).

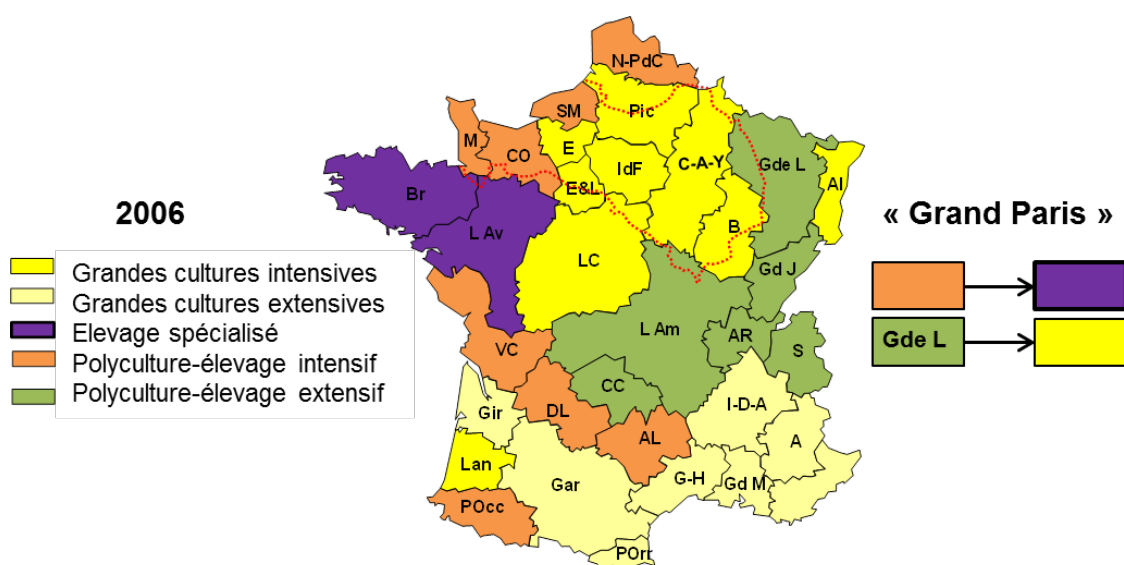


Figure 9. *Changement, entre la référence 2006 et le scénario « Grand Paris », des systèmes agricoles des régions agricoles retenues (départements ou groupement de départements homogènes).*

Cette vision, écologiquement vertueuse, organise le recyclage. Le recyclage de l'urine sur les terres agricoles est mis en place pour tous les logements neufs, c'est-à-dire ceux correspondant aux nouveaux habitants de chaque région et ceux résultant du renouvellement du parc immobilier au rythme de 1%/an. Le secteur tertiaire public est également équipé. Au total, 25% de la quantité d'urine produite est recyclée en 2040. (Tableau 3).

Cette vision prévoit une ré-affectation du cheptel dans chaque région avec l'objectif, (i) de reconnecter culture et élevage, (ii) d'atteindre l'autonomie fourragère avec au moins 60% d'alimentation à l'herbe sans dépasser une densité de 0.5 UGB/ha SAU. Ceci implique donc de réaffecter de la SAU entre prairies et terres arables, en veillant à ce qu'il n'y ait jamais moins de prairies qu'en 2006.

La production agricole préconise l'absence de l'utilisation des intrants de synthèse, les apports d'azote étant constitués (i) des dépôts atmosphériques, (ii) des déjections animales, (iii) des urines et des boues de STEP, (iv) de la fixation symbiotique des légumineuses (avec introduction de 2 légumineuses fourragères sur une rotation longue de 8 cultures -8 ans-),

Tableau 3. Contraintes prises en compte par Seneque/Riverstrahler pour le calcul des flux de nutriments dans le bassin de la Seine et à l'exutoire à Poses. Les résultats à Poses alimentent le modèle Eco-Mars 3D de l'estuaire et de sa zone côtière.

Scénarios	Population et step	Régime alimentaire	Agriculture
1. Gd Paris	INSEE: Hypothèse haute de la population Le surcroît de la population est réparti sur l'axe Seine Step aux normes	Scénario de la Chambre Agri Normandie: Régime : 7.5 kgN/cap/an, 70% animal	Spécialisation : Gde culture dans le bassin parisien Elevage spécialisé en Normandie Polycult-élevage intensif à l'Est
2. Auto-Bio-Dem	INSEE: Hypothèse haute de la population Le surcroît de population actuelle de l'axe est redistribuée à l'amont du bassin au pro rata des populations actuelles Step aux normes Recyclage de l'urine : logements neuf construits en séparatif et ceux du tertiaire mis	Réduction gaspillage, distribution & consommation Régime demitarien : 40% de protéines animales	Pas d'intrant chimique Autonomie maximum des exploitations, le bétail est limité par la capacité à le nourrir localement
3. Agricult Duale	INSEE : Hypothèse haute de la population, répartie selon 1 Step aux normes	Régime du scénario 1	Dans les AAC et les PNR: Agriculture du scénario 2 Ailleurs : Agriculture du scénario 1
4. Si on avait rien fait	Population actuelle Step traitement minimum (B0)	Régime actuel: 7.3 kgN/cap/an, 65 % animal	Agriculture des années 1980 (sans raisonnement de la fertilisation, sans CIPAN)

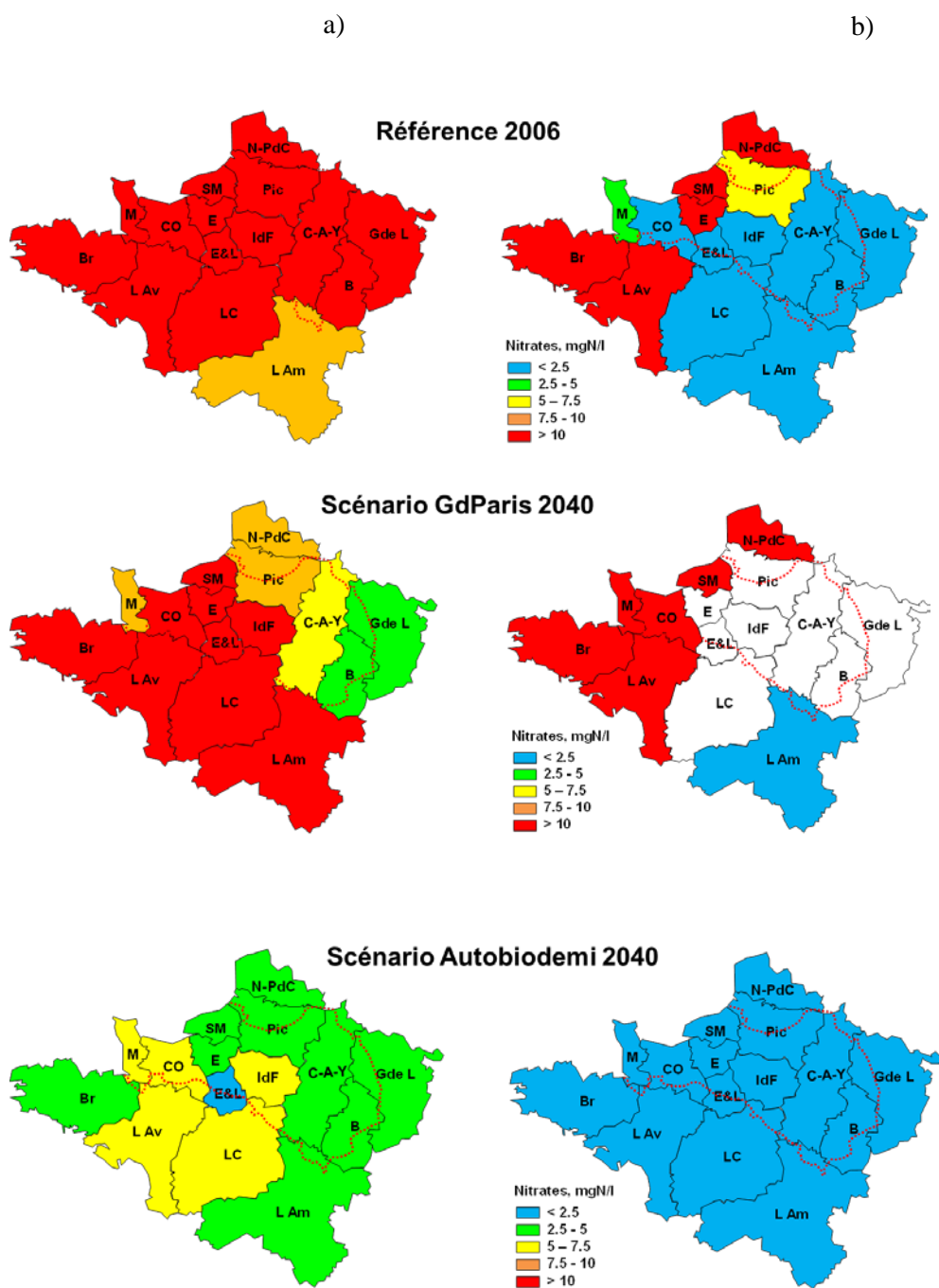


Figure 10. Concentrations sous-racinaires du nitrate lixivié sous terres arables (a) et sous prairies permanentes (b) pour la référence en 2006 et pour les deux visions du Grand Paris et celle du changement radical en matière d'agriculture.

Scénario d'Agriculture duale.

Compte tenu de l'augmentation des conversions en agriculture biologique (+ 10% en France entre 2015 et 2016, <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france>, de la demande des consommateurs en produits biologiques et des volontés des collectivités locales à fournir des produits biologiques dans la restauration collective, dans le contexte de

développement du Grand Paris, objet un discours politique affirmé, il apparaît intéressant en s’inspirant du rapport de [Poux et al. \(2005\)](#) pour le Ministère de l’Ecologie (MEDD alors), d’explorer une vision intermédiaire, avec coexistence des deux options précédentes basées sur des spécialisations agricole contrastées (Grand Paris et Bio-autonome-demitarien). Cette dualité des spécialisations agricoles s’inspire des démarches en cours de protéger les aires d’alimentation de captage par les distributeurs d’eau et Agences de l’Eau. Les Parcs Naturels Régionaux sont également des territoires propices à la mise en œuvre de pratiques innovantes en matière de transition écologique (Gorgeu, 2017). Les Aires d’Alimentation de Captage (AAC) et les Parcs Naturels Régionaux (PNR) définissent donc dans notre scénario les territoires où sont mis en œuvre les changements radicaux de l’agriculture développés pour l’ensemble du bassin dans le Bio-autonome-demitarien. Avec une surface respective de 22% (AAC) et 10 % (PNR), les territoires concernés totalisent 32 % de la surface du Bassin Seine Normandie ([Figure 10](#)). L’agriculture du reste du bassin serait celle de la vision « Grand Paris ». Ce scénario peut donc aussi être vu comme une étape de transition vers un changement radical qui concernerait l’ensemble du bassin.

La population reste basée sur l’hypothèse haute de l’INSEE. La distribution de la population entrainerait une réduction de la SAU de 20 à 100 ha/ 1000 nouveaux habitants selon les régions (comme pour le scénario du Grand Paris).

L’épuration des eaux usées urbaines serait maintenue dans le respect des normes DCE, et sans recyclage et sans épandage des boues de STEP.

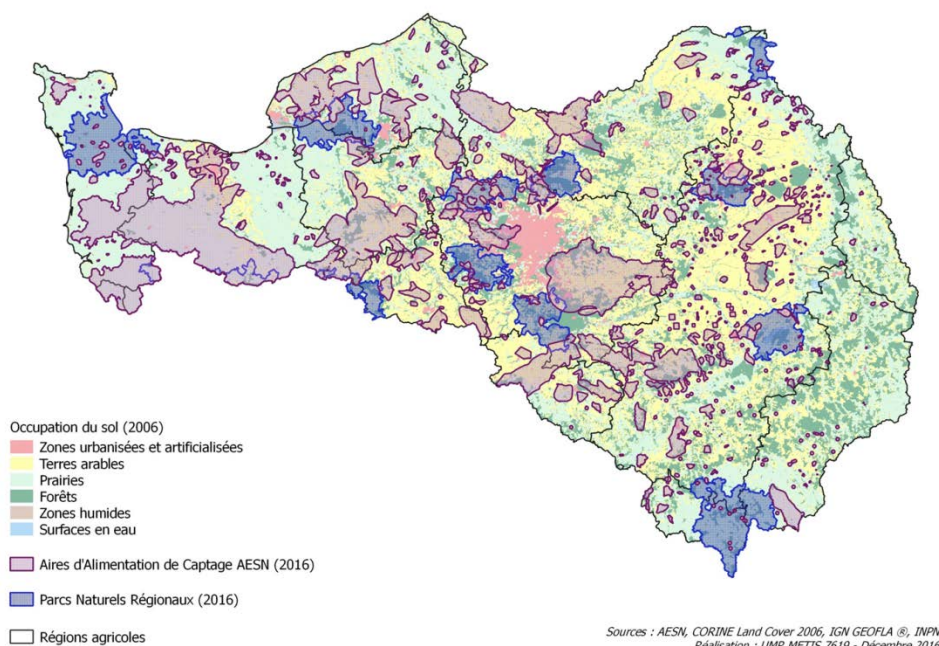


Figure 11. Carte d’occupation du sol du bassin de la Seine avec délimitation des Aires d’Alimentation de Captage (AAC) et des Parcs Naturels Régionaux (PNR).

Scénario ‘Si on n’avait rien fait’.

Cette exploration qui reproduit les années 1980, considère la population actuelle, et ainsi qu’un régime alimentaire actuel de 7.3 kgN/cap/an et 65 % animal ([Tableau 3](#)). Le traitement des effluents urbains est celui qui dominait alors, c-à-d un traitement biologique par boue activées pour les agglomérations de plus de 2000 equahab. Du point de vue de l’agriculture, la fertilisation n’avait pas encore été raisonnée de sorte que les apports d’engrais étaient souvent excessifs et donnaient lieu à des surplus azotés considérables. Les surplus déduits des niveaux de fertilisation et des

rendements agricoles observés en 1980 ont été pris pour caractériser le scénario qui représente donc la situation de l'agriculture antérieurement aux efforts de raisonnement des pratiques agricoles.

En complément, **un scénario pristine**, c'est-à-dire considérant l'absence de toute influence humaine dans le bassin versant (dès lors entièrement recouvert de forêt), a été élaboré. Il fournit une image du niveau de base de la qualité de l'eau dans le fonctionnement naturel du système. **Un scénario autonome-bio-demitarrien** a aussi été simulé **avec la population actuelle**.

Les résultats de ces différents scénarios sont présentés aux figures 12 et 13, respectivement à l'exutoire des principaux affluents de l'estuaire pour les concentrations en nitrate (Poses, Eure, et Risle) pour la situation de référence, prise ici de 2011 à 2012 (années retenues pour les simulations avec le modèle EcoMars) et pour les différents scénarios, et en cartes de qualité dans le réseau hydrographique pour les concentrations en nitrate (Figure 13a) et phosphates (Figure 13b).

Il apparaît clairement que le retour aux années 1980 serait la pire des situations par rapport à la référence, alors que le scénario de changement radical du système agro-alimentaire serait le meilleur en termes de contamination nitrique. Il est intéressant de remarquer que le scénario du Grand Paris diminue la concentration en nitrate à des valeurs au-dessous de celles de la référence pour la Seine à Poses (Figure 12) en raison d'un meilleur niveau d'épuration des eaux usées parisiennes, l'option mixte 'duale' diminuant les teneurs en nitrate à un niveau un peu au-dessous de la vision Grand Paris. En revanche, pour l'Eure comme pour la Risle, la situation du Grand Paris détériore la qualité de l'eau en nitrates.

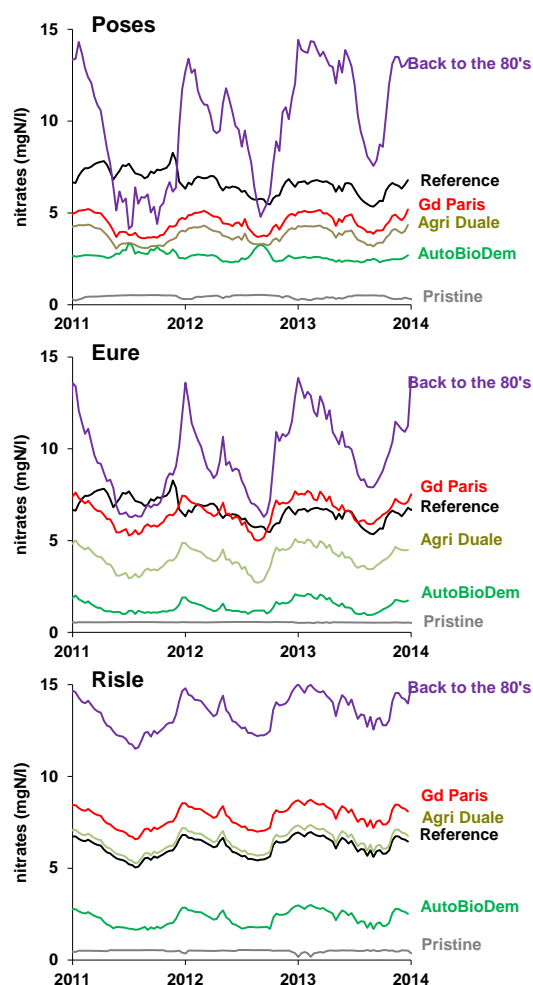


Figure 12. Evolution sur la période de 2011 à 2013 des concentrations en nitrate pour les conditions de référence actuelles, et pour les différents scénarios, à l'exutoire de la Seine à Poses, de l'Eure et de la Risle.

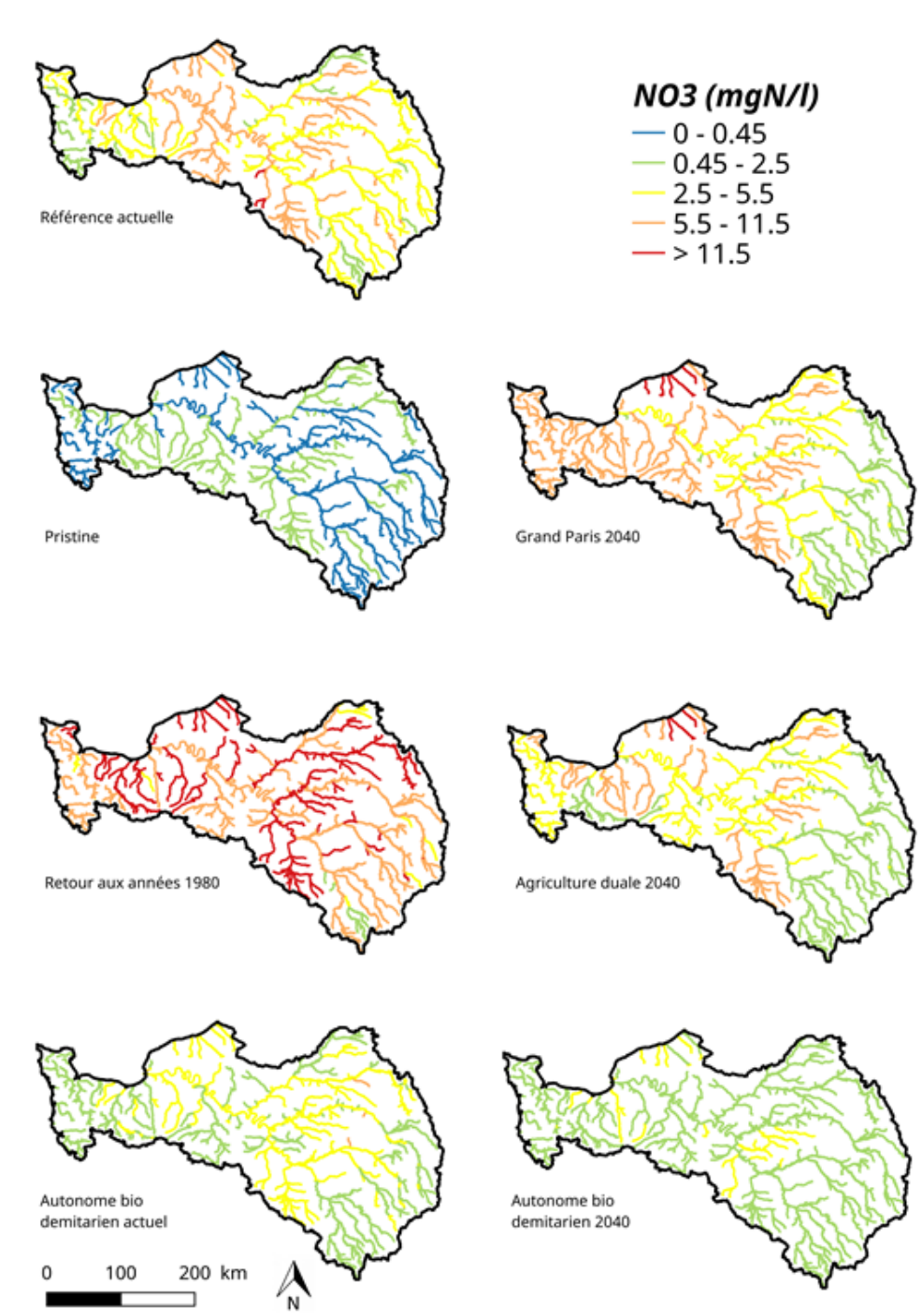


Figure 13a. Distribution spatiale des concentrations en nitrate dans les différentes situations explorées. Moyenne pour les années 2011 à 2013.

En ce qui concerne les cartes des concentrations en phosphates, il apparaît que si l'augmentation de la population – indépendamment de sa répartition – est associée à un traitement aux normes DCE, leur teneur est dans la gamme de qualité de bonne à très bonne (Figure 13b).

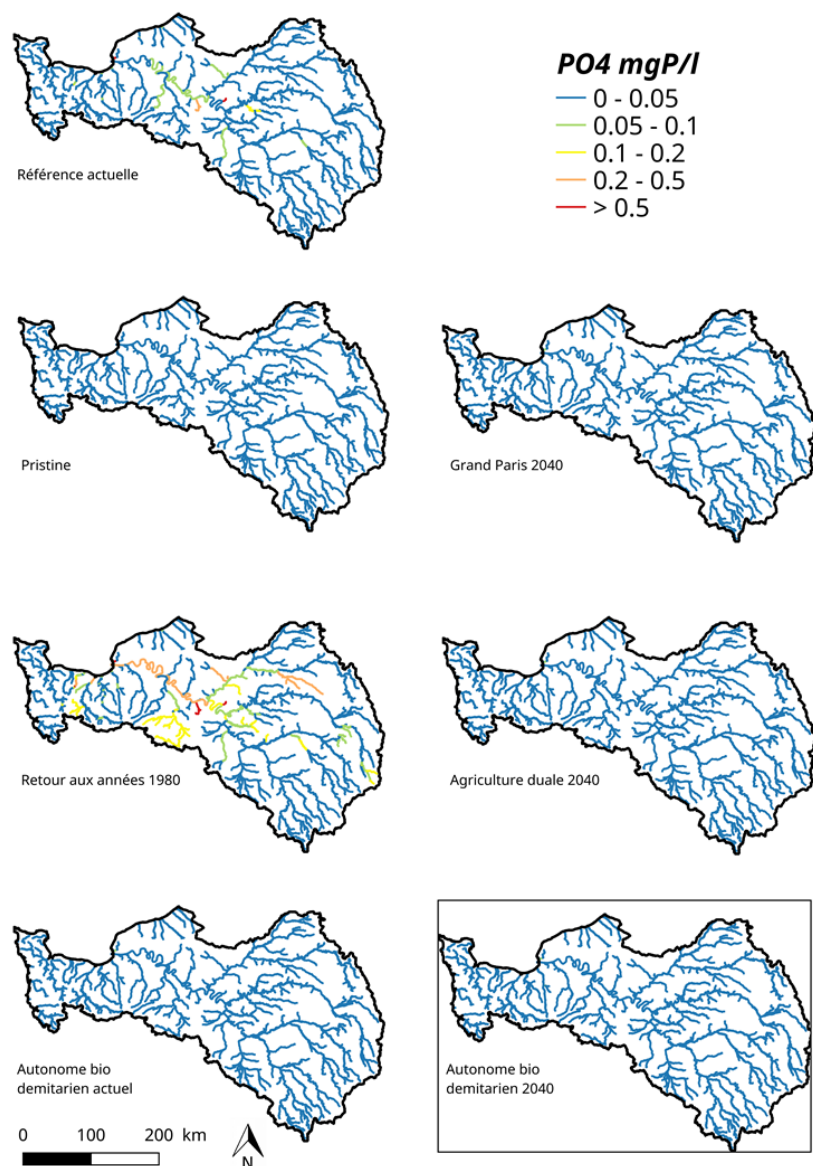


Figure 13b. Distribution spatiale des concentrations en phosphate dans les différentes situations explorées. Moyenne pour les années 2011 à 2013

Les flux moyens annuels (2011-2013) calculés pour la situation de référence et pour les différents scénarios permettent de quantifier le gain de qualité d'eau aux exutoires de la Seine à Poses, de l'Eure et de la Risle (**Figure 14**).

Les flux de silice, apport diffus naturels, associés à la dissolution des roches ne changent guère. Les flux de phosphore sont maximums pour le scénario 'si on avait rien fait' correspondant à un retour aux années 1980. Ces flux sont peu différents entre scénarios, compte tenu des hypothèses de traitements aux normes DCE faites, et proches de la situation de référence, ce qui montre que l'essentiel du traitement des apports diffus est réalisé (**Figure 14**). En ce qui concerne les flux d'azote, les différences de valeurs obtenues entre la période de référence et les années 1980, mesurent surtout l'effort fait en termes de traitement tertiaire des eaux usées (nitrification en 2007, et dénitrification en 2011). Le scénario Bio-autonome-demitarien réduit d'environ 50% les flux de référence en azote. Si le scénario Grand Paris diminue de 25% les flux d'azote à Poses, ils les augmentent de 10 et 40 % à l'exutoire de l'Eure et de la Risle, respectivement. L'agriculture duale améliore de 40% les flux d'azote à Poses, de 25% à l'exutoire de l'Eure alors

qu'une dégradation de 20% est obtenue à l'exutoire de la Risle. Il est important de noter toutefois que les flux de la Risle et de l'Eure ne représentent environ que 2% et 4% respectivement des flux à Poses (Figure 14).

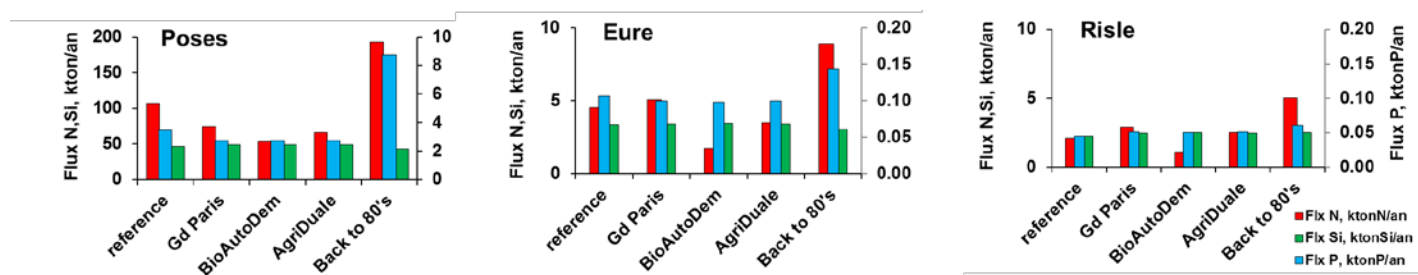


Figure 14. Flux d'azote, de silice et de phosphore aux exutoires de la Seine à Poses, de l'Eure et de la Risle pour la situation de référence et pour les différents scénarios explorés.

Conclusions

Les résultats présentés ici démontrent avant tout la capacité que nous avons développée à traduire de façon opérationnelle les narratifs de divers scénarios prospectifs du système territorial en jeu de contraintes quantitatives utilisables pour alimenter une suite de modèles permettant de calculer les conséquences de ces scénarios en termes de fonctionnement biogéochimique du système agro-alimentaire et de qualité de la ressource en eau.

Les scénarios que nous avons décrits montrent l'étendue des options possibles qui s'offrent à l'organisation de la chaîne agro-alimentaire territoriale future. Ils permettent ainsi d'instruire un débat sur l'avenir du territoire tenant compte des nombreuses interrelations entre divers aspects de son fonctionnement.

Références

Attali J., 2010. Paris et la mer. La Seine est capitale. Ed. Fayard. 193 pp.

Benhalima, M. (2015) Analyse du système agro-alimentaire de la région Nord-Pas de Calais et ses enjeux sur l'eau. Etudes et Documents n° 125. Commissariat Général au Développement Durable. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED125.pdf>

Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie (2006). 2020 : Que mangerons-nous? www.normandie.chambagri.fr/eco_prosp.asp

Découflé, C. (1980). La prospective. PUF.

DREAL HN, 2014. Scénarios prospectifs de développement de la Vallée de Seine à l'horizon 2040. Etude. <http://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/prospective-vallee-de-la-seine-2040-a250.html>

Duszinski, J. 2013. Filière céréales en Vallée de Seine : Quelles perspectives de développement ? Mémoire projet MBA Maritime, Transport et Logistique.

Gorgeu, Y. (2007). Le paysage : un projet territorial. Une opportunité pour repenser la planification, renforcer l'urbanisme opérationnel et accélérer la transition énergétique, à l'exemple des PNR. PAP (Paysages de l'après pétrole, n°5, janvier 2017.

HAROPA (2015) Projets stratégiques HAROPA 2030. http://www.haropaports.com/projets_strategiques/

Poux X, J.-B. Narcy, V. Chenat (2005). Agriculture et environnement : 4 scénarios à l'horizon 2025. Animation méthodologique ASCA. Groupe de la Bussière. MEDD, 123pp + Annexes.

Solagro (2014) Afterres2050 : Un scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres en France à l'horizon 2050. <http://www.solagro.org/site/393.html>

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date : 31 mars 2017

Les scénarios RESET au prisme du terrain normand

Sabine Bognon, Sabine Barles

UMR Géographie-Cités, Paris

NB. Les éléments théoriques, les méthodes mises en œuvre, ainsi que les références bibliographiques sont consultables dans l'annexe 1, qui vaut pour les annexes 2, 3 et 8.

1. Éléments de méthode

Ainsi que le précise un de nos interlocuteurs sur le terrain : « [...] il y a une assise qui est en train de se former. Ça part dans tous les sens, on est dans une phase un peu expérimentale, il y a beaucoup d'incompréhensions, il y a beaucoup d'échecs, mais le fait d'avoir une multitude d'expériences, non seulement ça permet d'avoir une multitude de retours d'expérience pour ceux qui veulent se lancer vers autre chose (on part pas de rien), mais ça permet aussi de mettre en place un système qui est solide puisque ce n'est pas du tout centralisé. Justement c'est une myriade de petits acteurs qui sont en lien entre eux et du coup s'il y a un maillage qui pète, il y a un acteur qui disparaît, il y a des connexions qui peuvent se refaire très vite et le système entier ne s'écroule pas, quoi » (Entretien n° 22). S'il penche clairement et entre autres pour la reterritorialisation du système alimentaire, il n'en reste pas moins que d'autres logiques, tout autant significatives, sont aussi à l'œuvre dans la région normande désormais réunie.

L'objectif de cette annexe est de voir dans quelle mesure les éléments de prospective fournis par des institutions locales, par les acteurs rencontrés sur le terrain et par le récit de la trajectoire que nous avons retracée concordent avec les quatre scénarios RESET pour l'avenir de ce système hydro-agro-alimentaire.

2. Scénario 1. Le futur radieux du Grand Paris et l'hyper-spécialisation des territoires agricoles

Le développement volontariste du Grand Paris se fait le long de l'Axe Seine, avec un accroissement sensible de population dans ce secteur (au détriment des villes plus amont du bassin). Les technologies les plus pointues de l'épuration urbaine centralisée sont mises en œuvre.

Les ports de Seine portent un projet ambitieux de développement autour du Seine Gateway® qui fait notamment « de la filière céréale un moteur de l'industrie Normande ». Une industrie agro-alimentaire et agro-chimique exportatrice se développe.

Un vaste hinterland portuaire est rendu accessible par de nouvelles infrastructures de transport ; le chenal de la Seine du Havre à Rouen est approfondi, le Canal Seine Nord Europe est mis en eau. La liaison ferroviaire Orléans-Chartres-Rouen est établie.

Les régions de grandes cultures intensifient leur spécialisation et leur production de céréales et d'oléo-protéagineux selon les techniques les plus rigoureuses de l'agriculture chimique raisonnée et de précision. L'élevage industriel s'intensifie dans les régions du Grand Ouest, y compris la Manche.

Un scénario à long terme très présent dans les discours officiels, et qui s'accompagne d'une ouverture structurelle du système alimentaire.

Le secteur déterminant de ce scénario est celui des transports. À long terme, les ports fluviaux et maritimes seront des infrastructures d'autant plus importantes que les navires vraquiers de grande taille les fréquenteront – ils seront indifféremment utilisés pour les produits agricoles et les produits miniers et industriels – au moins autant que la conteneurisation se poursuivra. « Toutes ces évolutions exigent d'adapter les terminaux céréaliers [...] pour accueillir des navires de plus grande capacité. L'enjeu est particulièrement vif pour les ports d'estuaire comme Rouen qui doivent engager des dépenses de dragage » (Lacoste, 2015, p. 244). La conteneurisation permet de répondre aux exigences d'un transport quantitatif, source de développement économique territorial ; elle permet aussi l'acheminement régulier de petites quantités (partition possible des conteneurs) sur de grandes distances. Elle répond également à un impératif de sécurité, permettant d'éviter les pertes et les vols des produits transportés, souvent porteurs d'une plus grande valeur ajoutée que les navires de vrac (Lacoste, 2015). HAROPA réussit à s'imposer comme un guichet unique majeur du nord de l'Europe et améliore la place du transport fluvio-maritime dans la logistique du bassin de la Seine : « l'intégration stratégique et surtout logistique des trois ports doit valoriser la proximité parisienne en profitant de l'axe Seine et du potentiel offert, en termes de trafics refeers, par les marchés d'intérêt national (MIN) de Rungis et de Rouen. [...] [qui constituent] une vaste épicerie branchée sur le monde entier : fruits, plats cuisinés, produits de la mer, viandes, vins, chocolat, ... L'ensemble repose d'abord sur le conteneur. [...] Ici pour faire masse, la variété de l'offre logistique est de mise » (Foulquier, 2015, p. 277). Rouen réussit donc à « maintenir sa position de porte de sortie naturelle des céréales du Bassin parisien » (Beyer, 2015, p. 297). En améliorant son offre multimodale, la façade portuaire développe un accès ferroviaire vers l'ouest¹ et pourrait aller jusqu'à rejoindre et coopérer avec son concurrent actuel pour l'exportation des céréales produites dans le bassin – « le port de La Rochelle, a misé avec succès sur le développement de l'offre grâce à la création d'un opérateur ferroviaire de proximité [en lien avec les opérateurs de Nantes-Saint-Nazaire] » (Beyer, 2015, p. 297). Les grands projets d'infrastructure sont une dimension déterminante de l'aménagement du territoire : la massification des flux implique le développement de plateformes logistiques le long des axes de circulation et dans les polarités urbaines².

Si les pouvoirs publics orientent la trajectoire du système alimentaire normand, sa gouvernance est dorénavant partenariale avec les acteurs privés. En effet, l'État intervient à la marge mais sur des enjeux relativement importants : il contrôle fermement les questions sanitaires des productions et contribue à diverses échelles à la compétitivité internationale des entreprises notamment par la promotion de la sûreté alimentaire des denrées produites (en termes de qualité sanitaire et

¹ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

² Idem.

nutritionnelle). Pour ce qui est de la gestion des flux alimentaires, les gouvernements locaux sont dépréciés au profit d'une gouvernance publique prise en charge par l'État et la Région qui gèrent à leur échelle les interdépendances avec les autres territoires pour l'approvisionnement alimentaire des Normands puisque la région est hyperspécialisée et les productions ne couvrent pas tous les besoins. Les pouvoirs publics ont aussi un rôle important dans l'information aux consommateurs (Blogowski, 2012). La gouvernance du système alimentaire résulte enfin d'un système hautement financiarisé et dans lequel l'État et les pouvoirs publics n'ont de maîtrise que réglementaire et à l'échelle macro (Union Européenne pour la réglementation environnementales ; traités économiques et commerciaux internationaux). L'axe Seine est sanctuarisé, le contournement des trois principales agglomérations est efficace et le développement de ces centralités est privilégié au détriment de portions plus reculées du territoire. En effet, les infrastructures logistiques parallèles aux couloirs de développement sont vues comme un moyen de diffuser la prospérité économique à l'échelle régionale³. Les inégalités deviennent donc mondiales dans l'emploi agricole et agroindustriel ainsi que dans l'accès aux ressources alimentaires (Rastoin, 2012) même si la Normandie en est globalement, relativement épargnée.

La région « participe activement à l'alimentation du bassin parisien. L'accroissement de la population se fait majoritairement dans le Grand Paris, le territoire Normand n'a pas vu sa population augmenter de manière significative, pour que sa capacité alimentaire à nourrir le local et Paris ne soit remise en cause⁴ ». Les relations institutionnelles et économiques avec la Basse-Normandie s'intensifient pour renforcer le poids de l'échelon régional dans les négociations qui s'opèrent désormais avec le Grand Paris ou à des échelles territoriales supérieures.

Les tendances lourdes de la production sont les suivantes : l'agriculture et l'agro-industrie répondent dorénavant à d'autres types de demandes non alimentaires, l'agriculture biologique reste marginale au profit d'autres techniques et technologies agraires tout aussi contraignantes vis-à-vis de l'environnement⁵. Les petites structures de production disparaissent au profit de fusions ou d'acquisitions par des groupes agro-alimentaires d'envergure nationale ou internationale (Entretien n° 5), ou bien parce que la production agricole désintéresse les jeunes générations, ainsi que l'explique un abatteur et grossiste de produits carnés :

« On a des métiers en voie de disparition, on était sept, huit grossistes il y a 10 ans contre deux aujourd'hui en Seine-Maritime, c'est principalement [parce que] ce métier [éleveur] n'attire plus les jeunes et que les anciens sont partis à la retraite » (Entretien n° 19).

De même, le nombre d'exploitations laitières diminue plus que le nombre d'emplois car « les éleveurs, pour réduire l'astreinte de la traite et des soins aux animaux [multiplient] les solutions [organisationnelles] [...] » (Chambres d'agriculture de Normandie, 2014, p. 5) et réussissent à produire plus de quantités, sur des exploitations plus grandes et moins nombreuses. Mais « le rendement laitier augmentant plus vite que les livraisons globales, le troupeau de vaches continue sa régression ; [...] [tandis que] la taille croissante du [cheptel encourage] la hausse de la part de maïs-ensilage dans les rations, [et que] les prairies représentent plus des deux tiers de la surface fourragère des élevages laitiers » (Ibid.). La production certifiée AB poursuit sa petite progression, faisant presque doubler la part du lait normand en produit bio entre 2012 et 2020. Cette croissance minime, similaire pour toutes les filières, s'explique par le fait que la certification AB reste difficile à obtenir pour une plus-value financière trop peu marquée et peu de reconnaissance par les consommateurs ainsi que le souligne une de nos interlocutrices, maraîchère :

³ Idem.

⁴ Extrait d'un courrier électronique du 5 juin 2015 envoyé par le chargé de projet Cohérence du développement des territoires de l'AURBSE.

⁵ Par exemple, notre interlocuteur à l'HAROPA (Entretien n° 23) souligne la baisse constante des importations d'engrais depuis le tournant du 21^{ème} siècle.

« Le bio c'est très bien mais la transition dure deux, trois ans avant de pouvoir récolter. [...] Je suis d'accord de faire valoir le traitement [phytosanitaire] minimum. [...] les maraîchers font en sorte de ne pas traiter, donc quand ils sont obligés ils font. [...] Le bio c'est bien gentil mais il ne nourrira jamais la population. Je prends les pommes par exemple. Moi, ma mère elle a des pommiers, elle met jamais de traitement, mais je vous assure que les pommes vous les bouffez pas, parce que les trois quarts, elles ont des vers : ça c'est du bio, ça c'est bien ! (rires). C'est ça le problème, on vend du bio, mais on ne voit pas les conséquences derrière. Et je vous assure que c'est malheureux à dire comme ça, mais s'il n'y avait que du bio, tout le monde crèverait de faim ! [...] Ça me fait rigoler quand je vois du bio d'Israël, n'importe quoi ! Faut arrêter ! Les produits belges déjà, ils ont le droit d'utiliser des produits que nous on n'a pas. Alors quand vous dites bio, faut arrêter ! » (Entretien n° 5).

Cette progression de la production certifiée biologique est aussi minorée par l'amélioration environnementale des techniques agricoles : le réseau DEPHY (Démonstration Expérimentation Production de références sur les systèmes économes en PHYtosanitaires) prend de l'ampleur en Normandie. C'est un dispositif de production de référence et de démonstration mis en place en 2010 à l'échelle nationale et par la Chambre d'Agriculture de la Seine-Maritime. Il est « orienté sur de la culture industrielle et utilisant des innovations. Les exploitants [inscrits dans ce réseau] servent de repère pour illustrer, développer et vulgariser les techniques innovantes [...] et qui ont pour objectif de trouver des optimums technico-économiques qui intègrent les préoccupations territoriales, environnementales et sociales par rapport au travail de l'agriculteur » (Entretien n° 8).

De manière générale, la réglementation engage à une meilleure performance environnementale des productions animales. Malgré leurs émissions de méthanes, les exploitations sont peu touchées par la faible régulation de l'émission de gaz à effet de serre, du fait du rôle compensatoire des prairies. Deux réglementations pèsent dès lors sur les exploitations normandes. La directive nitrates⁶ et la loi sur les installations classées⁷ (pour les cheptels comptant plus de 50 UGB) : les zones d'épandage sont de plus en plus difficiles à trouver du fait de l'urbanisation. En outre, les coûts de production augmentent car les exploitants investissent dans les fosses à lisier et les fumières pour permettre le stockage temporaire et l'épandage des effluents et parce que le prix des céréales reste élevé. Toutefois, ces contraintes poussent le secteur à améliorer ses performances environnementales, ainsi que l'explique un de nos interlocuteurs à la DRAAF :

« La Haute-Normandie est en totalité concernée par la directive nitrates, la gestion des effluents d'élevage et les apports d'engrais azotés sont réglementés. Et il y a des démarches volontaires : des agriculteurs qui sont dans des zones où il existe des enjeux environnementaux [...] mettent en place des pratiques agricoles respectueuses du milieu et en échange ils obtiennent une compensation financière. [...] c'est beaucoup de communication, beaucoup de technique car la transition écologique repose sur [le fait qu'il] faut montrer aux agriculteurs qu'il est possible de produire autant tout en polluant moins » (Entretien n° 11).

La disparition des quotas laitiers décidée au 31 mars 2015 par la Commission Européenne a aussi plusieurs conséquences en Normandie. En l'absence d'autre système de régulation de la production, les aides sont réformées et la trésorerie des élevages normands en pâtit, mais la filière est toujours protégée de la concurrence mondiale par la forte protection douanière intracommunautaire. L'exportation augmente fortement du fait des opportunités de ventes limitées sur le territoire national et les débouchés sur le marché européen restent stables grâce aux produits certifiés par l'origine et malgré une diminution globale de la consommation de produits laitiers. Si des régions profitent de la sortie des quotas (Bretagne, Pologne, Allemagne), la Normandie se maintient à flot grâce à la demande des coopératives nationales, dont les marchés sont de plus en plus concentrés,

⁶ La Directive 91/676/CEE du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles.

⁷ La loi du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection de l'environnement.

pour les industries de transformation. Les coopératives se privatisent (organisations de producteurs indépendantes ou regroupées en association commerciales) et acquièrent « un rôle de régulateur qui en fait des interlocuteurs incontournables lors de cessation ou de reprise d'exploitation » tant elles sont compétentes en matière de gestion des volumes et dans la contractualisation avec les collecteurs et les distributeurs (Chambres d'agriculture de Normandie, 2014, p. 5). Néanmoins, elles pourraient rester marginales car « la maîtrise des coûts restant prioritaire, [il semble qu'elles devraient entamer des] opérations de concentration, d'alliance et d'internationalisation. Cette exigence se construit sur la base de leur capacité à être des leaders dans leurs filières, y compris avec des stratégies de niche, mais également sur leurs territoires » (Filippi, 2012, p. 100). Dans ce cas de figure, elles ne parviendront à s'imposer comme intermédiaire de commerce, et donc à défendre les producteurs normands, qu'en investissant collectivement et massivement, quitte à opérer des filialisations – comme tel est déjà le cas ailleurs sur le territoire – faisant intervenir des capitaux non coopératifs et intégrant plus largement production, transformation et commercialisation (Ibid.). Dans le cas contraire, les industries agroalimentaires prendraient le relais sur le plan de la collecte des denrées agricoles normandes à transformer.

Le secteur agro-industriel se développe à la faveur de nouvelles opportunités, notamment liées à la tradition haut-normande : « les deux régions normandes ont déjà des liens. Les industriels travaillent déjà avec des produits bas-normands, pour des produits laitiers par exemple. L'avantage de [la] fusion [administrative des Régions, opérée en 2016] c'est d'élargir le spectre des produits agro-alimentaires et de devenir une région agroalimentaire à part entière » (Entretien n° 7). La tendance va à l'indifférenciation et à l'internationalisation. La première caractéristique révèle la production de denrées standardisées (sur leur composition) mais distinguées par des logiques commerciales (marques de distributeurs / marques internationales, variation de la valeur ajoutée des produits élaborés en fonction de la clientèle visée). L'internationalisation crée « de grands secteurs de produits génériques dominés par des opérateurs puissants et mondialisés » (Rio, 2012, p. 164). De manière générale, l'offre produite par les industries agroalimentaires est concentrée : peu d'entreprises contrôlent la production d'un bien alimentaire. Et les échanges avec les filières amont et aval sont contractualisés au détriment des interprofessions dont « les organisations [...] sont jugées trop petites [et] le cadre contractuel trop rigide » (Rio, 2012, p. 178). D'un point de vue économique, toutes les composantes des industries agroalimentaires (excepté l'artisanat commercial) se développent, en particulier pour l'exportation : concentration, tertiarisation, spécialisation, globalisation et financiarisation conduisent à l'affaiblissement des TPE et PME, d'autant que « les pouvoirs publics se sont lentement dégagés de l'accompagnement des industries agroalimentaires [...] » (Rastoin, 2012, p. 238). Dans ce contexte, les capacités de production sont orientées vers les marchés extérieurs, à hauteur d'un quart de la production (Rastoin, 2012), en direction des pays riches (pour faire valoir le terroir normand) et des pays émergents dont le pouvoir d'achat s'accroît (pour les produits de qualité standard). Il en résulte une domination des entreprises internationales sur la production et la distribution intermédiaires des denrées produites en masse, au regret des grossistes et négociants indépendants :

« Les rayons de viande ont diminué de 60 %, par contre les linéaires rayons pizza et surgelés ont augmenté [...]. Aujourd'hui on est commandé par des politiques et par des monopoles en face de nous, que ce soit des gens comme Danone, Lactalis, Bigard... 75 % de la viande est distribuée en hypermarché. Pour 70 % des gens, il faut se nourrir et c'est pas une question de qualité » (Entretien n° 19).

Toutefois, les produits certifiés pour leur origine ou leur qualité peuvent échapper, à la marge, à ces logiques, restant sous contrôle des transformateurs de taille plus réduite (producteurs, coopératives) ou s'imposant à la consommation de masse par les mêmes logiques commerciales que les grands groupes :

« Il y a des produits classiques qui représentent l'identité [culinaire] de la Normandie, et qui sont véhiculés par les industries agro-alimentaires. Par exemple, les galettes de la

Mère Poulard sont des produits purement industriels avec une gamme qui a été déclinée de très nombreuses fois, ils surfent sur cette image avec, par exemple, un biscuit fabriqués à la biscuiterie de Sainte-Mère-Église [dans la Manche], en forme de parachute pour [commémorer] les 70 ans du Débarquement, ou encore des chocolats qui ont été mis dans une boîte en forme de Mont-Saint-Michel. Finalement, ce sont surtout des évolutions de packaging et de marketing, et pas tellement des produits en eux-mêmes. [...] [Ces innovations touchent peu les touristes] qui ne connaissent pas vraiment les labels français [de certification pour la qualité et/ou par l'origine] » (Entretien n° 6).

Les entreprises du secteur agroalimentaire poursuivent leur restructuration. La production de masse est globalisée dans de grandes unités industrielles qui distribuent en filière longue, elle est à l'origine d'aliments « complémentés [...] c'est-à-dire incorporant des ingrédients supposés apporter un bénéfice santé » (Rastoin, 2012, p. 220). Les échanges internationaux soutiennent ce modèle et « seules de très grandes entreprises multinationales sont capables d'atteindre une taille critique pour réaliser les énormes investissements matériels et immatériels rendus nécessaires par la mondialisation des marchés » (Rastoin, 2012, p. 221). La concentration des unités de production conduit à une vulnérabilité accrue aux contaminations (pollutions, crises sanitaires) et face à l'épuisement des ressources agroalimentaires (du fait de l'intensité de l'agriculture et de l'élevage), des ressources énergétiques (à cause du transport), et des ressources matérielles (car les emballages sont sophistiqués dans leur composition et nombreux du fait des conditionnements individuels).

Les pratiques du secteur agroindustriel sont visées par des associations et organisations de la société civile qui prônent un développement plus durable de leurs activités. Les effets s'en ressentent de plusieurs manières : information et communication peuvent primer (guides de consommation, d'achat, comparatifs, expertise et vulgarisation scientifique) ou bien la société civile peut en appeler au « boycott » (promouvoir un produit ou une marque vertueuse) (Laisney, 2012). Face à cela, les industries agroalimentaires font valoir leur contribution importante à la production de richesse sur le territoire (sensibilisation et publicité), elles peuvent aussi engager des partenariats stratégiques avec leurs détracteurs pour améliorer leur image et leur fonctionnement, ou engager des démarches de certification (Laisney, 2012). Les technologies de l'information et de la communication favorisent la pression sur les consommateurs par la publicité. Elles entrent aussi en ligne de compte dans le développement économique des industries agroalimentaires : le secteur privé de recherche et développement est en plein essor avec la normalisation et l'augmentation de la rigueur des réglementations sanitaires ; « d'une manière générale, le design nutritionnel, c'est-à-dire la conception (ou la réhabilitation) d'aliments à haute qualité nutritive, constitue une priorité [...] » (Rastoin, 2012, p. 229). Les innovations techniques profitent aussi au secteur de l'emballage et du marketing alimentaire : il s'agit comme toujours d'optimiser les coûts (allègement des volumes et utilisation des nouveaux matériaux biodégradables) et de flatter l'attrait des consommateurs. Ainsi d'une part, ce secteur s'applique, à côté des marques nationales, à travailler sur « l'attractivité des produits ancrés dans les terroirs des systèmes alimentaires territorialisés, dont c'est souvent le point faible » (Rastoin, 2012, p. 229). D'autre part, les IAA « doivent abandonner l'illusion du mimétisme et, elles aussi, mobiliser des stratégies de différenciation par la valorisation des patrimoines alimentaires nationaux. Leur longue expérience [...] et la perception de changements profonds dans le comportement des consommateurs des pays à haut revenu devraient les y préparer et le durcissement de la confrontation avec les groupes de la grande distribution les y inciter » (Rastoin, 2012, p. 240-241). D'autre part, elles s'installent dans des unités de productions éco-conçues et dont le fonctionnement a des impacts (directs et indirects) faibles sur l'environnement. Dès lors, « les domaines d'innovation appelés à se développer dans les prochaines décennies [...] seront marqués par la substitution partielle des méthodes historiques de conservation [...] fondées sur la physico-chimie, par des procédés de bio-conservation à base de bactéries » (Rastoin, 2012, p. 230)

La distribution reste dominée par les grandes et moyennes surfaces. Les alternatives apparues au tournant des années 2010 demeurent secondaires dans le paysage normand et une occasion pour le consommateur de changer ses habitudes à la marge :

« [les circuits courts de proximité] c'est un marché de niche, je n'imagine absolument pas les agriculteurs venir faire les marchés et encore moins les consommateurs venir acheter l'essentiel de leur alimentation sur des marchés locaux, auprès de producteurs locaux. [...] Vous avez un très gros marché, un des plus grand marché de Rouen, il n'y a quasiment pas d'agriculteurs qui viennent vendre. Là où on a le plus d'agriculture c'est sur le marché Saint-Marc, en plein centre-ville, très bobo. [...] Il y a un MIN à Rouen, où les commerçants forains, les restaurateurs, les commerçants de centre-ville viennent s'approvisionner. Les marchands forains ils viennent vers 16-17h, là où les prix baissent, là où la qualité des produits diminue, et c'est ce qui se revend sur les marchés populaires. Ce n'est pas des produits locaux. [...] La proximité n'est pas forcément synonyme de qualité non plus » (Entretien n° 11).

« Tout le monde ne fait pas la cuisine. Actuellement c'est la grande mode du distributeur [automatique] de légumes. Chez nous actuellement il y en a deux et ça marche super bien. Les gens choisissent ce qu'ils veulent je pense que ça va faire peut être de la concurrence à ceux qui font les paniers parce que les gens choisissent juste ce qu'ils veulent. [...] » (Entretien n° 5).

Au moins en partie moteur du développement économique et territorial de la Normandie par sa situation d'interface portuaire, le secteur alimentaire est soutenu par la consommation dont une rapide typologie peut être dressée⁸. Les populations aux revenus les moins élevés deviennent des « chasseurs de promotion » (Sireix, 2012), faisant jouer la concurrence entre les différents canaux de distribution, tandis que les plus aisés (classes moyennes et supérieures) deviennent des « *brand lovers* » (ibid.) du fait de la grande visibilité des marques agroindustrielles ou des consommateurs « *carpe diem* » qui « privilégient la dimension plaisir de l'alimentation, à domicile et hors domicile » (Ibid., p. 135). Les consommateurs se concentrent dans les zones urbaines et périurbaines et l'on note une croissance notable des classes moyennes (Rastoin, 2012).

La consommation se segmente et cela a des répercussions sur tout le système alimentaire. En amont, les producteurs et les industries agroalimentaires s'adaptent aux nouvelles exigences des consommateurs qui demandent une forte traçabilité des produits ainsi qu'une certaine asepsie qui garantit la qualité sanitaire et nutritionnelle (aliments) des denrées. Les produits transformés voire très élaborés sont une dominante puisque la croissance économique favorise les repas hors domicile, et de manière plus générale une déstructuration des prises alimentaires (moins d'horaires fixes, moins de repas cuisinés chez soi, etc.). À l'écoute des revendications de ses clients, la grande distribution confirme son hégémonie dans l'approvisionnement domestique car elle développe des formats de vente adaptés (*drive* sur les itinéraires pendulaires, *convenience stores* dans les hypercentres, formats de proximité dans le périurbain résidentiel) tout en répondant aux exigences des consommateurs quant aux produits vendus (les centrales d'achat sont en lien direct avec les industries agro-alimentaires à l'échelle nationale et européenne).

La croissance économique favorise l'augmentation de la ration calorique à la faveur de la constance de la consommation de produits céréaliers et d'une hausse des consommations de sucres rapides (boissons élaborées) et d'huiles végétales (plats préparés). Néanmoins, le développement durable est une composante non négligeable des nouveaux comportements de consommation. La consommation durable a été définie par le symposium d'Oslo en 1994 comme « l'usage des biens et services qui répond aux besoins fondamentaux et apporte une meilleure qualité de vie tout en minimisant l'usage des ressources naturelles [...] de façon à ne pas nuire aux besoins des générations

⁸ Nous reprenons cette typologie, commentée par L. Sireix (2012), qui a été élaborée par le cabinet de conseil Kantar Worldpanel en 2013 sur un échantillon de 20 000 ménages en France.

futures⁹ » Ainsi, il est probable que des campagnes de communications des pouvoirs publics de même qu'une prise en considération de ces velléités par les entreprises du système alimentaire conduise à une valorisation des « nouvelles pratiques individuelles ou collectives ayant pour objectif de mieux consommer (consommation collaborative, initiatives de réduction du gaspillage) » (Sireix, 2012, p. 137).

3. Scénario 2. Un futur bio-autonome-démocratique, circulaire et multipolaire.

La transition écologique prend corps avec des actions volontariste de l'État en matière de développement des énergies renouvelables et de politique foncière visant à limiter l'extension urbaine, qui se poursuit autour des petites et moyennes agglomérations existantes. Le système eau-énergie-aliments (*water-energy-food nexus*) fait l'objet de politiques locales, interterritoriales et intersectorielles.

Les pratiques d'assainissement urbain sortent du paradigme de l'épuration centralisée 'end of pipe' et les filières de valorisation des urines collectées à la source se développent, ainsi que la méthanisation des déchets et excréments solides.

Suite à des crises alimentaires et sanitaires répétées, des mouvements citoyens de plus en plus nombreux visent à reprendre en main leur alimentation, à la fois à travers une recherche de qualité diététique et un désir de renouer des liens sociaux avec les producteurs locaux. L'approvisionnement local est de plus en plus privilégié, ainsi que les produits biologiques. La consommation de viande et de produits laitiers diminue de moitié au profit des protéines végétales. Des campagnes spectaculaires de sensibilisation réduisent considérablement le gaspillage alimentaire.

Les pratiques de l'agriculture biologique se généralisent, les exploitants agricoles visent à s'affranchir des fluctuations des prix de l'énergie et des matières premières agricoles en recherchant plus d'autonomie. En matière d'azote, la généralisation du recours aux légumineuses s'accompagne d'une reconnexion avec l'élevage qui est réintroduit dans les régions de grandes cultures, tandis que la densité de cheptel diminue dans les régions actuellement spécialisées en élevage qui se tournent également vers plus d'autonomie fourragère, et un recours accru à l'herbe.

Un scénario radical à long terme impliquant une modification structurelle du système alimentaire.

Dans ce scénario, deux familles d'acteurs deviennent prépondérantes dans la trajectoire du système alimentaire normand.

D'autre part, **les entreprises privées du système alimentaire ajustent leur offre à la demande** territorialisée et maintiennent un niveau raisonnable de concurrence. Il en résulte que la biodiversité, le foncier et les autres ressources du territoire sont gérées de manière précautionneuse, veillant à faire peu appel à des intrants extérieurs (matériels, énergétiques, financiers) et à garantir une équité sociale des acteurs sur le territoire (Rastoin, 2012), ainsi que l'explique un de nos interlocuteurs à l'Agence d'Urbanisme :

« Ce scénario pourrait s'appeler chacun chez soi et filières courtes pour tous. La gouvernance alimentaire a choisi d'aller vers l'autosuffisance et, y compris de limiter fortement l'import et l'export (pour des raisons sanitaires de plus en plus prégnantes).

⁹ Traduction de l'auteure d'après un texte du département des affaires économiques et sociales de l'organisation des nations unies, disponibles en format html [référence du 10 mai 2016] : <https://sustainabledevelopment.un.org/topics/sustainableconsumptionandproduction>

[...] les habitudes de consommation ont évolué et la demande a permis l'adaptation d'une offre plus vertueuse¹⁰ ».

D'une part **l'État et la société civile** veillent « à réduire les distorsions de concurrence dues à la taille [des entreprises agricoles, agroindustrielles et commerciales], [de manière à ce que les consommateurs ne subissent pas] de trop fortes fluctuations [dans les prix de revient] et à garantir à l'ensemble de la population un accès à des produits de qualité » (Rastoin, 2012, p. 223). Les politiques publiques sont nombreuses et efficaces. D'abord, la maîtrise de l'urbanisation produit un territoire polarisé par des centres urbains denses et où l'agriculture peut continuer à se développer et à se diversifier pour répondre à la demande. En effet, l'étalement urbain est contenu dans ses limites actuelles et des politiques fortes soutiennent la reconquête des espaces péri-urbains par les exploitations agricoles ou la désartificialisation et la dépollution des sols. Les espaces agricoles périurbains sont impliqués le métabolisme urbain : les cultivateurs engagent des actions pédagogique pour sensibiliser les citoyens aux thématiques alimentaires, les éleveurs sont engagés dans une filière de récupération des excréments à des fins de valorisation énergétique pour les usages urbains¹¹.

Ensuite et en conséquence, **la stratégie en matière de transports se transforme**. La conteneurisation permet de répondre aux contraintes de qualité qu'exige le transport des marchandises produites dans le bassin de la Seine : « dès lors que les producteurs décident de se démarquer en se positionnant sur des produits de spécialité, ils sont soucieux d'en préserver l'intégrité et de garantir leur valeur marchande supérieure. Or, les échanges en vrac s'accompagnent de risques de contamination lors des entreposages successifs et des transferts entre les modes de transport, tout au long de la chaîne logistique » (Lacoste, 2015, p. 253). Pour fluidifier les échanges, réduits par la consommation locale, et pour les rendre moins conséquents sur les milieux, la multimodalité est de mise. L'innovation principale réside dans les pratiques de « co-fretage »¹². À l'échelle régionale, le redéploiement du rail permet l'approvisionnement urbain par les tram-trains dont l'insertion dans le tissu urbain est garantie. Ces trains aménagés pour pouvoir accueillir conjointement passagers et marchandises sont des marchés itinérants : les producteurs sont invités à garnir le train lors de son passage à proximité des exploitations, les denrées sont commercialisées par la société exploitant le réseau à laquelle ils versent une redevance d'accès, tout au long du trajet et à pendant sa desserte des pôles urbains, les consommateurs peuvent y acheter les denrées brutes ou peu transformées¹³. À l'échelle métropolitaine, le « co-fretage » correspond à la rentabilisation des navettes pendulaires par la mise en ligne d'une plateforme qui met en lien des producteurs du péri-urbain, des consommateurs du centre dense et des habitants du péri-urbains : les premiers y publicisent leurs productions, les seconds peuvent formuler leur commande, les troisièmes sont chargés d'acheminer les denrées et sont rétribués par une commission versée par les producteurs¹⁴. Cette multimodalité est en outre une « garantie face aux aléas des transports [...] et à la diversité des situations (délais, types de destination, importance des volumes à expédier) » (Beyer, 2015, p. 295) ; d'autant plus si les politiques publiques imposent une tarification différenciée pour le fret (heures pleines / heures creuses ; jour/nuit) afin de rentabiliser l'usage des réseaux et de minimiser les risques de congestion¹⁵.

Intervenue en 2016, la fusion des régions n'entrave pas la politique qui tend à favoriser les productions locales dans l'approvisionnement de la restauration collective puisque Haute et Basse

¹⁰ Extrait d'un courrier électronique du 5 juin 2015 envoyé par le chargé de projet Cohérence du développement des territoires de l'AURBSE.

¹¹ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

¹² Idem.

¹³ Idem.

¹⁴ Idem.

¹⁵ Idem.

Normandie ont sensiblement les mêmes vues sur ce point (Entretiens n° 9 et n° 17). Au contraire, elle favorise les interactions entre les fournisseurs en circuit direct et accroît la part des productions locales dans les repas proposés par les collectivités, comme dans ceux des ménages. Il en résulte un ancrage territorial plus vif du système, dont les acteurs comprennent l'importance pour le développement économique et social.

L'agriculture biologique devient un standard, et de manière générale la production agricole opte pour des solutions respectueuses de l'environnement, guidée par la demande et par la transformation des pratiques suivant en ce sens l'évolution de la réglementation. La croissance économique, globalement revenue en Europe et en France permet d'envisager la fin des quotas laitiers comme une opportunité pour réallouer des fonds à la conversion des exploitations. Par exemple (Chambres d'agriculture de Normandie, 2014), les laiteries et les coopératives favorisent l'engagement des éleveurs pour une filière plus respectueuse de l'environnement et font une promotion de la profession dans les formations. La production en volumes par exploitation augmente peu, tandis que le cheptel est relativement stable. La transformation se fait à la ferme, ce qui permet d'y maintenir des agriculteurs et agricultrices (tendance à la mixité) qui, assistés par les technologies robotiques, sont plus polyvalents et voient leurs conditions de travail améliorées, même si leur effectif total diminue.

Les exploitations produisent plus et des denrées plus diversifiées pour suivre la demande urbaine régionale, mais aussi pour l'export de produits spécifiques et à haute valeur ajoutée. Les chaînes de production sont fondées sur la proximité spatiale et définies « par des critères agro-climatiques et culturels » (Rastoin, 2012, p. 222).

L'agroindustrie est le fait d'entreprises de petite taille dont les besoins capitalistiques sont faibles et les statuts juridiques transparents, permettant un partage de connaissance et de compétences dans des réseaux entrepreneuriaux solidaires. Dorénavant ancrés dans le territoire sur lequel ils produisent, les industriels jouent aussi le rôle d'aménageur et contribuent à renforcer des polarités préexistantes ou bien à améliorer l'efficacité logistique des chaînes de production : par exemple, les abattoirs s'installent dans un espace de compromis au plus près des éleveurs et des infrastructures de transport (Entretien n° 15). Les collectivités les appuient en ce sens et contribuent aussi à la prospérité des exploitations agricoles et industrielles : « [elles sont] le fer de lance et [jouent] un grand rôle. Elles ont un potentiel de volumes très important. [...] La chambre d'agriculture a aidé à la création d'une association de producteurs « Local et facile » qui joue le rôle d'interface entre les producteurs et les collectivités ainsi que les consommateurs et les entreprises pour l'approvisionnement en groupe. Son deuxième objectif est de développer le réseau logistique et des points de ventes pour faciliter l'accès aux produits » (Entretien n° 8).

La méthode des effets (Chervel, 1981) est celle qui guide l'approbation des projets de développement territorial autour du système alimentaire. Selon cette conjoncture, la croissance économique régionale est prospère, le chômage régresse et les navettes pendulaires, bien que de courte distance puisque l'étalement urbain est limité, conduisent à une augmentation de la part de la restauration hors domicile dans la consommation individuelle. Le développement d'une offre de restauration itinérante permet un ajustement de l'offre à la demande au plus près des pôles d'emploi, et l'élaboration de plats dont les matières premières sont directement issues du territoire. La consommation des plats préparés par l'industrie agro-alimentaire est aussi en progression quoique leur composition soit de plus en plus diététique (végétariens ou viandes blanches, poissons) ainsi que la clientèle y est sensible. La grande distribution bouleverse son modèle économique d'approvisionnement et ses fournisseurs sont dorénavant et au maximum issus de la région : ainsi que le pratiquent certaines enseignes depuis longtemps déjà¹⁶, des unités de transformations maillent le territoire régional et national au plus près des fournisseurs de matière première.

¹⁶ Par exemple, depuis sa fondation, le groupe Mousquetaire a choisi la proximité de l'approvisionnement : entrepôts et sites industriels de transformation desservent toutes les enseignes du groupe via des plates-

Les canaux de commercialisation sont variés et favorisent un écoulement sur les marchés de la région car la production est suffisamment diversifiée et cohérente à cet échelon territorial (Rastoin, 2012). Ces nouveaux modèles de développement économique et spatial poussent à une augmentation des dépenses alimentaires parce que les circuits courts de proximité participent à une redistribution locale des richesses produites, parce que le développement de l'agriculture biologique implique de légers surcoûts (Cardona, 2014) répercutés sur les prix de consommation, et parce que les consommateurs consacrent une part plus importante de leurs revenus – eux aussi croissants – à leur alimentation (Teil, 2012 ; Pluvineau, 2015). Les messages de sensibilisation nutritionnelle, développées de manière adéquate par les pouvoirs publics, ont donc un impact plus important sur les consommations : il en résulte que « les produits de la mer, la volaille, les fruits et légumes sont plébiscités, sous forme brute ou transformée, au détriment des matières grasses animales et des féculents. La hausse du pouvoir d'achat des groupes modestes permet de maintenir le niveau de consommation du bœuf, indépendamment des préoccupations nutritionnelles [et environnementales] » (Chambres d'agriculture de Normandie, 2006, p. 5). En outre, « la substitution partielle des protéines animales coûteuses à produire, comme celles issues des ruminants, ou à l'externalité négative sur l'environnement [...] [fait] l'objet de recherche et développement. On peut ici imaginer, en alimentation humaine, soit des dérivés de légumineuses issus des pratiques ancestrales et qui ont prouvé leur intérêt nutritionnel et gustatif (par exemple, le tofu de soja), soit de nouveaux produits hybrides végétal/animal » (Rastoin, 2012, p. 229). En conséquence de cette diminution de la part des produits carnés dans la ration alimentaire, une réaffectation des locaux jusqu'alors consacrés à la filière est possible : les démarches alternatives de circuit court de proximité en bénéficient et sont institutionnalisées car elles occupent dorénavant ces espaces pour la vente et la transformation des produits issus de l'agriculture régionale¹⁷.

La réappropriation de la fonction alimentaire par les ménages implique un réinvestissement personnel. La consommation de produits peu transformés et issus de la proximité spatiale des consommateurs « suppose que l'on trouve des solutions pour traiter « à la main » les millions de tonnes de biens agroalimentaires et boissons produits chaque année et, bien sûr, pour remettre un conjoint sur deux aux fourneaux afin de se substituer à la fonction industrielle de la préparation des repas » (Renault, 2012, p. 77). Il en résulte deux grandes catégories de consommateurs¹⁸. Les ménages aux revenus les plus faibles sont « économes » et surveillent leur consommation alimentaire en sélectionnant rigoureusement les fournisseurs de leur approvisionnement domestique sur des critères évaluant la qualité (nutritionnelle, relationnelle, etc.) autant que le prix. Les ménages plus aisés sont astreints au « *self control* » et « se distinguent par leur besoin de contrôle de leur alimentation et leur forte fréquentation de commerces de proximité au détriment de l'hypermarché » (Sireix, 2012, p. 137). Autrement, ils sont « biocitoyens », attachés aux impacts dans le temps long de leur alimentation et préfèrent donc les productions respectueuses de l'environnement matériel et social de leur territoire.

Les consommateurs restent exigeants face à la maîtrise du système alimentaire dont ils souhaitent « [...] un renforcement [...] de [la] transparence, qui s'appliquera aux conditions de production, aux ingrédients utilisés, mais aussi au suivi des nombreux engagements pris ces dernières années par les marques. La coopération entre ONG et entreprises devrait également se renforcer, la mise en place de la responsabilité sociétale de l'entreprise (RSE) entraînant au minimum une obligation de consultation des parties prenantes, et, parfois, une institutionnalisation des partenariats » (Laisney ,

formes régionales. Ces unités sont spécialisées par type de produits, et la tendance est à la mixité des centres d'approvisionnements afin de réduire globalement les coûts et les distances parcourues. Le groupe recherche une forme d'indépendance en proposant de réduire les prix finaux par la maîtrise de la valeur ajoutée générée par les sites de transformation industrielle (LSA, 2009).

¹⁷ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

¹⁸ cf. note n° 8.

2012, p. 158). Dans ce contexte, la tendance est à la reterritorialisation des productions et plus largement, à un renouveau de l'ancrage du système alimentaire dans la région, par la spécification des ressources et des actifs du territoire (Colletis et Pecqueur, 2005), passant notamment par un recours plus systématique à la certification de la qualité par l'origine. Cette spécification est principalement gouvernée par le renforcement des filières interprofessionnelles qui assurent la pérennité de ces modalités dans l'espace (en lien avec les autres régions) et dans le temps (Rio, 2012, p. 164)

4. Scénario 3. Une agriculture duale

Les deux tendances antagonistes à l'œuvre respectivement dans les scénarios 1 et 2, s'affrontent violemment au sein d'une société polarisée à l'extrême entre un courant libéral privilégiant la croissance et la compétitivité dans la mondialisation, et un courant de sensibilité écologiste prônant la défense de l'environnement et l'autonomie circulaire locale. Leur affrontement aboutit à un compromis consistant dans un partage du territoire entre espaces de développement économique spécialisé et espaces de protection. Ces derniers sont constitués par les aires d'alimentation de captage d'eau potable, et par les Parcs Naturels Régionaux, qui, ensemble, concernent plus d'un tiers du territoire du bassin de la Seine. Si dans les espaces banaux prédomine une agriculture très spécialisée, semblable à celle du scénario 1, dans les espaces réservés prennent place des exploitations agricoles autonomes, biologiques et tournées vers un marché de consommation local.

Un scénario de coexistence de deux modèles d'agriculture et de développement diamétralement opposés.

Ce scénario montre l'annexion du système alimentaire normand par les canons que la métropole parisienne érige en modèle. La Normandie est vue comme « la nouvelle Bretagne »¹⁹ car elle se consacre à l'exportation de ses productions qui génèrent un PIB régional colossal mais face à cela, elle est marquée par une « désertification »²⁰ des campagnes hors des plans de protection, tant du point de vue des paysages (uniformisation et artificialisations) que du peuplement (accroissement des inégalités sociales et existence de territoires exclus de la dynamique économique. Les gouvernements locaux se trouvent face à la difficulté d'articuler les dynamiques centrifuges conséquentes au développement de l'Axe Seine et les dynamiques centripètes qui perdurent dans les espaces protégés. Ces espaces protégés sont est lieux de résistance de la sphère productive aux dynamiques d'ouverture économique et concurrentielle dictées à l'échelle nationale (Entretien n° 12), mais aussi des territoires attractifs pour les Franciliens hypermobiles. Notre interlocuteur à l'Agence d'Urbanisme évoque un scénario similaire qu'il appelle Grande Migration et dans lequel « le Grand Paris dépasse le bassin de l'Île-de-France. La nourriture n'est pas allée vers les habitants, ce sont les habitants qui se sont déplacés vers la nourriture. La Normandie doit faire face à l'afflux de migrants régionaux qui, attirés par un territoire à moins d'une heure de la capitale, semblent disposer d'un territoire agricole assez vaste pour répondre à leurs besoins. Pour cela le territoire Normand se retrouve dans l'obligation de [continuer à] produire, pour [que les citadins qui le souhaitent puissent] consommer local »²¹.

À la faveur d'une relative augmentation des moyens techniques et financiers des échelons locaux de la gouvernance du système alimentaire, et pour parer à une « politique alimentaire de l'UE insistant sur les attributs qualitatifs et la labellisation [...] stimulante en termes d'objectifs, mais lacunaire en

¹⁹ Expression employée par les étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

²⁰ Idem.

²¹ Extrait d'un courrier électronique du 5 juin 2015 envoyé par le chargé de projet Cohérence du développement des territoires de l'AURBSE.

termes de moyens et de types d'acteurs » (Rastoin, 2102, p. 240), une réforme organisationnelle du système alimentaire normand est engagée. Elle met en œuvre un plan stratégique – intégrant les échelles régionale, nationale et européenne « sur la base, non seulement, d'une concertation entre les pouvoirs publics et les organisations professionnelles, mais aussi d'une participation de la communauté scientifique et des représentants des consommateurs » (Rastoin, 2012, p. 231). Le développement économique régional est donc pensé au prisme d'une forme de solidarité par proximité : territoires urbains et ruraux sont interdépendants mais peuvent entretenir des trajectoires de développement différenciées. À l'échelle intraurbaine c'est la même chose, le principe des *smart grids* est appliqué avec la rénovation urbaine ou l'extension des aires urbaines : des îlots productifs de démonstration (agriculture urbaine, cogénération, recyclage) compensent, au moins dans l'image qu'ils renvoient, la surconsommation des quartiers défavorisés ou uniquement consommateurs de ressources²². Dans la même veine de marketing territorial, « les infléchissements [de la trajectoire du système alimentaire] sont mineurs [...] [et] sont de l'ordre du réseau local de petite échelle (par exemple AMAP) et de l'expérience développée au niveau local par des collectivités, par le biais des SCoT et des PLU. En tous les cas ces expériences ne semblent pas viser pas l'autosuffisance. Il ne semble pas y avoir non plus de coordination de ces expériences, ou de la volonté [politique] de définir un cadre commun (par exemple à l'échelle d'un ou de plusieurs SCoT) sur ces questions²³ ».

La façade maritime devient une porte d'entrée pour l'Île-de-France. L'internationalisation conduit à un élargissement de l'hinterland d'approvisionnement et de destination des ports :

« Concrètement sur la cohérence de la politique, il n'y aura pas d'évolution majeure, si ce n'est qu'on aura plus d'expérience qu'on pourra mettre en œuvre et appuyer. Des évolutions surtout en matière de gouvernance, mais à priori pour le mieux car on est déjà coordonnés sur un certain nombre de choses. [...] De toute façon ça va étendre les réseaux, donc ça va étendre les possibilités de lien. C'est inévitable. Ça va étendre les débouchés, ça va étendre les fournisseurs mais ça va aussi étendre les outils qui existent pour accompagner [cette volonté politique] » (Entretien n° 27)

En outre, l'influence francilienne a des conséquences sur les politiques de transports : « un des projets actuellement, consiste à mettre en place une nouvelle ligne ferroviaire qui relierait Paris au Havre en passant par Rouen avec une bifurcation vers Caen, et qui passerait aussi par Évreux. Le but c'est d'améliorer les transports existants et de faciliter les échanges de personnes et de marchandises sur l'axe Paris-Normandie. [...] Ce projet traduit une volonté de profiter de l'attrait touristique de la région parisienne. Pour l'industrie aussi, l'idée c'est de renforcer les liens entre les centres de décision parisiens et les centres de production en Normandie. C'est une volonté de synergie [économique] des territoires [normand et francilien] »²⁴. Les politiques de transports sont donc orientées par une recherche d'intégration du système alimentaire « – de l'exploitation agricole aux rayons de supermarchés – » (Foulquier, 2015, p. 263). Celle-ci passe par une gestion partenariale des flux : les entreprises privées pourvoyeuses d'emplois et génératrices de PIB régional orientent les politiques publiques en fonction de leurs besoins en matière de transport. Les politiques publiques de transport sont donc moins guidées par la volonté d'économiser de l'énergie que par celle de développer les modes électrifiés et de ne pas faire obstacle aux modes dépendants des énergies

²² Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

²³ Extrait d'un courrier électronique du 5 juin 2015 envoyé par le chargé de projet Cohérence du développement des territoires de l'AURBSE.

²⁴ Entretien du 28 mai 2015 avec le cheffe de projets Population et société, le chef de projets Cohérence du développement des territoires et le chargé d'études développement économique de l'AURBSE (16).

fossiles – d’autant que la consommation de produits pétroliers encourage le maintien de la spécialisation fonctionnelle du port du Havre²⁵.

La dynamique duale de l’agriculture a plusieurs traductions dans le fonctionnement du système alimentaire normand. L’expansion spatiale des grandes cultures et de l’agriculture d’exportation en général ne favorise pas la production respectueuse de l’environnement, en particulier là où la spécialisation est déjà forte :

« [La production certifiée AB] ne va pas augmenter dans des proportions extrêmement fortes, parce que d’une part on produit très peu de fruits et légumes, on n’en développera pas beaucoup plus. [...] La production de céréales bio c’est compliqué à faire, [...] il faut être un excellent technicien, très bon agronome. Il y a un marché pour le lait bio, c’est certain. Les grandes marques font du lait bio, des yaourts bios, sauf que pour développer une filière en lait bio, il faut avoir suffisamment de producteurs bio pour mettre en place un circuit logistique pour aller le ramasser, ce qui n’est pas le cas. [...] L’élevage bovin-viande, faire du bio [...] ce n’est pas intéressant parce que la moitié de la production ne peut pas se vendre en bio, il n’existe pas par exemple de veau bio, il n’y a pas de label. Faire du bio avec les principales productions animales régionales, c’est compliqué, donc je crains qu’on soit toujours les derniers de la classe en matière de bio » (Entretien n° 11).

Ces productions vertueuses sont concentrées dans des espaces spécifiques – dont les caractéristiques ont déjà été décrites, et ont une vocation double : du point de vue des tenants de la libéralisation, il s’agit d’une preuve que le modèle qu’il prône peut être exemplaire ; du point de vue du courant écologiste qui les perpétue, ce sont des témoignages de résistance à un courant dominant depuis les années 1950. Les premiers poursuivent même la publicité de ces modes alternatifs de production, en essayant d’y intégrer leurs logiques de spécialisation concurrentielle :

« [...] on offre un service pour les agriculteurs qui veulent passer en agriculture biologique... on a un accord à ce niveau là par le biais d’une structure qui s’appelle Biocer [...], qui a une activité beaucoup plus large que la [Normandie]. En tout cas, les agriculteurs qui veulent passer en bio, on leur apporte un soutien technique et on leur fournit, comme aux agriculteurs en conventionnel, les semences ou l’assistance technique pour qu’ils le fassent. Et derrière, on a passé un accord avec Biocer pour accéder au marché de céréales biologiques. [...] Il y a une tendance effectivement. Maintenant, on part de peu de choses donc même si on double le volume commercialisé de céréales biologiques, ça reste peu de chose. [...] Enfin, il y a un certain nombre de choses qui font que certains se tourneront contraints ou forcés... après c’est au choix de chacun... vers l’agriculture biologique, parce que les contraintes environnementales font que les personnes sur ces endroits là [i.e. dans les espaces protégés] n’auront pas vraiment le choix : ou ils passent en agriculture biologique pour continuer à produire, ou sinon ils devront arrêter leur exploitation. [...] Maintenant, ça restera à court ou moyen terme, quand même malgré tout, minoritaire par rapport à l’ensemble de la production régionale » (Entretien n° 29).

Ne serait-ce que parce que la réglementation les y oblige²⁶, les acteurs de la libéralisation de la production agricoles ne s’estiment pas en reste au regard de l’amélioration de leurs performances environnementales, ils pratiquent et encourage une agriculture « durable [qui] se situe entre la

²⁵ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l’École d’Urbanisme de Paris (février 2017).

²⁶ Un de nos interlocuteurs, industriels indique que « la PAC est un outil utile pour la transition écologique, je suis persuadé que les agriculteurs ne feraient rien pour l’environnement s’ils y étaient pas obligés par la réglementation » (Entretien n° 15).

raisonnée et la biologique. [...] c'est un cheminement, l'agriculture durable, où l'agriculteur va se poser la question de son système de production : comment le rendre le plus efficace et le plus autonome possible ? [...] pour qu'il ait moins de charge possible, que son équilibre financier soit intéressant et surtout que l'impact sur l'environnement soit le moins important possible, principalement sur la ressource en eau » (Entretien n° 13). En bref, la vertu environnementale des acteurs du versant libéral dépend de la valeur qu'ils donnent à la demande concernant les produits reconnus comme ayant un impact moindre sur les milieux.

« [...] il y a des productions de blé pour des farines Label Rouge, que l'on fournit à nos clients meuniers. [...] on essaye de développer ces productions là d'une façon plus large sur la coopérative, au niveau de Cap Seine parce qu'il existe une demande des clients de la meunerie. [...] Donc c'est en fonction des demandes du marché, et des contacts qu'on peut avoir avec nos clients, s'ils sont en recherche de produits ou de caractéristiques particulières. Après à nous d'étudier si on est en mesure de le mettre en place, s'il y a un intérêt pour l'adhérent de le produire » (Entretien n°29).

Dans les deux types d'agriculture, l'usage croissant des TIC encourage la transparence des filières de production, toujours plus segmentées par le succès des certifications qualitatives. Du côté libéral, la diversification vient aussi du développement de savoir-faire locaux en matière d'agro-industrie non alimentaire :

« [...] on a une filiale qui est spécialisée dans un type particulier de colza, et qui commercialise des huiles de colza avec une composition en acides gras particulière, avec une haute teneur en acide érucique. Donc c'est pas de gros volumes, mais c'est une huile particulière qu'ils commercialisent auprès d'industriels... [...] pour ses propriétés de lubrification [...] pour l'automobile, ou pour la peinture, ou dans la cosmétique... [...] on a ressenti [depuis la fin des années 2000] que c'est un marché qu'il fallait développer [...] et Cap Seine est le premier producteur européen de cette huile de colza particulière ; en lien avec les industriels et la demande qu'on a pu ressentir. Et donc on met [des semences] à disposition auprès des producteurs, [pour] la production de ces produits particuliers et donc de mettre sur le territoire la valeur ajoutée que peut apporter une production particulière. [...] par exemple les huiles de colza éruciques, on les livre à des industriels qui sont principalement en Allemagne, mais malgré tout la production est faite localement. Le besoin existait en Allemagne, nous on a mis la production en Normandie et on alimente le marché comme cela » (Entretien n° 29).

Reste que du côté des tenants de l'agro-écologie, la structuration en filières concerne de trop faibles volumes, des productions trop éparées et des acteurs assez peu organisés à l'échelle régionale pour pouvoir concurrencer l'hégémonie économique du courant libéral (Entretien n° 28). La gestion de ces flux du système alimentaire se fait donc au fil de l'eau mais en étroite collaboration à l'intérieur du sous-système qu'elle crée (Entretien n° 21).

La grande majorité (en valeur et en volume) l'activité agroindustrielle se concentre le long de l'Axe Seine et même si des complémentarités ont peu être trouvées au moment de la fusion administrative régionale (Entretien n° 13), la Basse-Normandie et l'Eure conservent tant bien que mal une activité de transformation réduite aux denrées produites dans les espaces protégés. Leur localisation n'est donc pas uniforme mais pas aléatoire non plus, elle dépend des produits qu'elles transforment (Torre et Pham, 2012) : les industries agro-alimentaires sont situées à proximité (relative) des zones agricoles protégées car les productions ont un lien particulier avec le terroir, tandis qu'elles sont localisées près des exutoires par l'attractivité des infrastructures logistiques, des bassins d'emploi, et par les dynamiques que peuvent créer les pouvoirs publics dans cette logique (clusters, pôles, grappes). La spécialisation des productions (polyculture vivrière ou denrées d'exportation) et des modes de production (écologiques ou « durables ») concourt à l'intégration des filières agroindustrielles à l'échelle régionale : en fonction des opportunités partenariales, on

procède à cette intégration par les produits (le café arrive brut et en sortant de Normandie il est prêt à passer dans une cafetière à expresso) ou par les procédés (des usines de torréfaction grillent les grains de café et de cacao, des cacahuètes, de l'orge, du bois, etc.)²⁷. « L'industrie agro-alimentaire se trouve au carrefour de trois gouvernances : sectorielle (la branche), territoriale (l'espace géographique) et entrepreneuriale (les acteurs économiques) » (Torre et Pham, 2012, p. 54).

Les productions qui comptent dans la balance commerciale régionale sont reconnues pour leur grande qualité organoleptique et affichent un contenu culturel lié au territoire, pour faciliter leur exportation notamment (Entretien n° 6). Il en résulte que « le recours à la différenciation territoriale par un signe de qualité (AOP, IGP), notamment pour les produits tels que les fromages ou les vins, n'exonère par des stratégies de maîtrise des coûts » (Filippi, 2012, p. 96). Poursuivant une tendance en cours, au début du 21ème siècle, les agro-industries s'engagent dans ces démarches de différenciation géographique, voire les cumulent avec les marques commerciales traditionnelles. Comme dans les années 1970, peu de brevets agro-industriels sont déposés, la recherche et le développement concernent peu les firmes agro-industrielles (hormis pour le volet commercial) et le soutien de l'État en la matière va surtout aux productions spécialisés des filières bovines (produits carnés et laitiers) et céréalière (Rastoin et Bouquery, 2012).

À l'image du système productif, **la distribution alimentaire est dichotomique**. La grande distribution assure toujours la majorité des flux dans les pôles urbains, quoique la production écologique s'y insère également car certains citadins y sont sensibles. Il en résulte des polarités commerciales riches et diverses autour des agglomérations, laissant les espaces ruraux banals (sans espace protégé) dans un certain enclavement (sud du Calvados et nord de l'Orne)²⁸. Les denrées de l'agriculture respectueuse de l'environnement sont aussi mobilisées, dans une moindre mesure, par les pouvoirs publics par le biais du MIN dont la métropole de Rouen a acquis la gestion en 2015 (Entretien n° 24). Néanmoins, craignant la poursuite de la disparition des formats de vente de proximité multifonctionnels (supérettes, commerces de bouche, etc.) (Entretien n° 13), les collectivités contraignent le développement des magasins de producteurs et leur soutien à cette offre commerciale reste marginal :

« Les politiques publiques n'ont pas vocation à soutenir uniquement la consommation locale à échelle de la Normandie [...]. D'autant plus qu'on est dans une région où l'exportation est très forte et l'État soutient aussi ça, car l'exportation c'est la balance commerciale du pays. [...] Toute la Normandie n'a pas vocation à fonctionner comme ça [par un approvisionnement de proximité et vertueux vis-à-vis de l'environnement] car ce ne sont pas des modes de consommation qui s'opposent. Nous on soutient aussi les industries agro-alimentaires, car c'est un volet fondamental de l'agriculture » (Entretien n° 28).

Si les logiques de la grande distribution se maintiennent dans le haut de la hiérarchie commerciale, les démarches alternatives de proximité émergentes au début du 21ème siècle perdurent dans une forme de cohabitation pacifique (Entretien n° 13). Les premières s'inspirent des secondes quand les innovations qu'elles promeuvent peuvent accentuer son hégémonie ; les secondes se maintenant en élargissant les territoires de provenance de leur offre quand les productions répondent à leurs canon (produits frais des régions limitrophes, en vente directe) (Entretien n° 14).

Depuis les années 1950, les dépenses de **consommation alimentaire des ménages** intègrent de plus en plus des produits des IAA avec des effets de substitution (ex. produits préparés remplacent produits bruts, lait est remplacé par produits laitiers frais) « et, réciproquement, les produits transformés par les IAA représentent une part importante et toujours croissante du budget

²⁷ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

²⁸ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

alimentaire des ménages, au détriment des produits bruts » (Sireix, 2012, p. 119). Pour autant, les choix des consommateurs sont eux aussi guidés par des logiques parfois opposées : « même si leur importance [émergence dans la consommation de pratiques alternatives, diffusion des produits labellisés, certifiés par l'origine, etc.] ne doit pas être surestimée, ces tendances actuellement en croissance permettent de comprendre pourquoi il n'est pas plus pertinent de raisonner sur la base du marché global que sur celle du consommateur moyen. Comme les attentes des consommateurs, les marchés sont multiples et doivent être segmentés » (Sireix, 2012, p. 132-133). L'approvisionnement en grande distribution connaît un renouveau par la popularité croissante des marques de territoires, résultat de l'action conjointe des industries agro-alimentaires et des pouvoirs publics régionaux :

« On peut avoir des chiffres sur la marque Gourmandie, aujourd'hui on est à 64 % de taux de notoriété. Il y a dix ans on était à zéro. Le logo est reconnu. Mais on peut difficilement avoir un chiffre d'affaire précis des produits de la marque. [...] Il y a une meilleure mobilisation des Normands pour s'affirmer et être un peu plus chauvins que ce qu'ils n'étaient avant » (Entretien n° 1).

Par ailleurs, certains producteurs qui commercialisent en circuit court mettent à profit la confusion qui règne entre les deux tendances pour afficher des vertus environnementales et une chalandise régionale. Cela désoblige ceux qui sont réellement convaincus de leur engagement, qui réclament une vigilance accrue de la part des consommateurs (Entretien n° 14). Mais des formes de consommation engagées et alternatives à la grande distribution, en soutien aux espaces protégés de production agricole perdurent, malgré une offre relativement faible :

« De toute façon on ne pourra pas nourrir tous les Normands avec des AMAP. Ça correspond à une certaine typologie de gens qui en comprennent le sens et qui ont envie et sont motivés » (Entretien n° 10).

En ce qui concerne la restauration hors domicile, deux faits marquants sont présents. La production agro-industrielle qui encourage la présence sur le marché de produits standardisés est un gage de développement territorial par la consommation touristique :

« Pour les touristes des pays émergents de tradition culturelle et culinaire éloignée des nôtres, donc on ne met pas spécialement en avant la nourriture normande, mais une offre de restauration [cosmopolite] [...]. [Cela est] paradoxal par rapport aux autres offres de tourisme, c'est une évolution » (Entretien n° 6).

Par ailleurs, malgré une volonté (marquée au début du 21^{ème} siècle) d'approvisionnement régional pour contribuer au développement économique du secteur agricole, la restauration collective est bloquée d'une part par les quantités de denrées produites au regard de la demande régionale d'une part, et par la limitation des budgets qui lui sont alloués :

« Je vois difficilement comment augmenter le ratio de produits entre producteurs locaux et grande distribution. On est à la limite. Les finances des collectivités ne permettront pas d'investir sur de nouvelles filières » (Entretien n° 17).

Ce scénario est donc insoluble : les deux types de systèmes cohabitent tant bien que mal, mais les tensions entre eux sont minimisées parce que les fortes convictions politiques qui les soutiennent et leur opposition intrinsèque entravent peu le fonctionnement de l'un comme de l'autre.

5. Scénario 4. Un futur subi dans une Europe en perte de vitesse avec application molle de la réglementation

La France et l'Europe s'installent durablement dans la banalité d'une crise permanente. L'État n'a plus les moyens d'investir dans de nouvelles infrastructures et peine à maintenir l'existant.

La réglementation environnementale est tout juste appliquée, et fait l'objet de nombreuses dérogations. Les rejets urbains finissent par revenir au niveau des années 1980.

Le développement démographique se poursuit sur les dynamiques spatiales en cours, privilégiant les grands pôles urbains et les zones d'urbanisation dispersées. Le régime alimentaire évolue selon les tendances observées depuis une dizaine d'années, avec une stabilisation de la consommation de produits animaux de qualité de plus en plus médiocre.

L'agriculture conserve sa structure actuelle, respecte de moins en moins les préconisations d'équilibre de fertilisation, et ne fait aucun recours aux CIPAN. On retrouve les niveaux de surplus des années 1980.

Un scénario correspondant à un désengagement de l'État et à la dégradation progressive des efforts en matière de protection de l'environnement, sans profonde modification du système alimentaire. C'est le scénario du pire, qui permet de mesurer les effets des politiques environnementales mises en œuvre depuis quarante ans.

L'inertie des systèmes productifs empêtrés dans un marasme économique et celle des consommateurs limités par leur faible pouvoir d'achat maintiennent les logiques de la grande distribution à la tête du réseau d'approvisionnement régional dont l'hinterland est vaste (Rastoin, 2012). Les campagnes et les zones urbaines moins denses sont exposées à une désertification productive et commerciale qui menace la pérennité de leur peuplement (Dutil, 2012), ou au contraire enjointes à la multiplication des systèmes alternatifs atomisés.

De manière générale, l'essor d'une politique alimentaire cohérente est rendue difficile par la disparition ou la dissolution des institutions publiques²⁹ : les politiques sont sectorielles (santé, industrie, économie, agriculture) et cloisonnées. En l'absence d'une instance de gouvernance transversale, la connaissance macroscopique du secteur est lacunaire, les experts sont rares et de toute manière employés par des firmes privées dont les résultats de recherche sont peu diffusés et guère mutualisés. Il n'existe donc pas de stratégie spécifiquement agroalimentaire dans les politiques de cohésion sociale et de relance économique car « on reste sur des schémas obsolètes tournés vers les méga-infrastructures et les méta-firmes, et non pas vers la prise en compte de la réalité des territoires et des besoins des populations » (Rastoin, 2012, p. 241).

Le secteur dans lequel les pouvoirs publics investissent encore un peu et surtout politiquement reste celui des transports. Le transport fluvial est modernisé à la marge et, sous contrainte financière, l'État ne finance que la rénovation et l'adaptation des artères principales du bassin de la Seine. La hiérarchisation des voies navigables s'accroît au détriment des plus petites et donc des petits transporteurs : du fait de sa cherté relative, le transport fluvial ne concerne que le transport de vrac, qui pourrait directement profiter du guichet unique qu'offre HAROPA car « la conteneurisation des vrac agricoles reste globalement limitée » (Lacoste, 2015, p. 256). Ainsi, malgré le maillage existant des équipements de stockage et de traitement des céréales à proximité des voies d'eau et l'avantage financier qu'elles offrent (jusqu'à deux fois moins cher que la route et deux tiers moins cher que le rail), le pré-acheminement en vue d'exportation se fait par voie routière – et plus à la marge, par le rail – qui demeure plus intéressante que les rivières et canaux pour des faibles distances (Beyer, 2015). Il en résulte une progressive privatisation des infrastructures de transport et, sur les voies qui restent publiques, des effets de congestion dus aux transporteurs de marchandises des acteurs les plus modestes du système productif qui ne peuvent pas accéder aux services privatisés de la logistique alimentaire³⁰. En conséquence, la demande de transport s'accroît et la privatisation des voies de communication n'y répond pas du fait des coûts engendrés pour

²⁹ Par exemple, le ministère en charge des industries agricoles et alimentaires, apparu en 1976, et devenu dans les années 2010, un service au sein du ministère de l'agriculture.

³⁰ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

emprunter ces nouvelles infrastructures³¹. Les infrastructures se dégradent; d'autant que l'étalement urbain n'est plus accompagné ni encadré par les collectivités et que les navettes pendulaires sont de plus en plus étendues³².

L'effort des collectivités, Région en tête du fait de la puissance relative que lui attribue la décentralisation, est concentré sur la gestion des polarités urbaines qui génèrent le plus de capitaux : les groupements intercommunaux de Rouen et du Havre (et dans une moindre mesure de Caen) fondent leur politique de développement territorial sur l'avantage concurrentiel fourni par l'ancrage de certaines activités économiques³³.

Le secteur agricole périlite. Le foncier a de plus en plus de valeur vu l'étalement urbain : les exploitants se maintiennent difficilement et comme les campagnes s'urbanisent, les possibilités d'agrandissement sont faibles : « ces contraintes et ces difficultés peuvent entraîner [la] recherche d'une plus grande valeur ajoutée à l'hectare en essayant de diversifier [l'activité agricole (par l'agritourisme par exemple)] ou d'emmener de la valeur ajoutée par d'autres voies de commercialisation. [...] Il y a aussi une évolution des besoins, des attentes alimentaires et de la réglementation. Cette dernière oblige les collectivités à réfléchir sur cette question en les obligeant par exemple à mettre des produits locaux dans la restauration scolaire » (Entretien n° 8). Sur ce point, la réglementation européenne a une importance majeure. La disparition des quotas laitiers décidée au 31 mars 2015 par la Commission Européenne couplée à la mauvaise santé économique nationale et européenne provoque un recul de la vente des produits laitiers normands. La hausse de la valeur de l'Euro grève la compétitivité pour l'exportation extracommunautaire (en particulier vers la Chine pour le lait en poudre, qui fait appel au marché néo-zélandais) ; tandis que les régions laitières européennes à bas prix de production (Irlande, Pays-Bas, Danemark...) inondent le marché. La demande adressée à la production normande stagne depuis 2012, les reprises d'exploitations sont rares tant les opportunités sont faibles et les prix de productions élevés. La PAC n'est qu'un filet de sécurité car l'accord TAFTA³⁴ permet aux produits laitiers nord-américains d'être distribués à moindre coût sur le marché français. La production laitière continue toutefois d'augmenter, malgré le recul du nombre d'exploitations laitières (manque de vocation, peu de reprises) et en dépit des faibles évolutions technologiques et de la faible robotisation. À l'échelle de l'Union Européenne, le subventionnement de l'agriculture normande favorise toujours les céréaliers exportateurs en défaveur des exploitations plus petites et moins mécanisées, comme nous l'indique une maraîchère :

« C'est très grave ce qu'ils font, on ne parle que des céréaliers [à qui] ils donnent des subventions mais dans le maraîchage il n'y a rien du tout, alors que c'est un secteur qui emploie beaucoup de personnel. On emploie de la main d'œuvre alors que les céréaliers n'emploient personne. Nous, les produits ne sont pas valorisés, on a des taxes, on nous supprime des produits [phytosanitaires]. Aujourd'hui on fait du traitement raisonnable, de la culture raisonnée car les produits [phytosanitaires] coûtent très cher. Le problème c'est que les autres pays européens ont le droit d'utiliser des produits qui sont interdits en France. Et après [ces pays] expédient [en France] un produit nickel alors que nos produits sont en train de crever et ne sont pas beaux à la vente. On a des dirigeants qui ne s'occupent pas de nous parce qu'on est un petit secteur et quand ils vont s'en apercevoir il sera trop tard » (Entretien n° 5).

Il en résulte un secteur agricole à l'image de la société normande : les exploitations qui perdurent deviennent des firmes agricoles bâties et fonctionnant sur le modèle de grandes entreprises ; les

³¹ Idem.

³² Idem.

³³ Idem.

³⁴ Ce partenariat transatlantique de commerce et d'investissement est une zone de libre-échange entre l'Union Européenne et les États-Unis, en gestation depuis la chute du Mur de Berlin et encore non ratifié en 2015.

exploitations plus modestes en termes de surface, d'effectif salarié ou de production sont vouées à disparaître dans le mitage urbain ou par absorption des plus grandes³⁵.

Les territoires sont mis en concurrence sur le plan agro-industriel : en Haute-Normandie Rouen et Le Havre captent les flux importés pour le fonctionnement des industries agro-alimentaires multinationales, tandis qu'en Basse-Normandie, le marché de gros de Caen polarise de nouveau tous les flux de produits agricoles et l'agglomération concentre la majeure partie des industries agro-alimentaire, laissant les campagnes productives désertes de toute transformation agro-alimentaire. Cette concurrence soutient l'allongement des distances parcourues par les denrées à l'intérieur de la région, en provenance de l'étranger et à destination des régions limitrophes.

Les exportations agroalimentaires continuent de progresser malgré leur diminution relative en part de marché par rapport aux autres pays européens. « Ces exportations ont un caractère stratégique alors que le déficit [de la balance commerciale] devient abyssal [...]. Dans ce contexte, la présence des leaders français dans le top mondial des firmes agroalimentaires est certes très utile en termes d'effets indirects sur l'emploi national, d'image (marques mondiales) et de fiscalité [...] mais insuffisante pour doper les exportations. Ces géants sont déjà à leur maximum dans ce registre et se développent par croissance externe dans les pays émergents. L'effort d'internationalisation doit donc porter sur les PME, et notamment les ETI [entreprises de taille intermédiaire] » (Rastoin, 2012, p. 235). Celles-ci permettent aussi de substituer aux coûteuses importations la valorisation optimum de la production locale, avec comme objectif premier la reconquête du marché intérieur. Même s'« il ne sera jamais possible de réduire certaines importations (on pense aux produits tropicaux : fruits, café, thé, cacao, etc.) [...] de nombreuses pistes existent qui, elles aussi, appellent des innovations de rupture (culturelles cette fois-ci) et un élan stratégique » (Rastoin, 2012, p. 236).

Dans ce contexte, les consommateurs les plus informés se fondent en association pour viser les industries agro-alimentaires et dénoncer leurs pratiques économiques et sociales peu favorables à l'emploi local et leur faible respect de l'environnement. La société civile a donc recours à des appels au boycott (dont les effets sont faibles vu les moyens infimes dont disposent les consommateurs pour se tourner vers des alternatives plus vertueuses) et des recours collectifs en justice. La réponse du secteur agroindustriel relève de plusieurs domaines : les entreprises vont à l'affrontement judiciaire avec de lourds moyens financiers permis par la mobilisation de capitaux internationaux ou elles changent leurs stratégies commerciales et leur attitude vis-à-vis de l'environnement en abandonnant les choix dénoncés s'ils sont suffisamment soutenus par les consommateurs. Le changement devient alors un argument marketing pour l'entreprise qui peut se targuer d'être à l'écoute de ses clients pour améliorer ses pratiques (Laisney, 2012). Mais l'éventuelle multiplication des alternatives à ces logiques est peu pérenne dans la mesure où « les divisions internes qui [les] affaiblissent [et] les initiatives non coordonnées dont [elles résultent], le tout aggravé par un manque de moyens financiers et humains et des législations nationales généralement peu favorables, entravent son développement » (Rastoin, 2012, p. 224).

Le climat économique délétère s'intensifie, la faible croissance, voire une récession conduit à un accroissement **des inégalités entre les groupes sociaux dans les pratiques de consommation**. Le chômage touche en premier lieu les emplois des classes populaires et cela se traduit dans une différenciation accrue des offres de restauration hors domicile et d'approvisionnement domestique. D'une part, la déstructuration des temps de travail (chômage et temps partiels courants) fait que la restauration se divise entre une offre de luxe et la multiplication des enseignes de restauration rapide bon marché ; la première fondée sur des denrées produites sur place ou importées et à haute valeur ajoutée, la seconde alimentée par des produits transformés, en provenance des régions (nationales ou mondiales) d'où il revient peu cher d'importer en masse. D'autre part, la grande distribution investit dans des formats différenciés, favorisant l'essor en volumes vendus des

³⁵ Réflexions issues de la consultation des étudiants du master Transport et Mobilités de l'École d'Urbanisme de Paris (février 2017).

discounters, et celui en valeur des grandes surfaces vendant des produits de qualité. Cela se traduit dans le budget des ménages les plus aisés dont la part alimentaire diminue moins vite que celle que les ménages les plus pauvres lui consacrent. En effet, les ménages les plus fortunés rognent d'abord sur les autres dépenses puisque l'alimentation devient un signe distinctif et y consacrer de l'argent – et du temps – est un luxe. Ainsi, le succès des circuits courts commercialisant des produits bruts est en berne :

« Oui les gens faut qu'ils sachent, leurs paniers ça revient cher ! Si les gens calculaient vraiment [...]. Moi je regarde les prix, les cours, ils se foutent de la gueule du monde [...]. Ben s'ils veulent faire ça tant mieux pour eux. C'est très bien je ne critique pas c'est un petit circuit [...]. Non c'est très bien pour les gens qui veulent acheter un panier sans savoir vraiment quoi faire ils ont leur légumes pour la semaine. Mais est ce que les gens mangent encore des légumes ? Aujourd'hui les gens consomment de moins en moins de légumes. C'est une minorité qui achète des paniers comme ça » (Entretien n° 5).

Si les politiques nutritionnelles sont peu efficaces, si les initiatives alternatives au régime dominant demeurent trop peu structurées pour transformer le système alimentaire, les exigences des consommateurs restent constantes (Chambres d'agriculture de Normandie, 2006). Les repas pris à l'extérieur augmentent tandis que la part consacrée à l'alimentation diminue dans le budget des ménages. Les Normands consomment des produits toujours plus transformés, mais davantage de fruits et légumes et de fromages, et moins de corps gras d'origine animale, de viandes de bovidés et d'alcool (les campagnes de sensibilisation diététiques entrent peu à peu mais difficilement dans les habitudes alimentaires). Cela se traduit par une hausse des consommations en restauration rapide, de l'hégémonie de la grande distribution et du succès accru des discounters. Les petites industries agroalimentaires régionales se spécialisent vers les produits dont la consommation est en hausse : les produits de quatrième gamme et les plats préparés. Les écarts les plus importants à l'évolution tendancielle se situent dans la forte diminution des produits bruts ainsi que dans l'augmentation notable pour les classes les moins favorisées des consommations de sucres et d'huiles végétales, en dépit des campagnes de sensibilisation (Chambres d'agriculture de Normandie, 2006). En particulier, les produits carnés sont délaissés par les consommateurs à l'exception de la volaille dont le prix final reste abordable pour tous, ainsi que le soulignent les efforts consentis par les abatteurs et grossistes :

« On sent qu'on est passé sur des viandes blanches pas chères (volaille et porc) et donc on mange moins de viande rouge. C'est pour ça [qu'on diversifie notre offre et] qu'on vend quatre types de viandes » (Entretien n° 19).

La ration calorique augmente alors que l'activité sédentaire (motorisation due à l'urbanisation diffuse, tertiarisation de l'économie et précarisation de l'emploi salarié) voire l'inactivité se développe – la prévalence de l'obésité s'en ressent. Les consommateurs ne sont pas encouragés à un changement alimentaire diététique, éthique ou favorable à l'environnement : dans ce contexte de morosité économique, « les motivations individuelles, et principalement économiques, des consommateurs ne doivent pas être oubliées ; une communication fondée uniquement sur une argumentation écologique ou sociale pourrait décourager certains consommateurs se sentant sur-responsabilisés sur ces questions de société » (Sireix, 2012, p. 137). Il en résulte une typologie duale mais marquée par un désinvestissement des consommateurs³⁶ : les ménages les moins favorisés sont « résignés » et peu impliqués dans leurs choix alimentaires, préférant les hypermarchés et les discounters pour aller au moins cher, tandis que les classes moyennes et supérieures sont « désinvesties » et se contentent de l'offre alimentaire la plus pratique (plats préparés des traiteurs et vendus par les *convenience stores*).

³⁶ cf. note n° 8.

À l'issue de ce scénario, le système alimentaire apparaît fragmenté socialement et cela se ressent sur la sphère de la consommation et privatisé (la production et la transformation agro-industrielle sont guidées par des logiques concurrentielles) y compris dans des domaines jusqu'alors dévolus à une gouvernance partenariale, si ce n'est totalement publique (dans le secteur des transports en particulier).

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date : 31 mars 2017

La chaîne GRAFS-Seneque-Riverstrahler 3.7 pour la modélisation des transferts de nutriments du bassin versant à l'exutoire du réseau hydrographique

Gilles Billen, Antsiva Ramarson, Josette Garnier, Julia Le Noë

¹UMR Metis, UPMC/CNRS.

1 La problématique de la cascade des nutriments et les défis de sa modélisation

On désigne par cascade des nutriments, la chaîne des transferts et transformations initiée par les pertes environnementales de nutriments issues de l'agriculture et des activités urbaines. La [figure 1](#) en présente un schéma conceptuel centré sur les transferts d'azote dans le continuum bassin versant-réseau hydrographique.

Les pertes de l'agriculture vers l'hydrosystème peuvent être bien caractérisées par le bilan des entrées d'azote et de phosphore (apports fertilisants aux sols) et des sorties (exportation par la récolte). En ce qui concerne l'azote, le surplus de ce bilan est en partie lixivié sous forme de nitrates, conférant des concentrations élevées aux eaux sous-racinaires qui rechargent les aquifères et s'écoulent en sub-surface. Les flux hydriques issus du bassin versant, sauf lorsqu'ils sont convoyés par des drains artificiels à écoulement rapide, traversent éventuellement des zones humides, le plus souvent en bordure des cours d'eau, dans lesquelles a lieu une importante dénitrification qui réduit leur concentration en nitrates avant même que ces flux n'atteignent les eaux de surface. Enfin dans le réseau hydrologique, le processus de dénitrification benthique élimine lui aussi une part des nitrates transférés, y compris ceux en provenance directe des rejets ponctuels urbains. En ce qui concerne le phosphore, beaucoup moins mobile, parce que retenu sur les particules argileuses ou carbonatées des sols, le surplus s'accumule dans le sol, et seuls les processus d'érosion concourent à son transfert vers le réseau hydrographique. La source principale de phosphore aux rivières a donc longtemps été les effluents urbains, avant la généralisation récente du traitement du phosphore en station d'épuration.

On sait depuis longtemps que les processus de rétention intéressent une fraction très significative de la pollution diffuse et ponctuelle en azote et en phosphore ([Howarth et al., 1996](#) ; [Billen et al., 2000](#)). La modélisation en reste néanmoins incertaine.

Selon leur résolution spatiale (donc la taille des objets qu'ils appréhendent), selon leur résolution temporelle, et selon leur pouvoir explicatif, on peut distinguer différentes approches de modélisation de la cascade des nutriments.

Les modèles, comme Nitroscape, TNT2 ou CASIMOD'N ([Salmon-Monviola et al., 2012](#) ; [Duret et al., 2011](#) ; [Moreau et al., 2013](#)), sont basés sur une description quasi exhaustive du paysage et sur une modélisation entièrement déterministe des processus couplés hydrologiques et biogéochimiques. Pour ces

modèles la rétention du paysage est calculée, maille par maille, sans calage : dénitrification, prélèvement par les plantes, les arbres, stockage dans la MO du sol. On peut calculer la rétention du paysage par la somme de l'intensité des processus simulés. Mais la nécessité de définir les contraintes de manière exhaustive limite l'application de ces modèles à des espaces de quelques dizaines de km².

A l'autre extrême figure la démarche NANI/NAPI (Howarth et al., 1996). Dans cette démarche, l'ensemble des processus de transfert d'azote dans un BV est réduit à une boîte noire avec des entrées (engrais de synthèse, dépôts atmosphériques, fixation d'azote atmosphérique, imports nets de denrées agricoles) et une sortie, l'exportation à l'exutoire du bassin versant. L'approche consiste en un simple bilan entrées-sortie qui met en évidence une rétention, définie comme la part des apports au bassin versant qui n'est pas exportée par la rivière. Cette rétention, qui représente typiquement 40 à 80% des apports de nutriments, a pu être reliée empiriquement au débit spécifique et à la température (Howarth et al., 1996, 2006 ; Billen et al., 2010 2005,2006), sans que la nature des processus en cause (dénitrification, volatilisation non redéposée, stockage dans la biomasse, le sol ou les sédiments) ne puisse être identifiée.

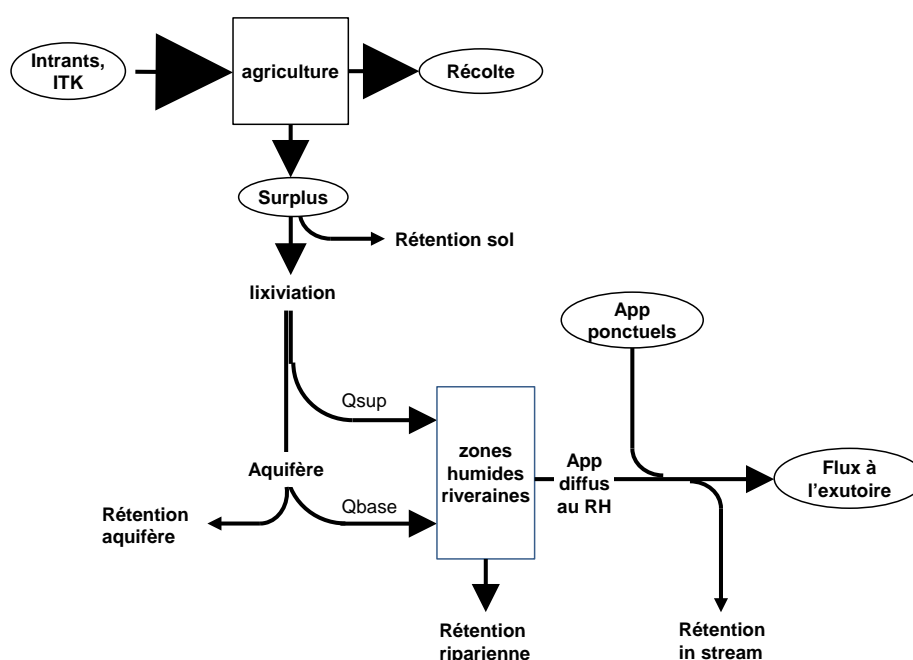


Figure 1 : Schéma conceptuel de la cascade de l'azote dans un bassin versant et son réseau hydrographique, décomposant les différents sites de 'rétention' par rapport à l'exportation à l'exutoire fluvial.

L'approche des modèles Sparrow (Alexandre et al., 2001; Smith et al., 2007), Green (Grizzetti et al., 2005, 2006) ou Nutting (Dupas et al., 2013; 2015) est déjà un peu plus explicative. Elle distingue dans les processus de rétention ceux qui se déroulent dans la partie terrestre du bassin (et qui ne s'appliquent qu'aux apports diffus, définis par le surplus des sols agricoles) de ceux qui se déroulent dans la rivière (et qui s'appliquent à la fois aux apports diffus et aux apports ponctuels). Les deux types de rétention sont paramétrés en fonction de caractéristiques hydrologiques et paysagères du bassin versant et du réseau hydrographique et calés sur la base de mesures de flux exportés annuellement à l'exutoire d'une série de bassins versant. Les résultats montrent en général la prépondérance des processus de rétention terrestres par rapport aux processus in-stream.

Les approches SWAT (Neitsch et al., 2005) et Seneque/Riverstrahler (Billen et al., 1994; Garnier et al., 2002 ; Ruelland et al., 2007) ont en commun une représentation spatiale distribuée du réseau hydrographique, une résolution temporelle journalière ou décadaire et une représentation mécaniste des

processus de rivière. Ces deux modèles sont alimentés en amont par un modèle semi-distribué 0D des transferts d'azote dans le sol, et reposent sur une hypothèse d'additivité des contributions de chaque unité de modélisation terrestre. Ils sont donc intermédiaires en termes de résolution spatiale et de pouvoir explicatif entre les modèles de paysage et les modèles type Nutting ou NANI/NAPI.

Le présent rapport détaille les nouveaux développements qui font du modèle Riverstrahler, dans son couplage avec l'approche GRAFS, un outil particulièrement utile pour l'étude de la cascade des nutriments dans des bassins de l'ordre de 100 à 600000 km² qui caractérisent le domaine d'étude du projet RESET, et pour la modélisation de scénarios alternatifs de l'organisation de la chaîne agro-alimentaire dans ces bassins.

2 L'architecture générale du modèle GRAFS-RIVERSTRALER

L'approche GRAFS est basée sur un bilan détaillé des flux impliqués dans la production, la transformation et la consommation de produits animaux et végétaux dans un territoire, ainsi que des fuites de nutriments associées vers l'environnement (Figure 2). En formalisant les relations entre ces flux, elle permet d'établir un lien direct entre différents aspects du système hydro-agro-alimentaire, comme par exemple, le lien entre élevage, surfaces prairiales et cultures fourragères ; le lien entre régime alimentaire de la population, structure productive du territoire et échanges commerciaux ; le lien entre fertilisation des terres arables et des prairies et les pertes environnementales de nutriments.

Complété des connaissances acquises sur la relation surplus lessivage, ce modèle peut être directement couplé au modèle Riverstrahler qui permet alors le calcul des transferts de nutriments à travers l'hydrosystème et de la qualité des ressources hydriques (Figure 2).

Sensu Stricto, Riverstrahler ne décrit en effet que le fonctionnement biogéochimique du réseau hydrographique, et non celui du bassin versant. Les entrées au modèle Riverstrahler sont relatives aux apports directs vers les cours d'eau (apports ponctuels et diffus), et non à l'ensemble des apports au bassin versant (Figure 2). Ce n'est donc que grâce au couplage entre GRAFS et Riverstrahler qu'on peut disposer d'un modèle complet de bassin versant, reliant l'activité humaine (notamment agricole) à la qualité de l'eau et aux exports de nutriments vers la mer.

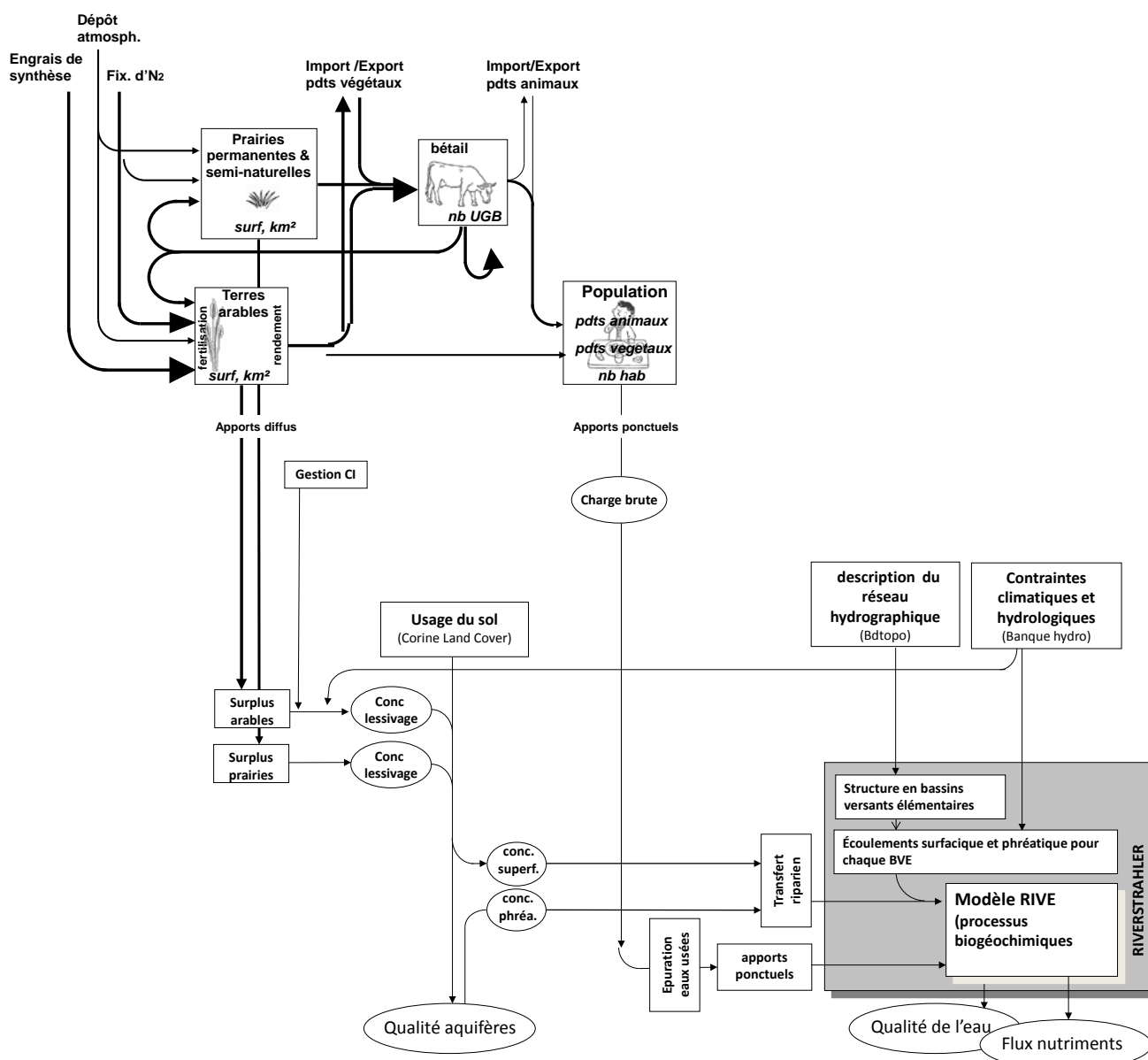


Figure 2 : Architecture générale de la suite GRAFS-SENEQUE/RIVERSTRAHLER.

3. La représentation GRAFS des flux de N, P et C dans les territoires

L'approche GRAFS consiste dans la représentation quantitative des flux de nutriments (C, N et P) entre 4 compartiments principaux constitutifs du système agro-alimentaire territorial : les terres arables, les prairies permanentes et semi-naturelles, le cheptel animal et la population. En formalisant les relations entre ces différents flux, la démarche permet d'établir un lien direct entre différents aspects du système hydro-agro-alimentaire, comme par exemple : le lien entre l'élevage, les surfaces prairiales et les cultures fourragères ; le lien entre régime alimentaire de la population, la structure productive du territoire et les échanges commerciaux ; le lien entre la fertilisation des terres arables et des prairies et les pertes environnementales de nutriments (Le Noë et al., 2017).

L'application de la méthode aux 33 territoires agricoles français tels que définis par Le Noë et al. (2016) a permis la construction d'une typologie des systèmes de production agricole en France. La typologie établie

comporte 5 types de régions agricoles qui se distinguent suivant des critères de spécialisation et d'intensivité de la production agricole (Figure 3).

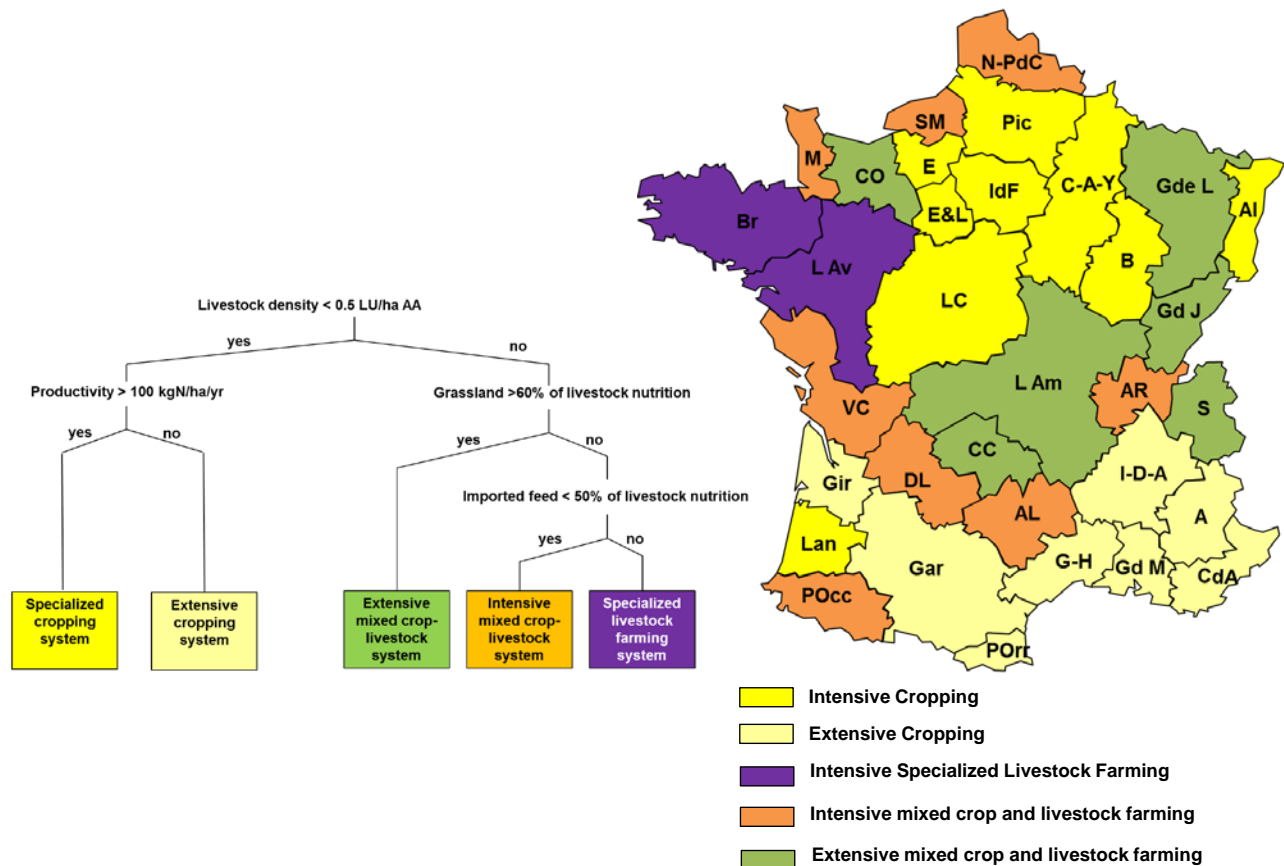


Figure 3 : Typologie du métabolisme territorial des régions agricoles françaises en 2006. (Le Noë et al., 2017)

Le surplus d’N annuel, calculé comme le bilan des apports et des sorties annuels d’N, quantifie l’excédent d’N apporté au sol qui n’est pas utilisé par les plantes (Figure 4). Plus les surplus N sont élevés plus l’efficacité d’utilisation de l’azote est faible. En raison de la grande mobilité de cet élément dans les sols, les surplus en N sont de bons indicateurs des pertes environnementales d’azote et de son lessivage en particulier.

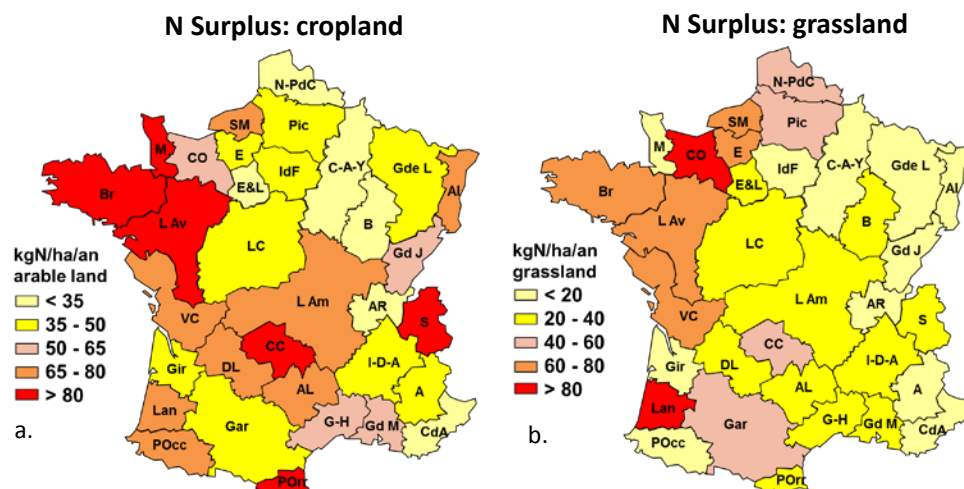


Figure 4 : Surplus d’azote des terres arables(a) et des prairies (b) des régions agricoles françaises en 2006 (Le Noë et al., 2017)

4. Prise en compte des apports diffus et de la rétention riparienne par Seneque

4.1. Les apports diffus

Riverstrahler prend en compte les **apports diffus** du bassin versant comme une condition limite amont : il a besoin que lui soit spécifiée la concentration à laquelle les deux composantes (superficielle et phréatique) du débit spécifique rejoignent le réseau hydrographique. Les apports diffus sont donc renseignés par la concentration moyenne par classe d'usage de sol des flux d'écoulement superficiel et phréatique qui en proviennent. Le nombre des classes d'usage du sol peut être aussi étendu que nécessaire pour prendre en compte la diversité des paysages agricoles d'un bassin versant régional. Typiquement, on distingue les forêts, les zones urbanisées, les prairies permanentes et les terres arables de différentes zones définies sur base de leur orientation agronomique. Au sein des terres arables, différentes classes correspondant à différents systèmes de cultures peuvent être distinguées. Un fichier de correspondance (*usol.clé*) doit alors être établi, qui renseigne systématiquement pour chacune des classes considérées, les concentrations en MES, carbone et nutriments, conférées aux eaux de lessivage par l'interaction eau-sol.

Ce fichier de correspondance peut être construit à partir de données empiriques, par exemple les résultats de mesures de concentrations sous-racinaires obtenues dans des suivis lysimétriques, des périmètres de drainage ou à l'aide de bougies poreuses, pour ce qui concerne les concentrations de la composante superficielle du débit, ou à partir de suivis de la qualité des eaux souterraines pour ce qui concerne les concentrations phréatiques.

Le fichier *usol.clé* peut aussi synthétiser les résultats de modèles agronomiques ou hydrogéologiques qui calculent explicitement, pour chaque classe d'usage du sol, les flux et les concentrations d'infiltration de nutriments, compte tenu des conditions pédo-climatiques locales et des pratiques agricoles. Dans la version actuelle de Sénèque, couplée à GRAFS, les concentrations nitriques des classes d'usage du sol le sont à partir du calcul des surplus azotés des terres arables et des prairies permanentes qui déterminent les apports diffus de nitrates vers l'hydrosystème (Figure 2).

4.2. La relation surplus lixiviation

Le surplus moyen sur la rotation ou sur l'assolement territorial (en kgN/ha/an) ne représente qu'un potentiel de lixiviation des nitrates.

Si une part importante (de l'ordre de 70%) du surplus est lessivée sur terres arables laissées nues pendant la saison de drainage hivernale, un couvert végétal implanté en automne réduit fortement cette fraction (Figure 5). Le calcul de la lixiviation à partir du surplus peut se faire en tenant compte des scores d'abattement de la lixiviation, établis pour chaque type d'interculture dans la rotation, sur base des données empiriques de Justes et al. (2014) rassemblées par Anglade (2015). La lixiviation se calcule comme :

$$\text{Lixiviation (kgN/ha/an)} = \text{ICA} * \text{Surplus (kgN/ha/an)}$$

L'ICA est construit à partir de la moyenne sur la rotation des scores d'abattement de lixiviation calculés pour les divers types d'interculture et rassemblés dans le tableau 1.

$$\text{ICA} = [1 - \text{moyenne(scores)}]$$

Enfin, la concentration de lixiviation se calcule à partir du flux de lixiviation considéré comme dilué dans la lame d'eau moyenne infiltrée, évaluée sur une longue période pour l'ensemble du bassin.

$$\text{Conc lixiviation (mgN/l)} = \text{Lixiviation (kgN/ha/an)} / \text{lame d'eau infiltrée (mm/an)} * 100$$

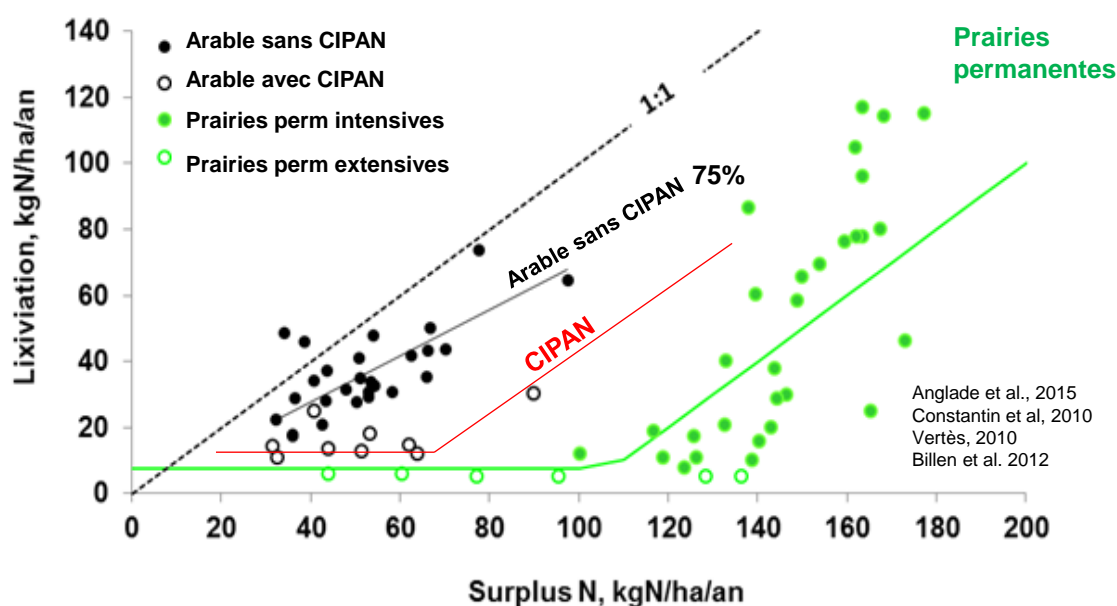


Figure 5. Relation Surplus-lessivage en terres arables et en prairies permanentes (d'après Anglade, 2015)

Tableau 1. Score d'abattement de la lixiviation en fonction du degré de couverture automnale et hivernale des sols proposés par Anglade (2015).

Type d'interculture	Score (abattement de la lixiviation)	Exemples d'interculture
Sol nu (cult de printemps sans CIPAN)	0	x-Orge p, x-Maïs, ...
Culture d'hiver	0.6	x-Blé, x-Colza, ...
Culture pérenne	0.7	Luzerne-Luzerne, Trèfle-Trèfle,...
CIPAN implantée tardivement	0.05	Maïs(grain)-*Maïs, Betterave-*Pois, ...
CIPAN implantée précocement	0.3	Maïs(fourr)-*Maïs, Tournesol-*Sorgho,...
CIPAN courte avant culture d'hiver	0.7	Blé-*Colza, Maïs-*Blé, Tournesol-*Blé,...

L'application de cette méthode permet de calculer les concentrations de lixiviation de chaque système de culture type, dont la moyenne permet de renseigner la concentration nitrique de chaque classe typologique de succession ou de chaque territoire agricole (*fichier usol.clé*).

La différence entre le surplus et les apports diffus calculés à partir des données d'écoulement et de concentration d'azote pour chaque classe d'usage du sol représente la 'rétention sol' du schéma de la Figure 1.

4.3. Un nouveau module de calcul de la rétention riparienne

On sait depuis longtemps (Vought et al, 1994 ; Hill et al, 2000; Billen et Garnier, 2000 ; Sebilo et al, 2003) qu'une fraction substantielle des nitrates issus des bassins versant est éliminée par dénitrification dans les

zones humides riveraines des cours d'eau, avant de rejoindre les eaux de surface (Figure 1). Ce processus de rétention riparienne correspond à la dénitrification dans les sols en condition de saturation en eau (Figure 3).

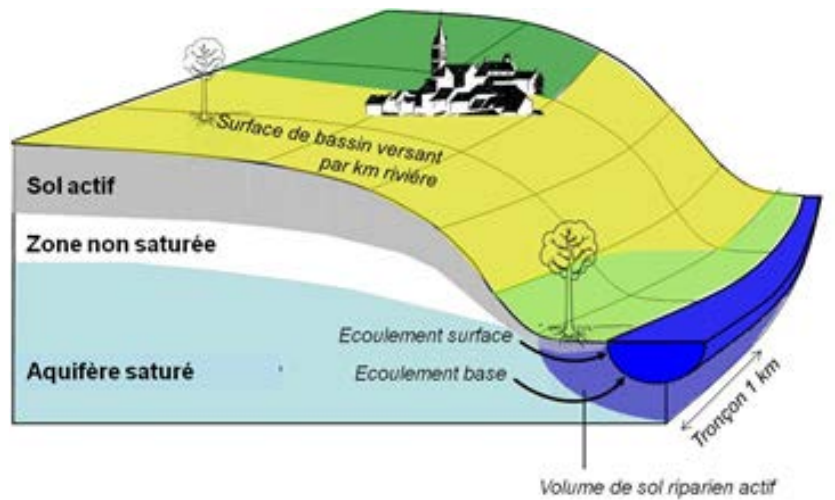


Figure 3. Schéma conceptuel de la dénitrification riparienne

Dans la version précédente de Seneque/Riverstrahler (3.6), la rétention riparienne était prise en compte à partir d'une typologie des zones riveraines de tout le réseau hydrographique, la correspondance étant établie dans un fichier paramètre *zori.cle*. A chaque type de zone humide dans chaque bassin versant élémentaire était associée une rétention, exprimée comme une fraction constante d'abattement de la concentration en nitrate du flux d'écoulement, superficiel et phréatique, issu du bassin. La fraction totale était la moyenne pondérée par les surfaces de chaque type de zone. La fraction était en outre dépendante de la température, selon une relation calée par ajustement des résultats du modèle sur les observations.

Dans une nouvelle version de Sénèque Riverstrahler, nous avons introduit une formulation plus mécaniste de la rétention, qui donne un sens concret à la fraction de rétention caractérisant la formulation antérieure.

Dans chaque bassin versant élémentaire, la rétention riparienne dépend du potentiel de dénitrification des sols qui constituent les zones humides (le plus souvent, mais pas forcément, riveraines), en regard de l'importance des flux de nitrates qui leur parviennent :

$$\text{Rétention} = (\text{Capacité de dénitrification des zhr}) / (\text{Flux d'apport de nitrates}) \quad (\text{avec rétention} \leq 1)$$

La capacité de dénitrification peut s'écrire comme une fonction de l'extension en volume des zones humides et du potentiel de dénitrification des sols qui les constituent :

$$\text{capacité de dénitrification (gN/km}^2\text{bv/h)} = \text{surf zhr} \times 10^6 \times \text{prof} \times \text{denpot20}^\circ\text{C} \times \text{fct température}$$

où surf zhr est la surface de zone humide active en km² par km² de bassin versant, et prof, la profondeur moyenne (m) active en dénitrification (on considère que la dénitrification est concentrée dans les 30 premiers cm du profil de sol) ; denpot20°C est le potentiel de dénitrification des sols de la zone humide (en gN/m³/h).

Le flux d'apport de nitrates par unité de surface de bassin versant peut s'écrire comme :

$$\text{flux d'apport de nitrates (gN/km}^2\text{bv/h)} = \text{Ecou} \times \text{concNO}_3 \times 3600/1000$$

où Ecou est l'écoulement spécifique (l/s/km²) et concNO₃ la concentration sous-racinaire (en mgN/l)

Le flux spécifique rejoignant effectivement le réseau hydrographique est alors donné, à chaque pas de temps, par la différence entre la capacité de dénitrification de la zone humide et le flux total d'azote qui la traverse.

Comme le drainage artificiel court-circuite les zones humides ripariennes, le flux de nitrates associés aux flux drainés doit être retranché de ce calcul. On considère qu'il rejoint le réseau hydrographique sans rétention.

L'extension des zones humides par bassin versant élémentaire est définie à partir de la couche des zones humides potentielles établie à l'échelle nationale (INRA Infosol - AgroCampus Ouest, 2010). Il s'agit essentiellement de l'indice topographique qui permet, à partir d'un modèle numérique de terrain, de définir les zones d'accumulation hydrologiques à partir de la pente locale et de l'importance du bassin versant amont. Ces données sont confrontées, là où cette information est disponible, à la nature plus ou moins hydromorphe des sols. La couche propose donc une cartographie de zones humides potentielles à plus ou moins forte probabilité. Le croisement de cette couche avec celle de l'usage du sol (CORINE Land Cover) nous permet de définir comme zones humides actives les zones humides à forte probabilité occupées par des prairies ou des milieux forestiers (Figure 6). Les zones de terres arables en milieu potentiellement humide sont donc considérées comme non actives pour la dénitrification riparienne, mais pourraient le devenir par reboisement ou mise en herbe.

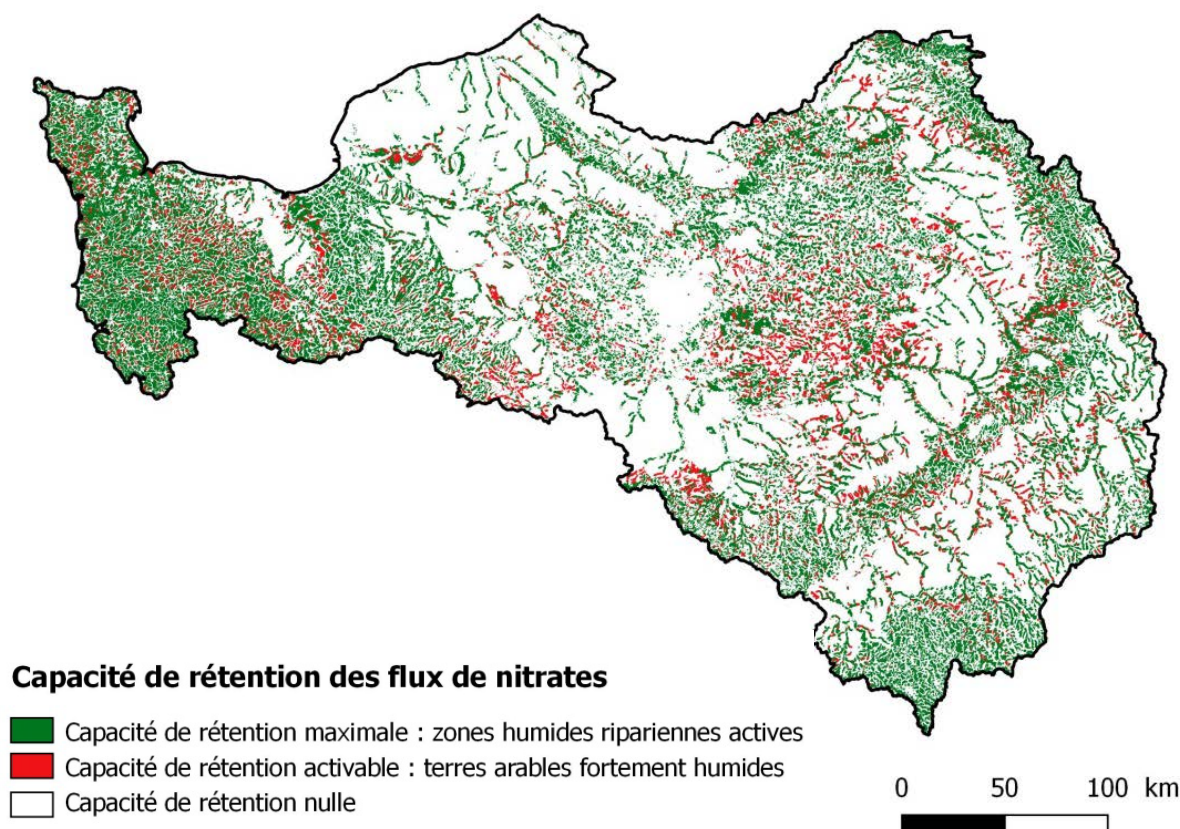


Figure 6. Zones humides potentielles actives (boisées ou en herbe) dans le bassin Seine-Normandie, et zones humides en terres arables, considérées comme inactives mais pouvant le redevenir par boisement ou mise en herbe.

Compte tenu de la variabilité et de l'incertitude associée à la définition de la dénitrification potentielle, le potentiel de dénitrification utilisé dans Seneque/Riverstrahler doit être considéré comme un paramètre à ajuster, dont une valeur de référence est de $0.1 \text{ mmol/m}^3/\text{h}$. La relation à la température, semble beaucoup plus robuste, avec les paramètres : $T_{\text{opt}} : 45^\circ\text{C}$; $d_{\text{ti}} : 24^\circ\text{C}$

5. Validation de la chaine GRAFS-SENEQUE 3.7 sur bassin de la Seine

5.1. Applications à l'échelle de petits territoires

Dans le bassin du Grand Morin (1200 km²), une typologie spatialisée des principales rotations culturales a été établie (Figure 7a), et les itinéraires techniques associés ont été renseignés, permettant de calculer les concentrations sous-racinaires correspondantes (Figure. 7b).

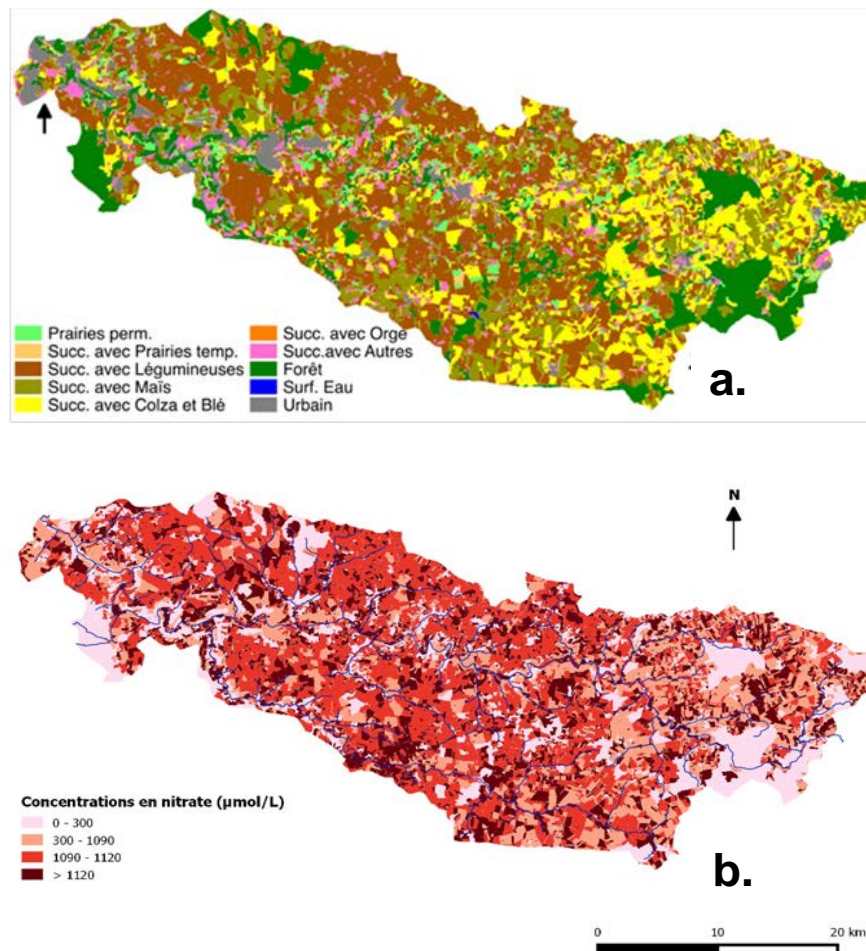


Figure 7. a. Typologie des successions de cultures et usages du sol dans le bassin versant du Grand Morin (source : [Lazrak, 2015](#)) b. Concentrations sous racinaires associées

Les zones humides ont été cartographiées selon leur occupation du sol (Figure 8a). Seules les zones potentiellement humides à forte ou très forte probabilité occupées par des zones boisées (forêt, ripisylve) ou de prairies ont été considérées comme actives en dénitrification. Les zones fortement humides en terres arables ne sont pas considérées comme actives pour la dénitrification, mais pourraient le redevenir dans un scénario de reboisement ou de mise en herbe. La présence de drainage artificiel a également été prise en compte (Figure 8b).

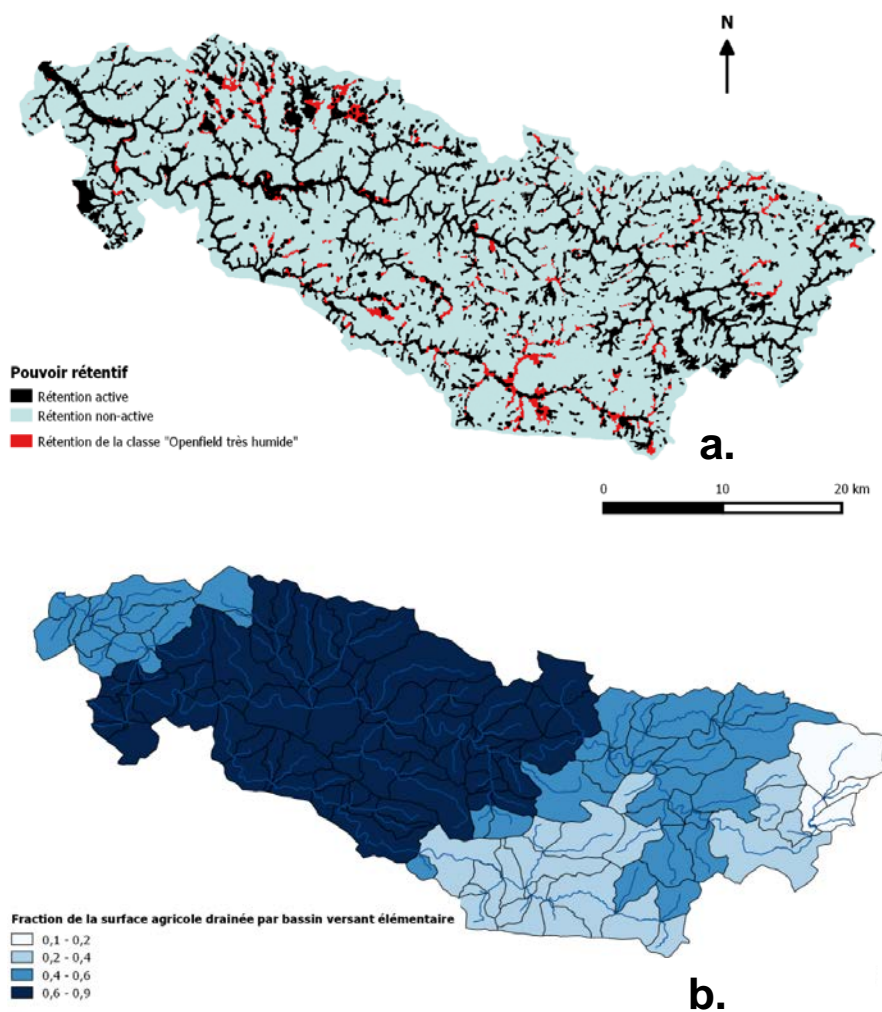


Figure 8. *a. Typologie des zones humides et de leur occupation des sols. b. Zones humides considérées comme active pour la dénitrification (potentiellement humides à forte probabilité, boisées et prairiales) (en noir) ; zones humides à forte probabilité en terres arables, considérées comme non actives pour le dénitrification riparienne, mais qui pourraient le redevenir par reboisement ou mise en herbe). c. % de la SAU concerné par le drainage artificiel (données RGA 2010).*

La simulation des concentrations en nitrates en différentes stations du bassin rendent bien compte, à la fois du niveau général hivernal et des variations saisonnières (Figure 9).

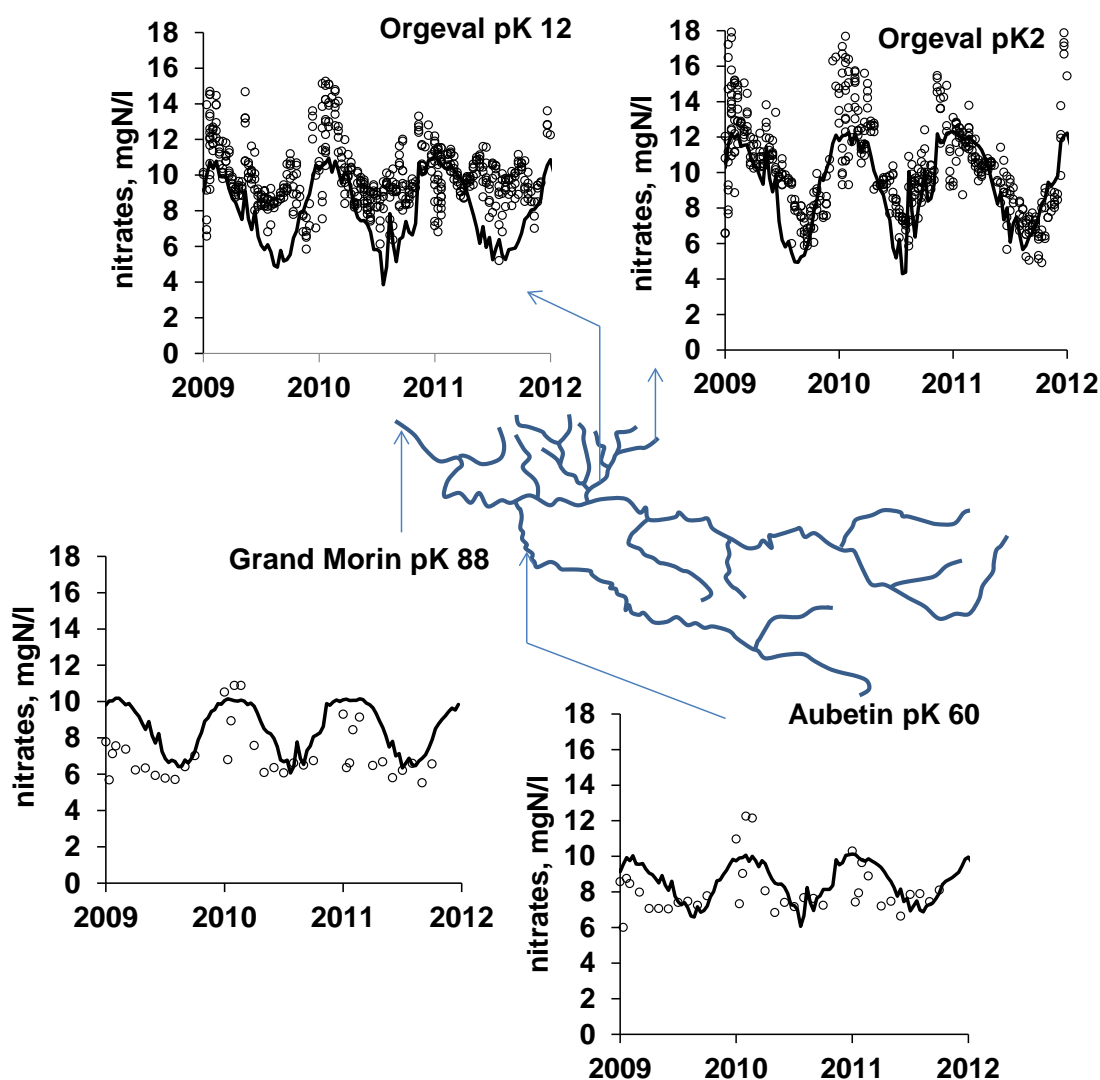


Figure 9. Simulation des concentrations en nitrates en différentes stations du bassin du Grand Morin avec une dénitrification potentielle de $0.13 \text{ mmol/m}^3/\text{h}$

5.2. Application à l'échelle Seine-Normandie

Le bilan GRAFS-N de la France, découpée en 33 régions agricoles homogènes, permet de définir pour les terres arables et les prairies de ces 33 régions, et en particulier des douze d'entre elles concernées par le bassin Seine-Normandie, les surplus (Figure 4) et concentrations moyennes de lixiviation correspondantes. Notons que ces concentrations représentent les concentrations de recharge des aquifères sous-jacents aux zones agricoles.

Ces concentrations ont servi de données d'entrée pour définir les apports diffus dans le modèle Seneque/Riverstrahler 3.7. Une valeur unique de dénitrification potentielle des zones humides riveraines fixée à $0.1 \text{ mmol/m}^3/\text{h}$ a été utilisée pour définir la rétention riparienne des zones actives représentées dans la figure 4 ci-dessus.

Les résultats (Fig. 10) montrent que le modèle est capable de simuler très correctement à la fois le niveau maximum hivernal des concentrations en nitrates et ses variations saisonnières caractérisées par des creux estivaux plus ou moins marqués selon les stations du réseau hydrographique.

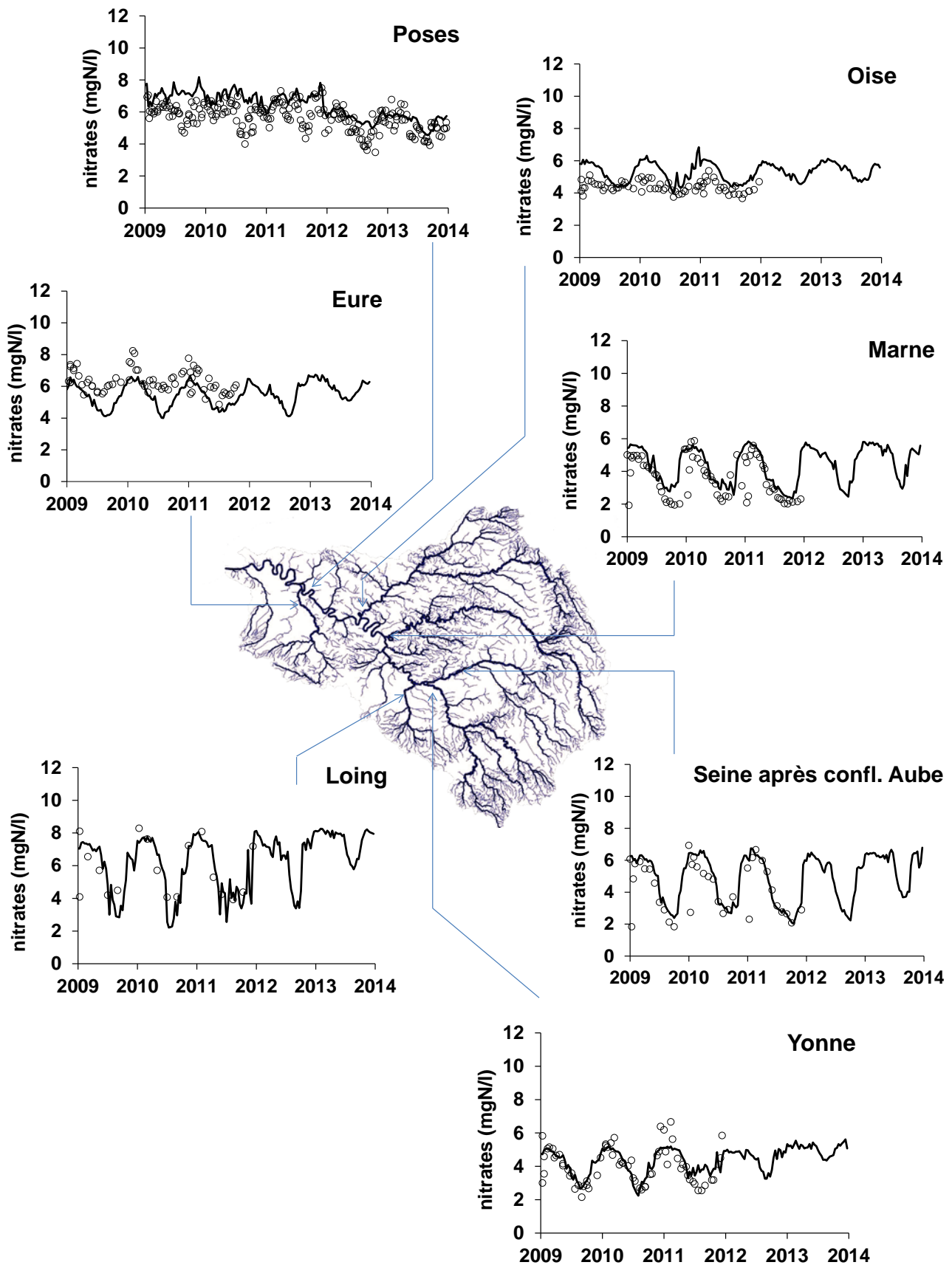


Figure 10. Variations saisonnières et interannuelles de la concentration en nitrates en diverses stations du réseau hydrographique de la Seine observées et simulées par la suite GRAFS- Senegue/Riverstrahler 3.7. en utilisant une valeur de dénitrification potentielle de $0.1 \text{ mmol/m}^3/\text{h}$.

6. Conclusion

La chaîne de modélisation GRAFS- Seneque/Riverstrahler permet désormais de simuler les transferts de nutriments à travers le continuum terre-hydrosystème pour une configuration donnée du système hydro-agro-alimentaire d'un territoire, ou d'un ensemble de territoire. La démarche repose d'abord sur une description précise de la situation actuelle à partir d'un ensemble de données statistiques sur l'agriculture et la consommation et sur une validation à partir des données d'observation de la qualité de l'eau. Elle ouvre alors la voie à la construction de scénarios qui permettent de prolonger des tendances évolutives du système et de les projeter jusqu'au bout de leur logique. La modélisation permet d'en calculer les conséquences en termes de structure du système agro-alimentaire et de qualité environnementale. Le couplage possible de la suite de modèles ici décrite avec un modèle du fonctionnement des zones estuariennes et marines permet de prolonger le domaine de modélisation vers l'aval pour prendre en compte notamment les processus d'eutrophisation marine côtière.

Références

- Alexander RB, Smith RA, Schwarz GE, Preston, SD, Brakebill, J.W., Srinivasan R, Pacheco PA. (2001) Atmospheric nitrogen flux from the watersheds of major estuaries of the United States: An application of the SPARROW watershed model. In: Valigura R, Alexander R, Castro M, Meyers T, Paerl H, Stacey P & Turner RE (Eds) Nitrogen Loading in Coastal Water Bodies: An Atmospheric Perspective, American Geophysical Union Monograph 57, pp 119–170
- Ambus P (1993), Control of denitrification enzyme activity in a streamside soil, Federation of European Microbiological Societies, 102 (1993) 225-234.
- Anglade, J., Billen, G. & Garnier, J. (2015). Relationships for estimating N₂ fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. *Ecosphere* (3):37.
- Beaujouan, V., Durand, P., Ruiz, L., Aurosseau, P., Cotteret, G., 2002. A hydrological model dedicated to topography-based simulation of nitrogen transfer and transformation: rationale and application to the geomorphology-denitrification relationship. *Hydrological Processes* 16, 493-507. DOI: 10.1002/hyp.327
- Benoit M, . Garnier J, Billen G. (2014), Temperature dependence of nitrous oxide production of a luvisolic soil in batch experiments, *Process Biochemistry*, 79-85.
- Bernard-Jannin L, Sun X, Teissier S, Sauvage S, Sánchez-Pérez JM (2015.) Spatio-temporal analysis of factors controlling nitrate dynamics and potential denitrification hot spots and hot moments in groundwater of an alluvial floodplain, *Ecological Engineering*, ISSN 0925-8574.
- Billen, G., Garnier, J. & Hanset, P., 1994. Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: The RIVERSTRAHLER model applied to the Seine river system. *Hydrobiologia* 289: 119-137.
- Billen, G. & Garnier, J. (2000). Nitrogen transfer through the Seine drainage network: a budget based on the application of the RIVERSTRAHLER Model. *Hydrobiologia* 410: 139-150.
- Billen, G., A. Beusen, L. Bouwman, and J. Garnier (2010), Anthropogenic nitrogen autotrophy and heterotrophy of the world's watersheds: Past, present, and future trends, *Global Biogeochem. Cycles*, 24, GB0A11, doi:10.1029/2009GB003702.
- Curie F, Gaillard S, Ducharne A, Benjoudi H (2007) Geomorphological methods to characterize wetlands at the scale of the Seine watershed. *Science of the Total Environment* 375:59-68.
- Dupas, R., Curie, F., Gascuel-Oudoux, C., Moatar, F., Delmas, M., Parnaudéau, V., & Durand, P. (2013). Assessing N emissions in surface water at the national level: Comparison of country-wide vs. regionalized models. *Science of the Total Environment*, 443, 152-162.

- Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J. M., Garnier, J., Moatar, F., & Gascuel-Oudou, C. (2015). Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Ecological Indicators*, 48, 396-407.
- Duretz, S., Drouet, J.L., Durand, P., Hutchings, N.J., Theobald, M.R., Salmon-Monviola, J., Dragosits, U., Maury, O., Sutton, M.A., Cellier, P., 2011. NitroScape: A model to integrate nitrogen transfers and transformations in rural landscapes. *Environmental Pollution* 159, 3162-3170. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.05.005
- Grizzetti B & Bouraoui, F (2006). Assessment of Nitrogen and Phosphorus Environmental Pressure at European Scale. Institute for Environment and Sustainability. EC JRC, Ispra.66pp. EUR 22526 EN
- Grizzetti, B.; Bouraoui, F.; de Marsily, G.; Bidoglio, G. (2005) A statistical approach to estimate nitrogen sectorial contribution to total load. *Water Science and Technology* 51(3-4), 83-90.
- Grizzetti, B.; Bouraoui, F.; de Marsily, G.; Bidoglio, G. (2005) A statistical method for source apportionment of riverine nitrogen loads. *Journal of Hydrology* 304, 302-315.
- Henault C, Germon JC (2000). NEMIS, a predictive model of denitrification on the field scale. *European Journal of Soil Science*, 51: 257–270.
- Hill, AR, Shabaga, JA. (2010). Groundwater-fed surface flow path hydrodynamics and nitrate removal in three riparian zones in southern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology* 388, 52 – 64.
- Howarth R.W., Billen G, Swaney D., Townsend A., Jaworski N., Lajtha K., Downing J.A., Elmgren R., Caraco N., Jordan T., Berendse F., Freney J., Kudeyarov V., Murdoch P., and Zhao-liang Z. (1996). Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic ocean: natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-139.
- Howarth RW, Boyer EW, Marino R et al (2006). The influence of climate on average N exports from large watersheds in the Northeastern US. *Biogeochemistry* 79, 163-186.
- Kröger R, Scott JT, Prince Czarnecki JM (2014), Denitrification potential of low-grade weirs and agricultural drainage ditch sediments in the Lower Mississippi Alluvial Valley, *Ecological Engineering* 73:168-175.
- Le Noë J, Billen G, Garnier J (2017). How the structure of agro-food systems shapes nitrogen, phosphorus, and carbon fluxes: the Generalized Representation of Agro-Food System applied at the regional scale in France. *Science of the Total Environment* 586: 42–55.
- Liu W, Xiong Z, H. Liu, Q. Zhang Q, G. Liu G (2015) Catchment agriculture and local environment affecting the soil denitrification potential and nitrous oxide, production of riparian zones in the Han River Basin, China, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216 (2016) 147-154.
- Moreau, P., Ruiz, L., Vertès, F., Baratte, C., Delaby, L., Faverdin, P., Gascuel-Oudou, C., Piquemal, B., Ramat, E., Salmon-Monviola, J., 2013. CASIMOD’N: An agro-hydrological distributed model of catchment-scale nitrogen dynamics integrating farming system decisions. *Agricultural Systems* 118, 41-51. DOI: 10.1016/j.agsy.2013.02.007
- Murray RE, Parsons LL, Smith MS (1989). Kinetics of Nitrate Utilization by Mixed Populations of Denitrifying Bacteria. *Applied Environmental Microbiology* 1989:717-721.
- Neitsch, SL, Arnold, JG, Kiniry, JR, Williams, JR. (2005) SWAT Theoretical Documentation. [www:bcr.tamus.edu/swat/](http://www.bcr.tamus.edu/swat/)
- Oehler F, Durand P, Bordenave P, Saadi Z, Salmon-Monviola J (2009). Modelling denitrification at the catchment scale *Science of the Total Environment* 407:1726-1737.
- Pell M, Stenberg B, Stenström J, Tortensson L. (1996) Potential denitrification activity assay in soil with or without chloramphenicol? *Soil Biol Biochem* 28: 393-398.

- Rivett MO, Buss SR, Morgan P, Smith WN, Bemment CD (2008). Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes. *Water Research* 42: 4215- 4232.
- Ruelland, D., Billen, G., Brunstein, D. & Garnier, J. (2007) SENEQUE: a multi-scaled GIS interface to the RIVERSTRAHLER model of the biogeochemical functioning of river systems. *The Science of the Total Environment*. 375 : 257–273
- Salmon-Monviola, J., Durand, P., Ferchaud, F., Oehler, F., Sorel, L., 2012. Modelling spatial dynamics of cropping systems to assess agricultural practices at the catchment scale. *Computers and Electronics in Agriculture* 81, 1-13. DOI: 10.1016/j.compag.2011.10.020
- Sebilo, M., Billen, G., Grably, M., Mariotti, A. (2003). Isotopic composition of nitrate-nitrogen as a marker of riparian and benthic denitrification at the scale of the whole Seine River system. *Biogeochemistry*, 63: 35-51.
- Smith RA, Schwarz GE, Alexander RB (2007). Regional interpretation of water-quality monitoring data. *Water Resources Research* 33:2781-2798.
- Tiedje JM. Denitrification. In: Page AL, editor. *Methods of soil analysis*, part 2; 1982. p. 1011–26.
- Vilain G, Garnier J, Decuq C, Lugnot M (2014) Nitrous oxide production from soil experiments: denitrification prevails over nitrification, , *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 47 (2011) 6-13.
- Vilain G, Garnier J, Roose-Amsaleg C, Laville P. (2011), Potential of denitrification and nitrous oxide production from agricultural soil profiles (Seine Basin, France), *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 92:35-50.
- Wu X, Liu G, Butterbach-Bahl K, Fu B, Zheng X, Brüggemann N (2013), Effects of land cover and soil properties on denitrification potential in soils of two semi-arid grasslands in Inner Mongolia, China, *Journal of Arid Environments*, 92 (2013) 98 – 101.



Annexe 10 Rapport final Seine-Aval 5

(50 pages maximum)

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Titre: Évolution de la qualité de l'eau dans l'estuaire et la partie basse du bassin de la Seine

Auteurs: Estela Romero¹, Josette Garnier¹, Gilles Billen¹, Romain Le Gendre², Cédric Fisson³, Marie Silvestre¹, Philippe Riou²

¹UMR Metis, UPMC/CNRS, Paris

²IFREMER LERN, Port en Bessin

³GIP Seine-Aval, Rouen

**L'analyse de ces données a fait l'objet d'une publication scientifique (Romero et al., 2016).*

1. Introduction et objectifs

La Seine est un fleuve fortement anthropisé: l'amont du bassin comprend de grandes zones agricoles de production céréalière, tandis que son cours inférieur inclut l'agglomération parisienne, avec plus de 10 millions d'habitants, et l'axe Rouen-Le Havre, qui accueille une intense activité industrielle et commerciale (Meybeck et al., 1998; Billen et al., 2001; 2007). Le fleuve joue un rôle clé pour des nombreuses activités humaines, fournissant des ressources -eau, nourriture, matériaux- et du transport, et ces avantages stratégiques sont à la base de l'établissement humain dans la région depuis plusieurs siècles (Billen et al., 2007).

L'importance du fleuve pour le développement de la région a déclenché des activités de surveillance depuis les années 1950, qui se sont transformées en enquêtes régulières avec une fréquence bimensuelle après 1970. La Seine offre ainsi une base de données unique et très complète qui permet un examen approfondi de l'évolution du fleuve au cours des cinquante dernières années, couplant les changements dans la qualité de l'eau avec des changements socio-économiques et technologiques majeurs.

Nous avons suivi les concentrations sur une longue période (1970-2014), avec une attention particulière pour l'évolution après l'an 2000, lorsque l'application de la Directive-Cadre sur l'Eau (ci-après la DCE) a favorisé de nouvelles avancées dans les stations de traitement des eaux usées du bassin (par exemple, à Achères, la plus grande station d'assainissement du bassin, la réduction du phosphore a été mise en place en 2000, la nitrification en 2007 et la dénitrification en 2011). L'étude présente une perspective évidente en termes de gestion: nous utilisons les gammes de concentrations recommandées dans les réglementations européennes et françaises, et discutons les statuts de qualité qui correspondent.

La DCE exigeait que toutes les eaux de surface atteignent un «bon état écologique» en 2015, de sorte que nos résultats contribuent à vérifier la conformité de cette demande pour la Seine. Nos objectifs sont d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion de l'eau appliquées jusqu'à présent, d'identifier les principales faiblesses, et de suggérer des améliorations.

Un autre atout de l'étude est l'évaluation intégrée du cours d'eau et de l'estuaire, compte tenu de l'interaction entre l'eau douce et la zone marine. Dû à la complexité des systèmes estuariens, les politiques axées sur la qualité de l'eau des rivières ne tiennent que rarement compte des effets et des synergies avec l'embouchure de la rivière et la bande côtière voisine. Cependant, le rôle des estuaires dans le tamponnage de nutriments dans les eaux côtières peut être important (Canton et al., 2012; Soetaert et al., 2006). Dans la Baie de Seine, Garnier et al. (2010) a constaté que l'estuaire est capable de retenir (soit comme stockage permanent ou temporaire, soit comme élimination définitive) près de 7% des apports annuels de N (l'abattement atteignant 40% pendant les mois d'été), 4% des apports de silice, et plus de 30% d'intrants inorganiques de P.

Les résultats présentés ici -comprenant des données provenant de 22 stations estuariennes- permettent de tester certaines des hypothèses avancées dans des études antérieures sur le rôle de l'estuaire de la Seine (Even et al., 2007; Garnier et al., 2008; 2010; Némery et Garnier, 2007), notamment la faible capacité de rétention par rapport aux flux nutritifs en amont.

Enfin, nous avons utilisé cette base de données pour calibrer un modèle fonctionnel (voir l'Annexe XXX) pour représenter plus étroitement les processus biogéochimiques qui se produisent dans les eaux estuariennes et pour quantifier la rétention et l'exportation des différents éléments, étant donné que la Seine est un représentant typique des estuaires macrotidaux européens.

2. Méthodologie

Zone d'étude

Les caractéristiques fondamentales du bassin de la Seine sont présentées dans la Table 1. Le bassin (y compris l'estuaire) a une surface de 76 260 km² et la branche principale a une longueur de 760 km. Nous avons choisi la partie inférieure du bassin de la Seine, entre Paris et Honfleur (environ 360 km). Cette partie est fortement influencée par la conurbation de Paris, et accueille plusieurs stations d'épuration (STEPS), parmi lesquelles la STEP Seine-Aval, localisée à Achères, est la plus grande (capacité de traitement d'1,67 millions m³ j⁻¹, 6,5 millions equiv. hab.).

L'estuaire occupe 50 km² (le troisième plus grand estuaire en France), et le bassin intra-estuarien compte pour ca. 6% de la surface totale du bassin versant (4 515 km², Garnier et al., 2013a). L'estuaire se compose de deux sections principales: un secteur de marée d'eau douce -de Poses à Caudebec-, et une partie inférieure affectée par un gradient de salinité (Fig. 1). Les marées influencent l'estuaire jusqu'au barrage de Poses (Fisson et al., 2014; Garnier et al., 2010). L'estuaire est également caractérisé par la formation d'un bouchon vaseux (zone de turbidité maximale: TMZ, pour son sigle en anglais). Le bouchon est généralement situé entre Honfleur et Tancarville, mais il peut se déplacer vers l'amont ou l'aval en fonction du cycle des marées et du débit du fleuve (Etcheber et al., 2007; Garnier et al., 2008, 2010).

Des nombreuses altérations morphologiques ont eu lieu au cours du dernier siècle pour faciliter la navigation (Foussard et al., 2010; Lafite et Romaña, 2001; Lafite et al., 2007). Plusieurs digues ont été installées et nombreux canaux ont été dragués pour augmenter la profondeur des cours d'eau. En outre, d'énormes travaux d'ingénierie visant à améliorer l'accès aux ports de Rouen et du Havre ont conduit à un important enlèvement de sédiments (Némery et Garnier, 2007).

En accord avec ces traits physiques et socio-économiques, nous avons divisé l'étendue du fleuve entre Paris et Honfleur en six sections (Fig. 1): les sections 1-2 correspondent à l'estuaire d'influence marine, les sections 3-4 correspondent à l'estuaire de marée d'eau douce, et les sections 5-6 couvrent les segments dulcicoles situés en aval et en amont de la station d'Achères.

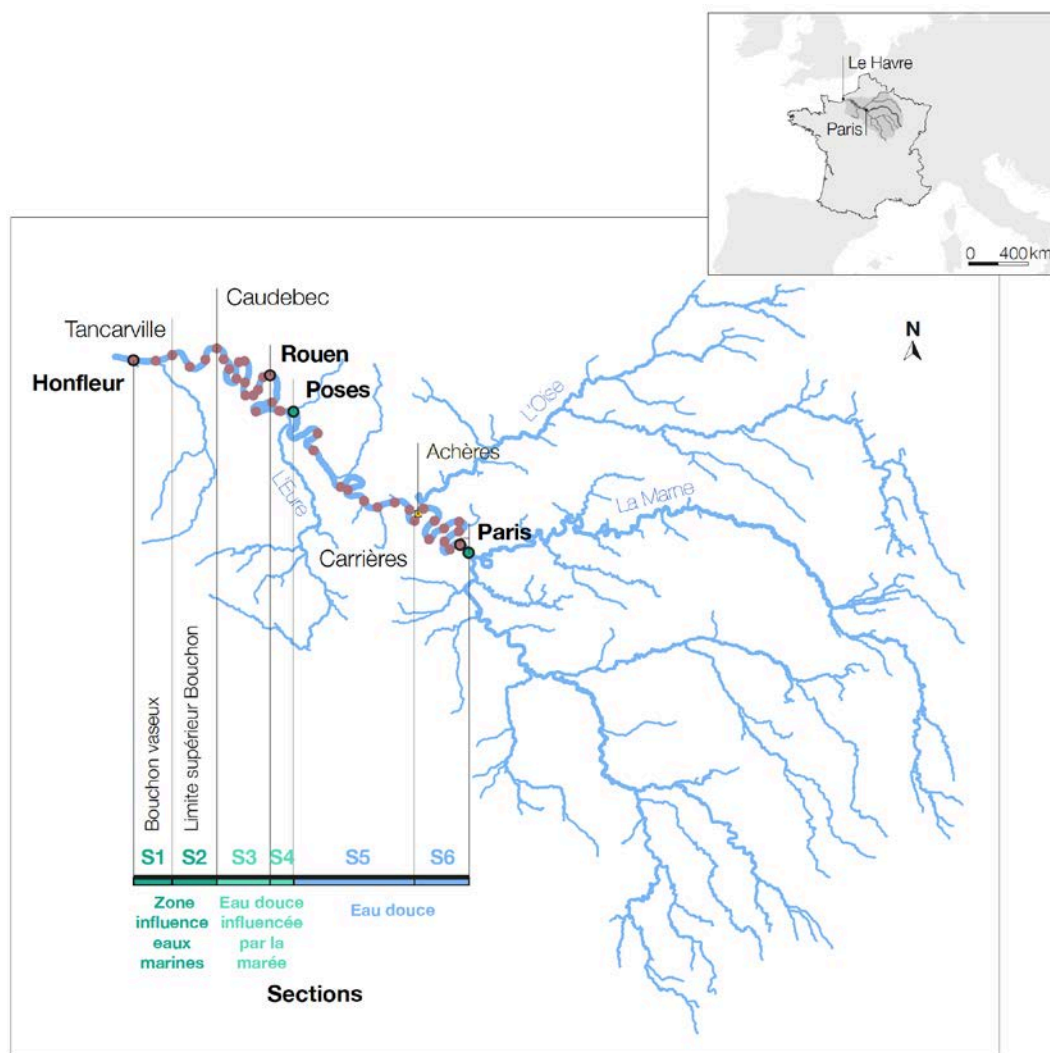


Figure 1. Carte du bassin de la Seine avec le réseau de stations de mesure de la qualité de l'eau (points roses) et de débit (points bleus). Notre zone d'étude (Paris-Honfleur) est divisée en 6 sections en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques et géographiques.

Série temporelle de données

Les données de débit (1955-2014) ont été fournies par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable à travers la Banque HYDRO (www.hydro.eaufrance.fr). Nous avons utilisé des mesures journalières à deux stations: une à Paris, la plus en amont de notre section d'étude, et une à Poses, à l'interface entre la rivière et l'estuaire (Fig. 1). Les données sur la qualité de l'eau ont été rassemblées pour 45 stations le long du fleuve, dont 22 dans l'estuaire et 23 en amont de l'estuaire (de Paris à Poses). Les données de qualité ont été fournies par le Service De Navigation de la Seine (SNS) et de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN).

Tableau 1. Quelques caractéristiques générales du bassin de la Seine. SEINE désigne tout le bassin, tandis que BASSIN AVAL désigne la partie basse (notre zone d'étude), de Paris jusqu'à l'embouchure.

	Longueur (km)	Population (10 ⁶ inhab.)	Densité Pop. (inhab./km ²)	Capacité (10 ⁶ hab. equiv.)
SEINE	767	17	195*	11.3 [‡]
BASSIN AVAL	360	12	230**	7.6*

*Garnier et al., 2010; **Passy et al., 2016; [‡]Billen et al., 2001

Flux de nutriments ajustés en fonction du débit

La charge annuelle d'éléments nutritifs fournis par le fleuve à l'estuaire a été calculée en utilisant des concentrations ajustées en fonction de l'écoulement, comme le recommandent les rapports officiels sur la qualité de l'eau des rivières (par exemple, le rapport [OSPAR 1998](#)). Nous avons calculé les flux de nutriments à Poses, la station la plus aval n'étant pas influencée par les marées. Les flux ont été obtenus en appliquant la formule:

$$\text{Flux} = Q_m \cdot (K \cdot \Sigma (C_i \cdot Q_i) / \Sigma Q_i)$$

où K est un facteur de conversion pour prendre en compte la période désirée (dans notre cas, 365 jours), C_i la concentration instantanée, Q_i la décharge instantanée au moment de l'échantillonnage, et Q_m le débit moyen pour la période considérée (annuelle, trimestriel, etc.).

Analyses statistiques

Les tendances saisonnières et les tendances à long terme ont été obtenues selon une procédure de décomposition de données basée sur LOESS (méthode STL, [Cleveland et Devlin, 1988](#); [Cleveland et al., 1990](#)). Cette méthode a été appliquée auparavant pour évaluer la variabilité de la qualité de l'eau dans les rivières ([Lloyd et al., 2014](#)). La méthode de filtrage STL décompose les séries temporelles en composantes saisonnières (cycliques), tendancielle et résiduelle, au moyen de régressions non paramétriques. Il est très utile pour décrire des tendances non linéaires, et fournit une estimation statistique robuste des composantes saisonnières et tendancielle, tamponnant l'effet des valeurs aberrantes. Cette technique implique de fixer quelques paramètres qui déterminent le degré de lissage dans les composantes de tendance et saisonnières. En suivant les recommandations et les méthodes de diagnostic rapportées par [Cleveland et al. \(1990\)](#), et compte tenu du nombre et de la fréquence de nos observations, nous avons fixé des largeurs de fenêtre de 15 mois et 41 mois respectivement pour les composantes saisonnières et à long terme. Pour travailler avec des données régulièrement espacées, nous avons calculé les valeurs médianes mensuelles lorsque les stations avaient plus d'une mesure par mois.

3. Résultats

Débit

Au cours de la période 1970-2014, le débit moyen de la Seine était d'environ $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Paris, et de $467 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à l'entrée de l'estuaire (Poses), avec des écarts marqués entre les flux d'hiver et d'été (à Poses, $726 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en hiver et $249 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en été), et entre années humides et sèches ([Fig. 2](#)).

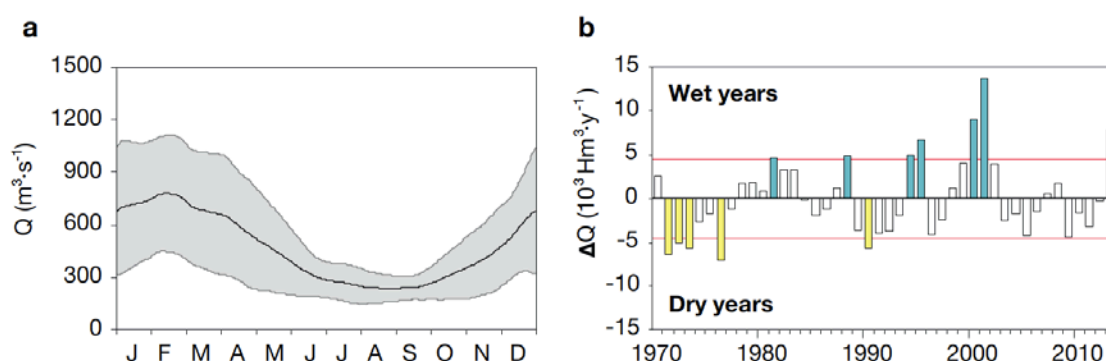


Figure 2. Débit de la Seine à Poses. (a) La ligne noire correspond au débit journalier pendant une année moyenne (période 1970–2014), et son écart-type (zone grise). (b) Anomalies de débit (la différence entre le débit annuel et le débit moyen annuel calculé pour toute la série de données). Les années humides sont colorées en bleue, et les années sèches en jaune. La ligne rouge montre ± 1 écart-type.

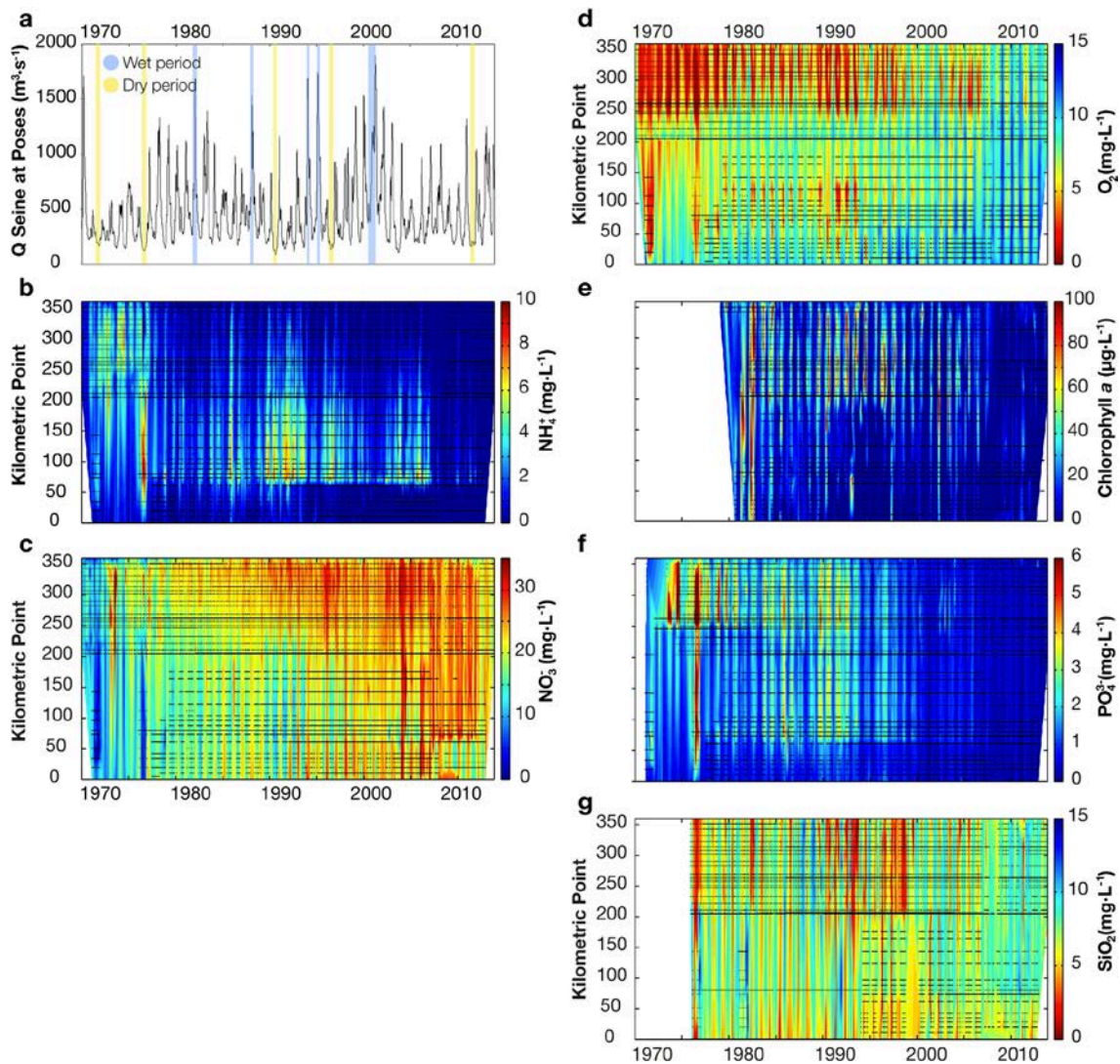


Figure 3. Profils (1970-2013) d'ammonium, nitrate, phosphate, silicate, oxygène dissous et chlorophylle dans les 45 stations d'échantillonnage, de Paris (point kilométrique 0) à Honfleur (point kilométrique 355). La série chronologique du débit à Poses pendant la même période est montrée dans le coin supérieur gauche.

Nous considérons ici les années humides et les années sèches comme celles dont le débit annuel est supérieur ou inférieur à la moyenne plus ou moins l'écart-type de toute la série temporelle. Une légère, mais significative augmentation à long terme du débit est observé au cours des 50 dernières années (valeur $p < 0,001$). Cette augmentation a été précédemment soulignée par [Massei et al. \(2010\)](#), qui attribuent l'augmentation du débit au changement du régime pluviométrique, et donc à une origine climatique.

Évolution de la qualité de l'eau

La **Figure 3** montre l'évolution des nutriments inorganiques, de la chlorophylle et de l'oxygène pour l'ensemble des stations (Paris à l'embouchure de l'estuaire, à Honfleur), des années 1970 à nos jours. Quelques schémas clairs apparaissent au cours des premières décennies, en accord avec des études antérieures (voir, par exemple, [Billen et al., 2007](#)), bien que plusieurs tendances aient nettement changé au cours des dernières années et sont montrées ici pour la première fois:

(I) Les concentrations les plus élevées de phosphate et d'ammonium ont été enregistrées avant les années 1980, principalement dans l'estuaire. Les valeurs moyennes atteignaient $2,1 \text{ mg L}^{-1}$ pour les phosphates et $2,1 \text{ mg L}^{-1}$ pour l'ammonium.

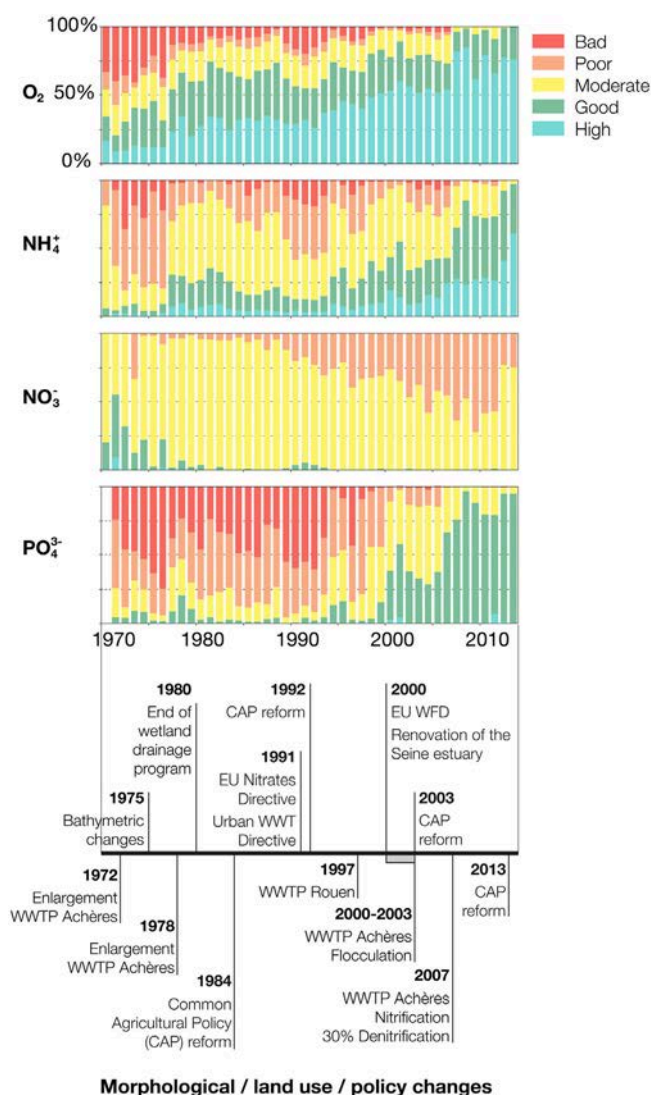


Figure 4. Pourcentage d'échantillonnages par année (1970-2013) compris dans les 5 catégories de l'échelle EQS, telle qu'établie dans les règlements européens et français. Les seuils de concentration par catégorie sont décrits dans le **Tableau 2**. Les données de toutes les stations sont regroupées. La chronologie en bas montre quelques changements morphologiques et socio-écologiques importants.

Les valeurs des nitrates pendant la même période étaient les plus faibles de la série chronologique, mais étaient déjà élevées, de l'ordre de 15 mg L^{-1} . Ces concentrations sont supérieures au niveau recommandé pour un bon état écologique de $9\text{-}10 \text{ mg L}^{-1}$ (Directives européennes 91/676/CEE; 91/271/CEE; 96/61/CEE; 2000/60/CE).

(II) Entre 1980 et le début des années 90, des valeurs élevées d'ammonium et de phosphate se sont répandues le long de l'axe de la rivière, avec des pics remarquables en aval des agglomérations de Paris et de Rouen. Les concentrations de nitrates ont augmenté par rapport aux années précédentes (en moyenne 21 mg L^{-1}), les niveaux les plus élevés persistant dans le secteur estuarien (environ 23 mg L^{-1} et 19 mg L^{-1} en aval et en amont de Poses, respectivement).

(III) Des changements importants se sont produits au cours de la seconde moitié des années 90 et au début des années 2000, notamment pour les concentrations de nitrate et de phosphate. Le phosphate a diminué jusqu'à une valeur moyenne de $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ (les valeurs actuelles sont inférieures à $0,3 \text{ mg L}^{-1}$), alors que les concentrations de nitrate ont augmenté dans toutes les stations pour atteindre des valeurs moyennes annuelles supérieures à 20 mg L^{-1} .

(IV) Un changement remarquable est observé après 2007 en aval d'Achères pour les nitrates et l'ammonium; ce dernier a chuté à des valeurs très faibles (en moyenne $0,3$ et 1 mg L^{-1} près de la station d'épuration), et les nitrates ont augmenté de 20% par rapport aux années précédentes (d'environ 20 à 25 mg L^{-1}) immédiatement au-dessous de la STEP d'Achères.

L'oxygène dissous et la chlorophylle (un indicateur de la biomasse du phytoplancton) présentent des schémas parallèles mais complémentaires. Le premier est contrôlé à la fois par la

dégradation de la matière organique et la nitrification du NH_4^+ , tandis que le dernier dépend fondamentalement de l'assimilation algale. L'oxygène a augmenté de façon constante après les années 1980, et notamment au cours de la dernière décennie, alors que la biomasse du phytoplancton a progressivement diminué tout au long du fleuve et très nettement dans la zone estuarienne après 2007.

Enfin, la silice présente de grandes variations interannuelles liées au régime d'écoulement, mais contrairement aux autres variables, il ne montre pas de phases ou de points d'inflexion dans la série temporelle (Fig 3g). En moyenne, la concentration de silice fluctue autour de $6,7 \text{ mg L}^{-1}$.

Tableau 2. (I) Seuils de concentrations de nutriments et leurs codes de couleurs tels qu'établis dans les réglementations environnementales de l'UE et de la France. Ces seuils ont été utilisés dans les Fig. 4 et 5. (II) Pour chaque variable, le pourcentage d'échantillonnages par décennie qui correspond à chaque catégorie EQS. «N échant» désigne le nombre total d'échantillons. Les données se rapportent à l'ensemble des stations de qualité.

(I)

État	O_2 (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
Très bon	≥ 8	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 2
Bon	≥ 6	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 10
Moyen	≥ 4	≤ 1	≤ 2	≤ 25
Mauvais	≥ 3	≤ 2	≤ 5	≤ 50
Très mauvais	< 3	> 2	> 5	> 50

(II)

Variable	Décennie	Très bon	Bon	Moyen	Mauvais	T. Mauvais	N échant.
O_2 (mg/L)	< 1970	11%	22%	21%	11%	36%	1354
	1970-1980	20%	28%	21%	8%	22%	3166
	1980-1990	31%	35%	20%	6%	8%	4278
	1990-2000	41%	28%	18%	5%	8%	4497
	2000-2010	62%	23%	11%	2%	2%	4079
	>2010	73%	24%	4%	0%	0%	956
PO_4^{3-} (mg/L)	< 1970	-	-	-	-	-	-
	1970-1980	0%	9%	20%	30%	41%	2606
	1980-1990	0%	2%	14%	42%	41%	4349
	1990-2000	0%	10%	28%	40%	22%	4555
	2000-2010	1%	56%	36%	6%	1%	4116
	>2010	3%	86%	11%	0%	0%	921
NH_4^+ (mg/L)	< 1970	0%	6%	76%	18%	0%	120
	1970-1980	5%	15%	40%	32%	8%	2826
	1980-1990	5%	16%	50%	24%	5%	4343
	1990-2000	8%	19%	41%	25%	7%	4533
	2000-2010	18%	34%	35%	10%	3%	3926
	>2010	40%	47%	12%	1%	0%	921
NO_3^- (mg/L)	< 1970	1%	19%	80%	0%	0%	120
	1970-1980	1%	11%	83%	5%	0%	2873
	1980-1990	0%	1%	91%	8%	0%	4364
	1990-2000	0%	1%	71%	28%	0%	4587
	2000-2010	0%	0%	50%	50%	0%	4115
	>2010	0%	0%	64%	36%	0%	921

Standards de Qualité Environnementale

Les Standards de Qualité Environnementale (ci-après dénommées EQS, cf. NQE Norme de Qualité Environnementale) fournissent des plages de concentrations couplées à des catégories de statut qui nous donnent une idée rapide de la santé ou de la dégradation du système (Directive UE 2008/105/EC). La Fig. 4 montre l'évolution de l'oxygène et des nutriments en fonction de ces normes de qualité. Nous avons calculé le nombre de mesures attribués à chaque catégorie de qualité par an, et nous avons représenté les résultats suivant les codes de couleur EQS. Les détails sur les données spécifiques et les seuils des EQS figurent au Tableau 2.

Les diagrammes à barres EQS révèlent une nette amélioration de qualité pour l'oxygène, l'ammonium et le phosphate, les deux premiers étant actuellement en bonnes ou très bonnes conditions tout au long de l'année. Cependant, il y a une détérioration de la qualité de l'eau liée aux apports de nitrates, qui a été légèrement inversée au cours des dernières années suite à la mise en œuvre des procédures de dénitrification en 2012. Dans l'ensemble, cela implique que les changements dans les concentrations de nutriments que nous voyons dans les profils ont effectivement eu un impact direct en termes de qualité, et pointent directement sur l'efficacité ou l'inefficacité de certaines pratiques de gestion qui sont discutées plus bas.

Étant donné que les intrants nutritifs sont reliés aux activités terrestres et que celles-ci ne sont pas réparties de façon homogène dans le bassin, nous avons analysé si des améliorations ou détériorations majeures se sont produites dans des sections spécifiques. Nous avons sélectionné quelques stations représentatives des six sections établies et nous avons évalué les changements de concentrations et de qualité par décennie (pour la période 1980-2010, qui est la plus complète, Figure 5).

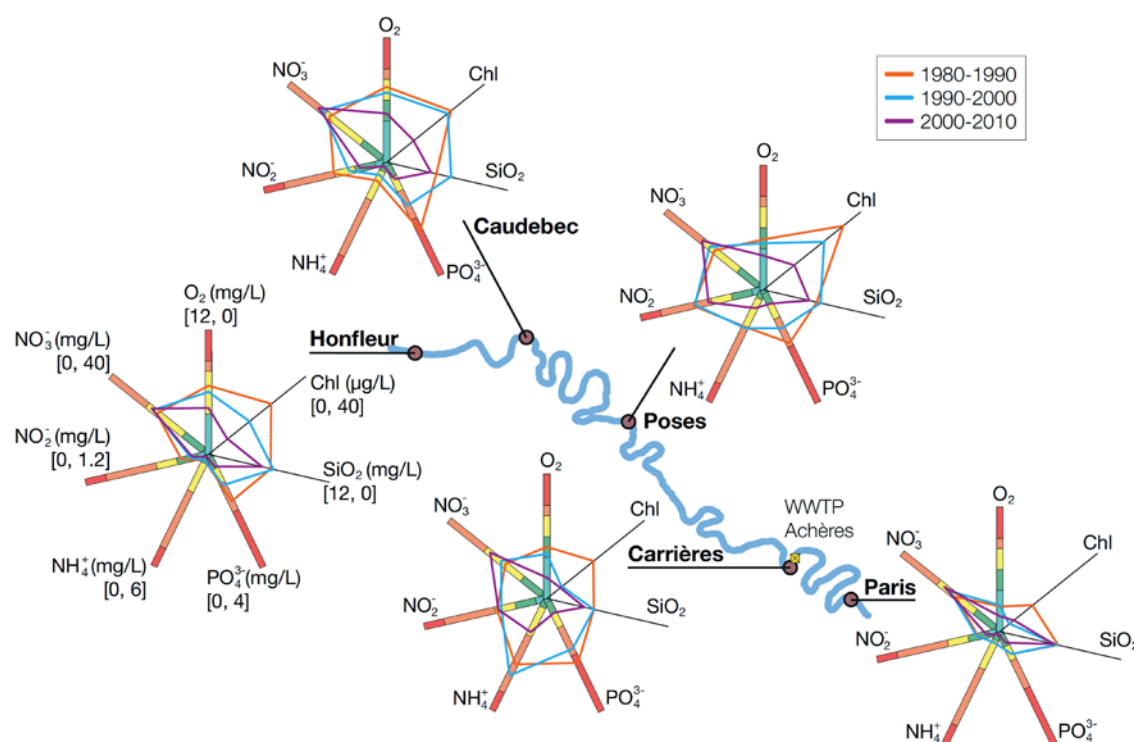


Figure 5. Évolution des éléments nutritifs, de la chlorophylle et de l'oxygène dans plusieurs stations représentatives des six sections du fleuve et de l'estuaire. Les axes sont colorés suivant l'échelle de couleurs EQS. Les unités et la plage de valeurs par axe sont indiquées pour Honfleur et sont identiques pour toutes les autres stations. Notez que les axes de l'oxygène et de la silice sont inversés, de sorte que les valeurs les plus basses sont à l'extérieur et les plus élevées à l'intérieur. Les lignes représentent des moyennes par décennie.

Les résultats montrent une convergence récente des stations vers des caractéristiques similaires, c'est-à-dire des formes de polygones similaires. Indépendamment de la section du fleuve, après l'année 2000 (et plus encore après 2010, non représenté), nous observons des valeurs faibles de phosphate et d'ammonium et des concentrations élevées en oxygène et en nitrates, alors que pendant la période 1980-1990 il y avait des formes contrastées entre l'estuaire supérieur et l'estuaire inférieur, et entre les sections de rivière en amont de Poses (par exemple, Caudebec versus Poses ou Poses versus Paris). Ces divergences persistaient pendant la période 1990-2000, bien qu'elles aient été quelque peu lissées. De même, dans les années 90, la chlorophylle était élevée en aval de Poses et faible en amont, alors qu'après l'année 2000 l'abondance du phytoplancton était modérée à faible tout au long de l'étendue du fleuve. Il semble donc que la mise en œuvre des normes environnementales a conduit à une situation plus uniforme le long du fleuve.

Charge annuelle de nutriments et exportation vers l'estuaire

Nous avons examiné les implications des changements de concentration en termes de charge annuelle en éléments nutritifs, étant donné que l'exportation totale de nutriments vers les eaux estuariennes -et finalement vers le système marin adjacent- est directement liée aux proliférations d'algues et aux problèmes d'eutrophisation (Billen et Garnier, 2007; Passy et al., 2016; Romero et al., 2013).

Pour tenir compte de la charge nutritive qui entre dans l'estuaire, nous avons calculé les flux annuels à Poses. La Figure 6a montre l'évolution des flux d'ammonium, de nitrate et de phosphate depuis les années 1970. La réduction des apports de phosphate et d'ammonium est manifeste: l'ammonium a diminué de 30 kT N y⁻¹ dans les années 1970 à 3 kT N y⁻¹ ces dernières années. De même, le phosphate est passé de 8 kT P y⁻¹ dans les années 1980 à 1-2 kT P y⁻¹ après 2010. Le contraire s'est produit pour les nitrates: les apports étaient inférieurs à 50 kT N y⁻¹ dans les années 1970, mais sont actuellement de 90 kT N y⁻¹, atteignant des valeurs supérieures à 100 kT N y⁻¹ pendant les années humides.

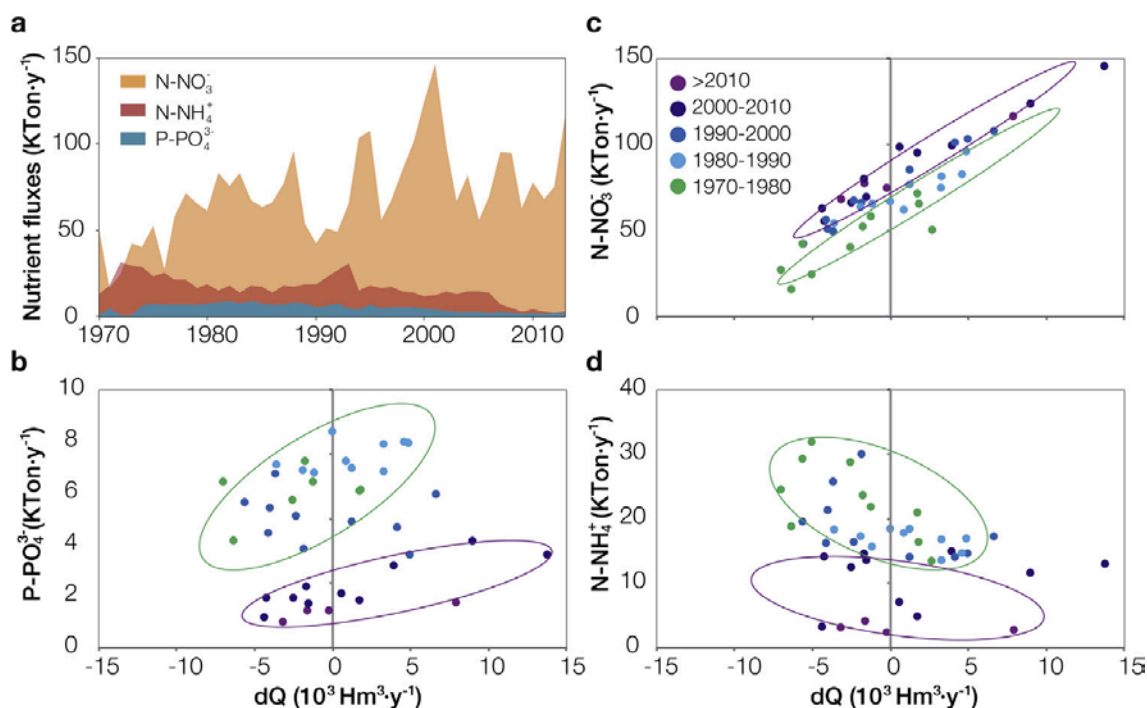


Figure 6. (a) Flux annuel de nutriments à l'entrée de l'estuaire (Poses). (b-d) Les mêmes flux annuels de nutriments sont représentés en fonction de leurs anomalies de débit (dQ). Les anomalies correspondent à la différence entre le débit d'une année donnée et le débit annuel moyen de toute la série chronologique. Les points sont colorés selon la décennie.

Afin de discerner l'effet de la variabilité de l'écoulement, nous avons représenté les flux annuels de nutriments par rapport aux anomalies de débit (la différence entre le débit d'une année donnée et le débit annuel moyen de la série chronologique, comme dans la Fig. 2). La Figure 6b-d montre, pour un débit donné, la variation nette des exportations de nutriments. Les résultats montrent clairement une relation linéaire positive entre le débit du fleuve et le nitrate - en soulignant la contribution des sources diffuses- et une relation négative avec l'ammonium, ce dernier provenant principalement de sources urbaines et dilué à des débits élevés. Notez toutefois que les valeurs actuelles d'ammonium (>2010) sont stables indépendamment du débit, ce qui suggère qu'elles représentent une ligne de base, c'est-à-dire le flux minimal qui peut être atteint.

Le phosphate est également corrélé positivement au débit du fleuve, bien que la relation soit plus faible que celle du nitrate, comme le montre la dispersion dans les données. Le phosphate provient d'un mélange de sources diffuses et ponctuelles, qui ont toutes les deux diminué au cours du temps: la chute de P à bas flux pointe directement à l'abattement des sources urbaines, tandis que la diminution à des débits élevés (la pente est remarquablement plus faible après l'année 2000), témoigne d'une réduction des intrants agricoles diffus.

Variabilité saisonnière et à long terme

Nous avons utilisé les méthodes de filtrage STL pour décomposer les séries chronologiques et (1) évaluer l'importance relative des cycles saisonniers dans les stations estuariennes et riveraines; (2) explorer dans quelle mesure les variations à long terme dépassent les tendances saisonnières; et (3) révéler les tendances à long terme et les points d'inflexion.

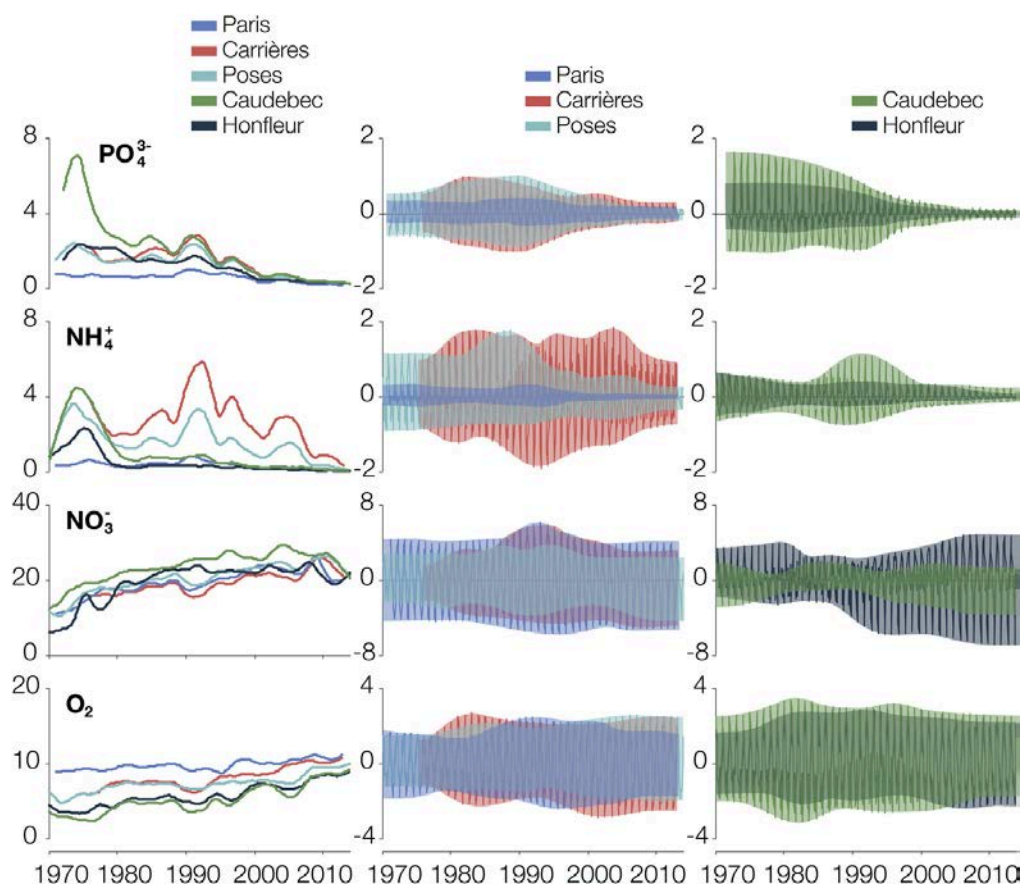


Figure 7. Résultats de la décomposition STL. De gauche à droite: la composante de la tendance à long terme, la composante saisonnière des trois stations riveraines, et la composante saisonnière des deux stations estuariennes. Pour faciliter les comparaisons, les enveloppes des cycles saisonniers sont colorées. Toutes les variables sont exprimées en mg/L.

La **Figure 7** montre les composantes saisonnières et à long terme de la série chronologique à cinq stations représentatives de différentes sections. Le pourcentage de variabilité expliqué par chaque composante -pour ces stations et quelques autres- est détaillé dans le **Tableau 3**.

Les résultats montrent que les tendances saisonnières dans l'estuaire sont généralement moins prononcées (en termes de variabilité annuelle) que celles observées en amont, notamment pour le phosphate et le nitrate, bien que les différences ne soient pas aussi importantes que prévu. Même si les stations estuariennes sont soumises aux marées et influencées par des intrusions marines, les données montrent une faible variabilité. Cette régularité apparente est liée à une stratégie d'échantillonnage constant qui précède le reflux marin, de l'aval à l'amont. A Paris et à Carrières, les cycles saisonniers représentent environ 25% de la variabilité annuelle (nutriments et oxygène moyennés, **Tableau 3**), alors que cette valeur est de 20% à Honfleur.

La saisonnalité est nettement dominante sur les tendances à long terme pour le silicate (en moyenne, 37% de la variabilité totale du SiO_2 est liée au cycle annuel) et pour la chlorophylle dans les sections estuariennes, où elle représente 25% de la variabilité totale. En revanche, les tendances à long terme prévalent pour le phosphate, l'ammonium et les nitrates (56%, 51% et 54% de leur variabilité totale, respectivement). Les résultats du STL confirment que les tournants les plus marqués de la série chronologique se sont produits au milieu des années 1990 et à la fin des années 2000. Les valeurs d'ammonium et du phosphate ont commencé à diminuer dans les années 1990, tandis que la tendance croissante des nitrates a diminué vers l'année 2007. Les points d'inflexion sont également visibles dans les cycles saisonniers, qui se rétrécissent ou s'étendent en parallèle aux changements majeurs de concentration.

4. Discussion

Le bassin de la Seine joue un rôle stratégique en France, constituant à la fois un pôle de population important et un axe industriel et commercial clé. C'est donc un territoire dynamique qui a subi des transformations constantes au cours des 50 dernières années, en parallèle à d'autres régions européennes.

Tableau 3. Décomposition saisonnière et à long terme de la série temporelle dans plusieurs stations représentatives des six sections définies dans le texte. « Saisonnière » désigne le pourcentage de variabilité expliquée par la tendance saisonnière, et « Long-terme » indique le pourcentage de variabilité expliquée par la tendance à long terme.

	Station		O ₂	Chl	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
Saisonnière	S1	Honfleur	31%	9%	6%	39%	12%	13%
	S1	Tancarville	32%	32%	9%	42%	10%	8%
	S2	Caudebec	39%	33%	3%	37%	8%	6%
	S3	Rouen	44%	20%	17%	32%	5%	7%
	S4	Poses	40%	33%	17%	42%	12%	14%
	S5	Carrières	32%	9%	12%	43%	17%	21%
	S6	Paris	51%	5%	13%	26%	4%	30%
Long-terme	S1	Honfleur	44%	20%	58%	22%	54%	57%
	S1	Tancarville	50%	18%	67%	23%	63%	54%
	S2	Caudebec	46%	23%	75%	26%	63%	62%
	S3	Rouen	33%	17%	58%	28%	64%	61%
	S4	Poses	37%	17%	52%	12%	49%	52%
	S5	Carrières	49%	24%	50%	8%	41%	52%
	S6	Paris	12%	27%	35%	5%	26%	43%

Notre étude s'inscrit dans les dernières étapes décrites par Billen et al. (2007) et s'étend sur la décennie 2000-2010, ce qui permet de tester si les tendances passées restent valables et, surtout, d'évaluer l'impact des politiques entrées en vigueur plus tard, comme la Directive Cadre sur l'Eau (WFD 2000/60/CE).

Jusqu'à l'an 2000, nos résultats sont cohérents avec les études précédentes. Il y a un tournant dans les années 1990: les progrès dans le traitement des eaux usées et l'interdiction des phosphates dans les détergents ménagers expliquent la diminution des charges d'ammonium et de phosphate. Dans le même temps, les apports de nitrates ont augmenté en grande partie en raison des pratiques agricoles intensives. Billen et al. (2001) estiment que l'utilisation d'engrais azotés s'est multipliée par neuf entre les années 1950 et 1990, passant d'environ 13 kg N ha⁻¹ en 1955 à 114 kg N ha⁻¹ en 1996, et des études récentes estiment que cette valeur a grimpé à 190 kg N ha⁻¹ an⁻¹ en l'an 2000 et est actuellement d'environ 160 kg N ha⁻¹ an⁻¹ (Garnier et al., 2013b).

Les évolutions décrites à la fin des années 1990 n'étaient que le début de tendances plus longues, qui se sont consolidées après 2000 et se sont étendues jusqu'à il y a quelques années. L'avancement dans les traitements des STEP, y compris la nitrification (mise en œuvre à Achères en 2007) et la dénitrification (jusqu'à 70% de la charge de N est dénitrifiée depuis 2012 à Achères) a entraîné d'autres améliorations environnementales. Par exemple, l'abaissement des nutriments a favorisé une diminution de la chlorophylle, et a supprimé les épisodes d'anoxie estivale dans l'estuaire.

Les progrès technologiques ont été efficaces pour réduire les sources ponctuelles d'origine domestique et industrielle, mais les nutriments provenant de sources diffuses se révèlent difficiles à maîtriser. Cela est préoccupant, étant donné que les fleuves européens reçoivent, en moyenne, 60-65% de la pollution totale de N et ca. 45% de la pollution de P par des sources diffuses (EEA, 2005). Dans la Seine, à l'égard de ce que Billen et al. (2001, 2007) ont décrit en 1998, une diminution de seulement 2 à 3% du nitrate est actuellement observée, même si des mesures spécifiques contre le surdosage d'engrais existent depuis plus de deux décennies (Oenema et al., 2011). Selon Eurostat, l'excédent moyen de N dans les sols agricoles de l'UE-15 est passé de 65 kg N ha⁻¹ en 1990 à 50 kg N ha⁻¹ en 2000, et les valeurs récentes pour la France sont de l'ordre de 45 kg N ha⁻¹ (2012). Des réductions significatives (30%) ont ainsi eu lieu, bien que les améliorations puissent encore être insuffisantes, ou leurs conséquences ne soient pas encore visibles dans l'hydrosystème. Dans les pays du Nord de l'Europe, où les politiques environnementales ont été anticipées par rapport à la France, les mesures de réduction des excédents de N ont commencé dans les années 80 et au début des années 1990, et les effets sur la qualité de l'eau douce n'étaient apparents que 10-20 ans plus tard (Bechmann et al., 2008; Ulén et Fölster, 2007).

Outre l'efficacité discutable des mesures de gestion, le retard dans le comportement des nutriments provenant de sources diffuses reflète des processus de transfert complexes et la réponse retardée des aquifères par rapport à celle des eaux de surface. Les eaux souterraines peuvent avoir des temps de résidence de plusieurs décennies (Alley et al., 2002) et jusqu'à 50 ans dans le cas du bassin de la Seine (Ledoux et al., 2007), ce qui signifie que les nitrates libérés en 2011 étaient en partie le résultat de pratiques inadéquates produites dans les années 90, quand la concentration en nitrates était maximale.

Réponses couplées dans la rivière et l'estuaire

Un des avantages de la présente étude est l'inclusion de données provenant de stations fluviales et estuariennes, ce qui offre la possibilité de tester s'il existe un découplage entre les deux zones. Les contraintes physiques sont très différentes entre les sections supérieures et inférieures, y compris la morphologie du lit, la pression humaine et l'influence des marées. Nous attendions donc une certaine divergence entre leurs dynamiques. Les résultats montrent toutefois que leur évolution est assez semblable. Bien que les nutriments et l'état d'oxygène soient clairement différents entre les stations en amont et en aval jusqu'aux années 1990, elles ont toutes évolué

de façon synchrone vers des valeurs communes. Les points d'inflexion et les tendances d'évolution coïncident tout au long du tronçon. Cela signifie que, bien que les processus intra-estuariens (adsorption sur les sédiments, consommation biologique, dilution et mélange avec les masses d'eau marine) puissent altérer l'exportation de nutriments vers la mer, ces processus ne sont pas assez intenses pour dissocier la dynamique de l'estuaire de celle du fleuve. Du point de vue de la gestion, principalement axé sur le contrôle des eaux douces, cela implique que les politiques environnementales ont influencé positivement la qualité des eaux dans l'estuaire. D'un point de vue marin, cependant, cela signifie que l'estuaire n'est pas capable d'épurer davantage l'eau avant qu'elle n'atteigne la zone côtière.

L'étroit lien entre la dynamique des nutriments en amont et en aval est fondamentalement dû à l'extrême artificialisation de l'estuaire, qui a été profondément modifié pour s'adapter à la navigation commerciale à grande échelle et afin de contrôler les risques d'inondation (Lesueur et al., 2006). Les changements morphologiques ont transformé les marécages en cours d'eau linéaires, réduisant ainsi le temps de séjour dans l'estuaire (actuellement de l'ordre de 1-3 mois, Garnier et al., 2008) et limitant fortement sa capacité tampon.

Implications pour la gestion

Les politiques pour le contrôle de la qualité de l'eau douce dans l'UE ont été approuvées dans les années 1990 comme une réponse urgente à la détérioration rapide des masses d'eau de surface dans de nombreux pays. Les plans d'action liés à ces politiques ont été projetés et appliqués, dans la plupart des cas, entre les années 1990 et les années 2000, ce qui signifie qu'ils ont été en service pendant environ 15-20 ans et nous pouvons maintenant avoir une idée raisonnable de leur adéquation et leur efficacité.

Dans la Seine, les niveaux de conformité sont hétérogènes. La mise en œuvre de solutions technologiques de traitement des eaux usées a été très performante, mais il y a eu une application beaucoup plus lente des mesures agroenvironnementales. Cela est courant dans d'autres bassins, car la réglementation des pratiques agroenvironnementales repose sur la volonté politique et son application est souvent retardée par un grand nombre d'agriculteurs (Oenema et al., 2011). En outre, le temps nécessaire pour obtenir des améliorations significatives de la qualité sont très différents. Les progrès technologiques ont été progressivement appliqués, mais il n'y a aucun retard une fois qu'ils sont utilisés. Au contraire, les systèmes terrestres présentent une certaine inertie qui peut ralentir l'efficacité des pratiques agroenvironnementales, comme c'est le cas des aquifères, mais aussi des processus de stockage et de mobilisation des nutriments dans le sol (Cassman et al., 2002; Howden et al., 2010).

La DCE exigeait la réalisation d'un bon état écologique des fleuves en 2015. Elle exige également la réalisation d'un bon état des eaux souterraines et le renversement de toute tendance soutenue à la hausse de la concentration des polluants. Dans la Seine, d'énormes progrès ont été réalisés, mais les exigences de la DCE en termes de nutriments ne seront pas pleinement atteintes, car des valeurs élevées de nitrate persistent encore dans les eaux de surface et sont encore plus élevées dans les aquifères. Des situations similaires ont été signalées pour la Loire (Minaudo et al., 2015), l'Escaut (Soetaert et al., 2006) et plusieurs rivières en Allemagne et au Royaume-Uni (Behrendt et al., 2002; Howden et al., 2010).

D'ailleurs, les améliorations des conditions physico-chimiques ne sont pas toujours directement transmises à l'état écologique, parce que la réponse des organismes dépend de nombreux facteurs. A cet égard, une conséquence importante des différents niveaux d'efficacité des mesures de contrôle des sources ponctuelles et diffuses est que les flux de nutriments dans la Baie de Seine ont des rapports N: P: Si sévèrement biaisés. Cela a été souligné dans des études antérieures (Billen et Garnier, 2007; Romero et al., 2013), mais l'excès de N sur Si, par exemple, est à peine pris en compte. Les rapports nutritionnels biaisés ont été liés à une augmentation des proliférations d'algues nuisibles et à plusieurs altérations du réseau trophique aquatique (par exemple, Glibert et Burkholder 2006; Justic et al., 1995). Le flux annuel de N vers la Baie de Seine est actuellement deux fois la valeur qui correspondrait aux rapports

Redfield de N: P, N: Si, et compte tenu de la forte corrélation entre le nitrate et le débit, l'anomalie positive de débit à long terme pourrait aggraver la situation.

Enfin, la diminution des apports en nitrates observée après 2010 reste discutable. On ne sait pas encore si les bonnes pratiques agricoles -la rationalisation de l'utilisation des engrais, l'expansion des cultures de couverture et l'agriculture biologique- sont en train de donner des résultats ou si la diminution des nitrates provient des récentes améliorations dans les stations d'épuration. Néanmoins, étant donné que la technologie de traitement des eaux usées a atteint son optimum (la dénitrification à 70% dans la station d'Achères nécessite déjà l'ajout de méthanol, et une réduction plus importante devient contre-productive), les mesures agroenvironnementales actuelles peuvent ne pas suffire à neutraliser l'inertie des années passées, vu que le temps de réponse pour diminuer les valeurs de >50 à <15 mg L⁻¹ est de plusieurs décennies (Grizzetti et al., 2011). Cette incertitude dans la réponse des hydrosystèmes est aggravée par les effets du changement climatique, qui pourraient affecter les concentrations en éléments nutritifs, l'oxygène et le phytoplancton à travers divers processus, y compris l'augmentation de la température, l'élévation du niveau de la mer, ou changements dans les précipitations, le ruissellement, le vent et le régime de tempêtes.

Pour accélérer le rétablissement du système et garantir la qualité de l'eau douce, plusieurs auteurs encouragent la mise en œuvre de mesures de gestion audacieuses, y compris des stratégies de rotation des cultures moins intensives et plus diversifiées (Beaudoin et al., 2005), la restauration des étangs (Garnier et al., 2014), la généralisation de l'agriculture biologique (Thieu et al., 2010) et même un changement du régime alimentaire pour réduire la consommation de viande (Billen et al., 2014; 2015). À la lumière de nos résultats, des politiques environnementales vaillantes sont la seule façon possible de prévenir les problèmes de pollution chronique et de rétablir véritablement le bon état écologique des rivières et de la zone côtière voisine.

5. Références

- Alley, W.M., Healy, R.W., LaBaugh, J.W., Reilly, T.E., 2002. Hydrology—flow and storage in groundwater systems. *Science* 296, 1985–1990.
- Beaudoin, N., Saad, J.K., Van Laethem, C., Machet, J.M., Maucorps, J., Mary, B., 2005. Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: effect of farming practices, soils and crop rotations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 111, 292–310.
- Bechmann, M., Deelstra, J., Stalnacke, P., Eggestad, H.O., Oygarden, L., Pengerud, A., 2008. Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway: policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. *Environ. Sci. Policy* 11, 102–114.
- Behrendt, H., Kornmilch, M., Opitz, D., Schmoll, O., Scholz, G., 2002. Estimation of the nutrient inputs into river systems—experiences from German rivers. *Reg. Environ. Change* 3, 107–117.
- Billen, G., Garnier, J., 2007. River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae. *Mar. Chem.* 106, 148–160.
- Billen, G., Garnier, J., Ficht, A., Cun, C., 2001. Modeling the response of water quality in the Seine river estuary to human activity in its watershed over the last 50 years. *Estuaries* 24, 977–993.
- Billen, G., Garnier, J., Némery, J., Sebilo, M., Sferratore, A., Barles, S., Benoit, P., Benoit, M., 2007. A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum. *Sci. Total Environ.* 375, 80–97.
- Billen, G., Lassaletta, L., Garnier, J., 2014. A biogeochemical view of the global agrofood system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. *Global Food Secur.* 3, 209–219.
- Billen, G., Lassaletta, L., Garnier, J., 2015. A vast range of opportunities for feeding the world in 2050: trade-off between diet, N contamination and international trade. *Environ. Res. Lett.* 10, 025001.

- Canton, M., Anschutz, P., Poirier, D., Chassagne, R., Deborde, J., Savoye, N., 2012. The buffering capacity of a small estuary on nutrient fluxes originating from its catchment (Leyre estuary, SW France). *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 99, 171–181.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T., 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio* 31, 132–140.
- Cleveland, R.B., Cleveland, W.S., McRae, J.E., Terpenning, I., 1990. STL: a seasonal trend decomposition procedure based on Loess. *J. Off. Stat.* 6, 3–73.
- Cleveland, W.S., Devlin, S.J., 1988. Locally-weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting. *J. Am. Stat. Assoc.* 83, 596–610.
- EEA, 2005. The European Environment, State and Outlook 2005 (SOER 2005). European Environment Agency, Copenhagen.
- Etcheber, H., Taillez, A., Abril, G., Garnier, J., Servais, P., Moatar, F., Commarieu, M.-V., 2007. Particulate organic carbon in the estuarine turbidity maxima of the Gironde, Loire and Seine estuaries: origin and lability. *Hydrobiologia* 588, 245–259.
- Even, S., Thouvenin, B., Bacq, N., Billen, G., Garnier, J., Guezennec, L., Blanc, S., Ficht, A., Le Hir, P., 2007. An integrated modelling approach to forecast the impact of human pressure in the Seine estuary. *Hydrobiologia* 588, 13–29.
- Fisson, C., Leboulenger, F., Lecarpentier, T., Moussard, S., Ranvier, G., 2014. L'estuaire de la Seine: état de santé et évolution. Programme Scientifique Seine-Aval (3–1), 48 pages.
- Foussard, V., Cuvilliez, A., Fajon, P., Fisson, C., Lesueur, P., Macur, O., 2010. Évolution morphologique d'un estuaire anthropisé de 1800 à nos jours. Programme Scientifique Seine-Aval (2–3), 43 pages.
- Garnier, J., Billen, G., Even, S., Etcheber, H., Servais, P., 2008. Organic matter dynamics and budgets in the turbidity maximum zone of the Seine Estuary (France). *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 77, 150–162.
- Garnier, J., Billen, G., Némery, J., Sebilo, M., 2010. Transformations of nutrients (N, P, Si) in the turbidity maximum zone of the Seine estuary and export to the sea. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 90, 129–141.
- Garnier, J., Billen, G., Vilain, G., Benoit, M., Passy, P., Tallec, G., Tournebize, J., Anglade, J., Billy, C., Mercier, B., Ansart, P., Azougui, A., Sebilo, M., Kao, C., 2014. Curative vs. preventive management of nitrogen transfers in rural areas: Lessons from the case of the Orgeval watershed (Seine River basin France). *J. Environ. Manage.* 144, 125–134.
- Garnier, J., Passy, P., Thieu, V., Callens, J., Silvestre, M., Billen, G., 2013a. Fate of nutrients in the aquatic continuum of the Seine River and its estuary: Modelling the impacts of human activity changes. In: Bianchi, T.S., Allison, M.A., Cai, W.-J. (Eds.), *The Watershed Biogeochemical Dynamics at Large River-coastal Interfaces: Linkages with Global Climate Change*. Cambridge University Press, ISBN 978-1-107-20257-7.
- Garnier, J., Vilain, G., Silvestre, M., Billen, G., Jehanno, S., Poirier, D., Martinez, A., Decuq, C., Cellier, P., Abril, G., 2013b. Budget of methane emissions from soils, livestock and the river network at the regional scale of the Seine basin (France). *Biogeochemistry* 116, 199–214.
- Glibert, P.M., Burkholder, J.M., 2006. The complex relationships between increasing fertilization of the earth, coastal eutrophication and proliferation of harmful algal blooms. In: Granéli, E., Turner, J. (Eds.), *Ecology of Harmful Algae*. Springer, Heidelberg, pp. 341–354.
- Grizzetti, B., Bouraoui, F., Billen, et al., 2011. Nitrogen as a threat to European water quality. In: Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., et al. (Eds.), *The European Nitrogen Assessment*, Cambridge University Press, pp. 379–404.
- Howden, N.J.K., Burt, T.P., Worrall, F., Whelan, M.J., Bieroza, M., 2010. Nitrate concentrations and fluxes in the River Thames over 140 years (1868–2008): are increases irreversible? *Hydrol. Processes* 24, 2657–2662.
- Justic, D., Rabalais, N.N., Turner, R.E., Dortch, Q., 1995. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters—stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 40, 339–356.

- Lafite, R., Garnier, J., De Jonge, V., 2007. Consequences of estuarine management on hydrodynamics and ecological functioning. ECSA 38th symposium—rouen coorganisation Seine-Aval programme and ECSA. *Hydrobiologia* 588, 1–302.
- Lafite, R., Romaña, L.A., 2001. A man-altered macrotidal estuary: the Seine estuary (France): introduction to the special issue. *Estuaries* 24, 939–939.
- Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J.M., Viavattene, C., Viennot, P., Ducharne, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C., Mary, B., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin: the STICS-MODCOU modelling chain. *Sci. Total Environ.* 375, 33–47.
- Lesueur, P., Lesourd, S., Auffret, J.-P., Avoine, J., Bassoullet, Ph., Brun-Cottan, J.-C., Dupont, J.-P., Guézennec, L., Lafite, R., Poupinet, N., 2006. Sables, chenaux, vasières: dynamique des sédiments et évolution morphologique. ISBN 2-84433-028-2 Seine Aval Programme. Ifremer, Quae Editions.
- Lloyd, C.E.M., Freer, J.E., Collins, A.L., Johnes, P.J., Jones, J.I., 2014. Methods for detecting change in hydrochemical time series in response to targeted pollutant mitigation in river catchments. *J. Hydrol.* 514, 297–312.
- Massei, N., Laiguel, B., Deloffre, J., Mesquita, J., Motelay, A., Lafite, R., Durand, A., 2010. Long-term hydrological changes of the Seine River flow (France) and their relation to the N Atlantic oscillation over the period 1950–2008. *Int. J. Climatol.* 30, 2146–2154.
- Meybeck, M., de Marsily, G., Fustec, E., 1998. La Seine en son bassin: fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé. Elsevier, Paris.
- Minaudo, C., Meybeck, M., Moatar, F., Gassama, N., Curie, F., 2015. Eutrophication mitigation in rivers: 30 years of trends in spatial and seasonal patterns of biogeochemistry of the Loire River (1980–2012). *Biogeosciences* 12, 2549–2563.
- Némery, J., Garnier, J., 2007. Typical features of particulate phosphorus in the Seine estuary (France). *Hydrobiologia* 588, 271–290.
- Oenema, O., Bleeker, A., Braathen, et al., 2011. Nitrogen in current European Policies. In: Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, et al. (Eds.), *The European Nitrogen Assessment*. Cambridge University Press, pp. 62–81.
- OSPAR, 1998. Principles of the comprehensive study on riverine inputs and direct discharges (RID). OSPAR Commission Reference number: 1998–5.
- Passy, P., Le Gendre, R., Garnier, J., Cugier, P., Callens, J., Paris, F., Billen, G., Riou, P., Romero, E., 2016. Eutrophication modelling chain for improved management strategies to prevent algal blooms in the Seine Bight. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 543, 107–125.
- Romero, E., Garnier, J., Lassaletta, L., Billen, G., Le Gendre, R., Riou, P., Cugier, P., 2013. Large-scale patterns of river inputs in southwestern Europe: seasonal and interannual variations and potential eutrophication effects at the coastal zone. *Biogeochemistry* 113, 481–505.
- Soetaert, K., Middelburg, J.J., Heip, C., Meire, P., Van Damme, S., Maris, T., 2006. Longterm change in dissolved inorganic nutrients in the heterotrophic Scheldt estuary (Belgium, The Netherlands). *Limnol. Oceanogr.* 51, 409–423.
- Thieu, V., Billen, G., Garnier, J., Benoît, M., 2010. Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds. *Regional Environ. Change* 1–12.
- Ulén, B., Fölster, J., 2007. Recent trends in nutrient concentrations in Swedish agricultural rivers. *Sci. Total Environ.* 373, 473–487.

Annexe 11 Rapport final Seine-Aval 5

Acronyme du projet : RESET

Coordonnateur(s) : Josette Garnier

Date de soumission : 31 mars 2017

Date de révision : 15 décembre 2017

Titre: Modélisation estuarienne et marine avec le modèle ECO-MARS 3D, exploration des scénarios

Auteurs: Romain Le Gendre¹, Estela Romero^{1,2}, Philippe Riou¹, Jérôme Castaings¹, Antsiva Ramarson², Gilles Billen², et Josette Garnier²

¹IFREMER ODE/LERN, Port en Bessin

²UMR Metis, UPMC/CNRS, Paris

Avant-propos :

Le projet RESET s'est appuyé sur un consortium ayant déjà travaillé sur la thématique du fonctionnement biogéochimique du continuum terre-mer, appliqué au territoire Normand et à la baie de Seine. Un précédent projet, dénommé NEREIS et financé par le GIP Seine-aval, avait permis d'aboutir à une maquette couplée assurant la continuité des processus biologiques entre les eaux douces, « l'interface saumâtre » et la zone côtière marine. Suite aux perspectives issues de ce précédent projet, des améliorations significatives en terme de processus représentés par cette chaîne de modèle, comme en terme de scénarios à envisager, ont été proposées au sein du projet RESET.

1. Le contexte de modélisation pré-RESET

Du point de vue physique (e.g hydrodynamique), le modèle marin s'appuie sur le code hydrodynamique côtier MARS-3D (*Model for Application at Regional Scale*) développé par l'Ifremer et appliqué avec succès sur des écosystèmes côtiers variés dont l'estuaire et la baie de Seine depuis plusieurs années (Cugier & Le Hir, 2002 ; Cugier et al., 2005a,b; Cugier et al., 2010, Passy et al., 2016). Ce code MARS, constitué d'un cœur hydrodynamique 3D adapté aux processus côtiers, est décrit en détail par Lazure & Dumas (2008). Ce modèle hydrodynamique permet le couplage avec plusieurs modules complémentaires afin d'étudier des problématiques spécifiques (sédiments, biologie, transport lagrangien, contaminants chimiques). Dans le cadre du projet NEREIS, la chaîne utilise le module sédimentaire, dont les principes sont décrits par Le Hir et al., 2011, et le module biogéochimique (ECO-MARS) décrit par Cugier et al., 2005a et Passy et al. (2016). Le module biogéochimique est un modèle écologique de type NPZD (Nutriments, Phytoplancton, Zooplancton, Détritique).

L'originalité de la maquette proposée dans le cadre de NEREIS résidait spécifiquement dans le couplage entre le modèle Seneque/Riverstrahler et le modèle ECO-MARS (Garnier et al., 2012 ; Passy et al., 2016). Son emprise (cf Fig. 1) et ses caractéristiques de grille sont de travailler sur une résolution spatiale de 500m et 10 niveaux verticaux basée sur des données bathymétriques du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).

Le modèle sédimentaire utilisé comporte deux classes de particules, une légère injectée via les cours d'eau qui simule les apports de matières en suspension et le panache turbide, et une seconde classe lourde initialisée dans le sédiment estuarien pour représenter le bouchon vaseux. Les variables prises en compte par le modèle biogéochimique comportent les formes dissoutes et particulaires des nutriments (N, P, Si), ainsi que les concentrations en matières en suspension et des différentes classes de planctons (exprimées par leur contenu en azote). La dynamique de l'azote prend en compte les nitrates (NO_3^-) et l'ammonium (NH_4^+) dissous ainsi que l'azote détritique particulaire. La dynamique du phosphore comprend le phosphore dissous (PO_4^{3-}), le phosphore adsorbé sur les matières en suspension (incluant les deux classes de particules sédimentaires) et le phosphore détritique particulaire.

Au niveau des forçages, le modèle ECOMARS 3D utilise les conditions atmosphériques issues du modèle ARPEGE de Météo-France avec une résolution spatiale de $0,5^\circ$ et une résolution temporelle de 6h. Les variables de forçages sont l'intensité et la direction des vents, la pression atmosphérique, la température et l'humidité de l'air, la couverture nuageuse et le rayonnement solaire. Les conditions limites marines sont forcées par des composantes harmoniques de marée fournies par le SHOM et par les variables biogéochimiques issues de la configuration MANGA du modèle ECOMARS 3D (figure 1) ayant 16km de résolution spatiale et un pas temporel de 4 jours. Les apports des bassins versants sont forcés avec les débits journaliers (Banque HYDRO, www.hydro.eaufrance.fr) et la température de l'eau pour la Seine, l'Eure, la Risle ainsi que les principaux fleuves côtiers normands. Les concentrations des variables biogéochimiques apportées par les cours d'eau proviennent de mesures (Service de Navigation de la Seine et Agence de l'Eau Seine-Normandie) pour la phase de calage et des résultats de simulations du modèle Seneque-Riverstrahler (Billen et al., 1994; 2001; 2007) pour la validation et la simulation de scénarios. Ces variables de forçage comportent les formes dissoutes et particulaires des nutriments (N, P, Si), ainsi que les concentrations en matières en suspension, oxygène dissous et groupes de plancton d'eau douce (diatomées, chlorophycées, microzooplancton). Elles sont imposées avec une résolution temporelle décadaire.

Les modules implémentés ont tous fait l'objet d'une série d'ajustements des paramètres comme le cœur hydrodynamique, le module sédimentaire et le module biogéochimique. Un travail conséquent avait été réalisé pendant le projet NEREIS afin d'affiner notamment la représentation de l'estuaire (Brenon and Le Hir, 1999 ; Dupont, 2001) grâce au (1) prolongement de l'emprise spatiale sur l'estuaire entre Tancarville et Poses avec mise à jour des données bathymétriques et ajustement des mailles sur une section d'écoulement réaliste (données du Port de Rouen) ; (2) calage des paramètres clés contrôlant l'hydrodynamique estuarienne (e.g, temps de transit entre Poses et le Havre); (3) travail spécifique sur la dynamique sédimentaire du bouchon vaseux. Un travail à l'échelle de la baie de Seine avait également été réalisé afin de simuler le plus fidèlement possible la circulation marine et les processus régissant la production primaire. Enfin, cette chaîne modélisant le continuum terre-mer sur ce secteur a été employée afin de comparer l'effet de scénarios divers (e.g., mise aux normes des stations d'épuration, agriculture biologique) en regard du scénario réaliste (Passy et al., 2016).

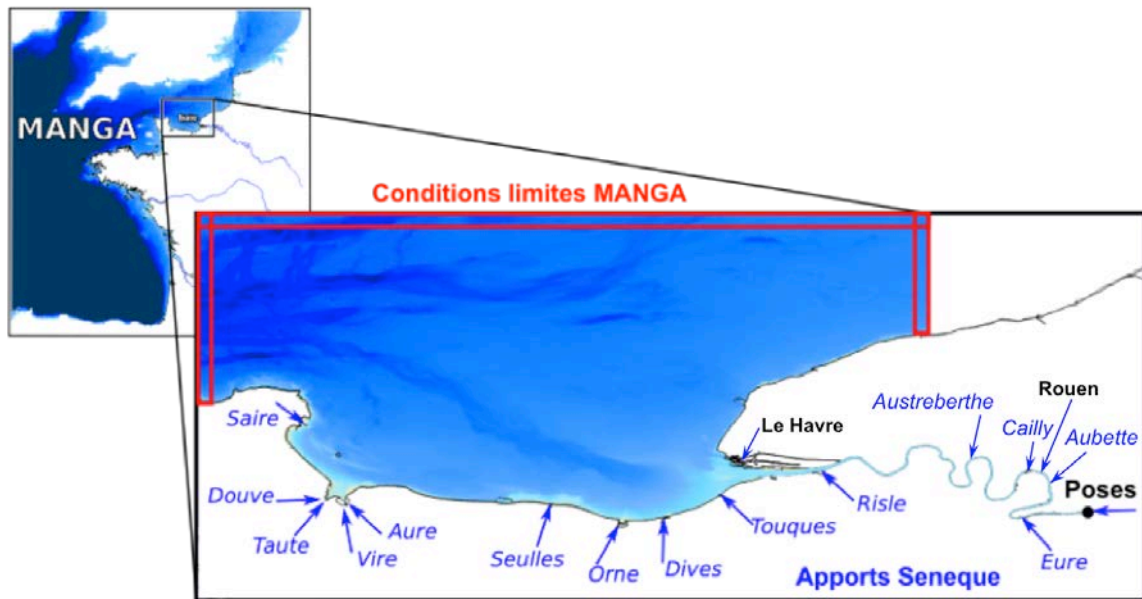


Figure 1. Emprise de la grille du modèle ECO-MARS 3D et localisation des conditions de forçage aux limites.

2. La nouvelle version du continuum modélisé

Les perspectives du précédent projet ont mis en lumière la nécessité d'améliorer la représentativité du continuum modélisé. Cela concerne notamment la partie du continuum entre Poses et l'embouchure de Seine. Le projet RESET s'est donc proposé, entre autre, de raffiner la représentation du fonctionnement interne à l'estuaire en l'étoffant principalement par :

- (1) l'ajout du cycle de l'oxygène (dans l'estuaire comme à la zone marine) ;
- (2) l'ajout de groupes de phytoplancton et zooplancton d'eau douce et de leur cycle de vie ;
- (3) la prise en compte des apports latéraux majeurs au sein de l'estuaire

Les équations du modèle et les paramètres associés sont exposés en [Annexes A et B](#), respectivement. La figure 2 présente de façon synthétique l'ensemble des processus pris en compte dans cette nouvelle maquette. Au sein de l'estuaire, pour la partie eau douce, deux classes d'algues ont été implémentées. La première représente les diatomées d'eau douce et la seconde les chlorophycées. Leurs paramètres associés sont fournis en Annexe B. A partir d'un certain seuil de salinité (fixé à 5 PSU), la mortalité de ces algues d'eau douce est maximale.

En ce qui concerne les apports latéraux, trois nouvelles rivières ont été introduites dans l'estuaire, en plus de l'Eure et la Risle :

- L'Aubette (152km²), 40 km depuis Poses
- Le Cailly (246km²), 44 km depuis Poses
- L'Austreberthe (214km²), 78 km depuis Poses

En outre, les deux principaux rejets de STEP et industriels ont également été insérés comme apports supplémentaires. Ils concernent les rejets de Rouen (45km de Poses) et du Havre (133 km de Poses).

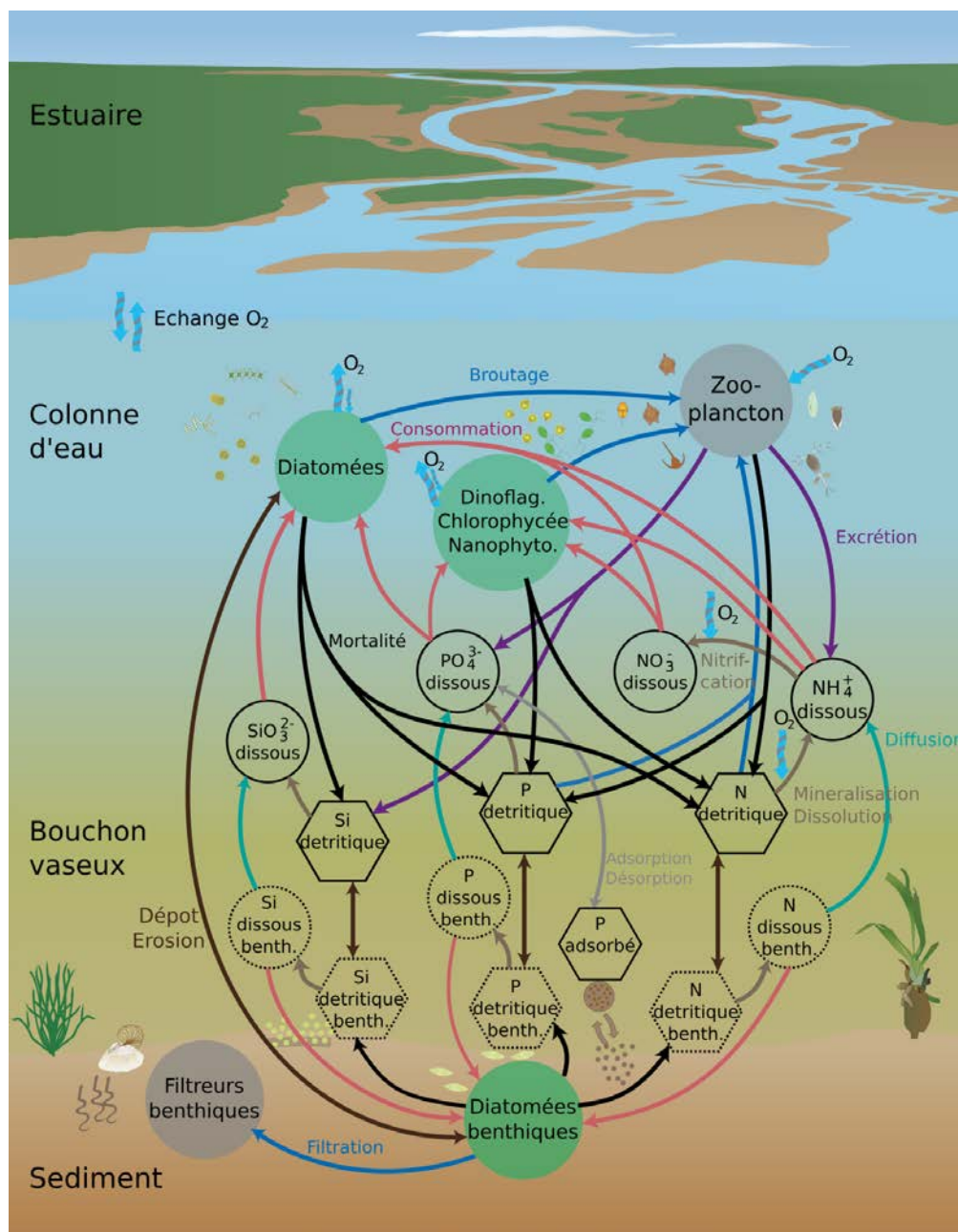


Figure 2. Diagramme synthétique des processus biogéochimiques modélisés dans la zone estuarienne par le modèle ECOMARS 3D (Romero et al., in prep).

Le calage et la validation du modèle ont été réalisés à l'aide du jeu de données fournis par le Réseau Hydrographique du Littoral Normand (RHLN : <https://wwz.ifremer.fr/learn/reseaux-d-Observations/Environnement/Hydrologie-RHLN>) pour la partie marine. Concernant la partie estuarienne, diverses sources de données ont été utilisées (le Réseau de suivi du phytoplancton et des phycotoxines (REPHY), l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), et le Service de Navigation de la Seine (SNS). Selon les paramètres et les stations, la fréquence des mesures est généralement mensuelle ou bimensuelle.

Compte tenu de la validation préalable de la partie marine lors des études antérieures (Passy et al., 2016) et en regard des objectifs de RESET, la paramétrisation du modèle biogéochimique s'est concentré essentiellement sur les stations internes à l'estuaire. La chaîne de modélisation validée, constituée par Seneque-Riverstrahler et cette nouvelle configuration ECOMARS-3D, permet pour la première fois une représentation totale du continuum « bassin versant – fleuve – estuaire – mer ».

2. Scénarios: leur impact sur l'estuaire en termes de fonctionnement biogéochimique

2.1. Scénario de référence

Les simulations pour le scénario de référence ont été effectuées sur une période de 3 ans (2011-2013) avec une année supplémentaire de *spin-up*¹. Ces années ont été sélectionnées spécifiquement pour leur variabilité interannuelle afin de tester le rôle rétenteur de l'estuaire sous différentes conditions climatiques. En effet, l'été de l'année 2011 a été particulièrement sec, tandis que l'année 2012 a été une année moyenne en termes de précipitations et de débit. L'année 2013, quant à elle, était une année significativement plus humide que la moyenne climatologique (cf. Romero et al., 2016, Fig. 2).

La performance générale du modèle pour les différentes variables est exposée en [Annexe C](#). D'un point de vue global, le modèle reproduit assez fidèlement la dynamique des nutriments et de la biomasse phytoplanctonique aussi bien dans l'estuaire qu'à la zone marine. Les résultats sur la zone du bouchon vaseux sont très satisfaisants, malgré la complexité des processus à représenter dans ce secteur. La station marine de Gêfosse est la moins bien représentée de tous les points de validation, avec une tendance du modèle à surestimer les concentrations en silicate et en chlorophylle a notamment. Le positionnement géographique du point Gêfosse en bord de grille et donc à proximité des conditions limites est sûrement une raison de cet écart.

Dynamique spatio-temporelle des masses d'eau estuarienne et côtière. La variabilité journalière des nutriments, l'oxygène et la chlorophylle pour le scénario de référence est montrée à la [Figure 3](#). Dans l'estuaire, les concentrations en nutriments sont remarquablement plus élevées que dans les eaux côtières marines, et les tendances saisonnières sont moins régulières. Les concentrations de phosphore total sont largement variables dans le TMZ ([Figure 4](#)), et le modèle reflète assez bien cette variabilité: les valeurs modélisées et mesurées sont dans la même plage.

Les écarts les plus importants avec la mesure concernent la paire ammonium-nitrates pendant les années 2012 et 2013, notamment à la station de Poses. Le modèle Seneque-Riverstrahler a tendance à surestimer les concentrations en azote à Poses, ce qui engendre des valeurs légèrement trop élevées à Caudebec et Tancarville. Cela est probablement lié à l'installation de la station de Nitrification/Dénitrification d'Achères en 2012 qui a conduit durant les deux années suivantes à des fluctuations de charge rejetées assez difficiles à reproduire par le modèle. Cependant le modèle est capable de reproduire assez fidèlement les variations de ces deux variables à l'aval et à la zone côtière. Les simulations sont très satisfaisantes en terme de concentration en silicates, oxygène et chlorophylle a.

Bilan de transformation et d'exportation de nutriments. La rétention et la transformation des éléments nutritifs avant la sortie en mer est l'une des fonctions les plus importantes des estuaires (ce qui constitue l'*effet filtre*). Toutefois, le bilan estuarien peut varier considérablement d'une année à l'autre. La Figure 5 montre les résultats du bilan de transformation pour l'azote, le phosphore et la silice, dans différentes sections de l'estuaire de la Seine. Au cours d'une année moyenne en termes de pluviométrie et de débit (2012), pour tout le profil estuarien (Poses-Le Havre), on observe des réductions de N et de Si (-10% et -9%, respectivement), mais surtout une diminution du phosphore total d'environ -23%. Les concentrations de P diminuent fortement dans les sections en amont de l'estuaire (entre Poses et Caudebec, [Figure 5](#)) et il y a une petite libération du P adsorbé dans le bouchon vaseux, entre Caudebec et Tancarville. Les résultats sont semblables pendant les années sèches (-11% N, -6% Si, -25% P en 2011), mais l'effet filtre augmente pendant les années humides comme 2013 : -17% N, -17% Si, -34% P.

¹ Période de stabilisation du signal

D'ailleurs, l'effet filtre est un peu plus marqué en été, quand le temps de résidence de l'eau dans l'estuaire est plus long.

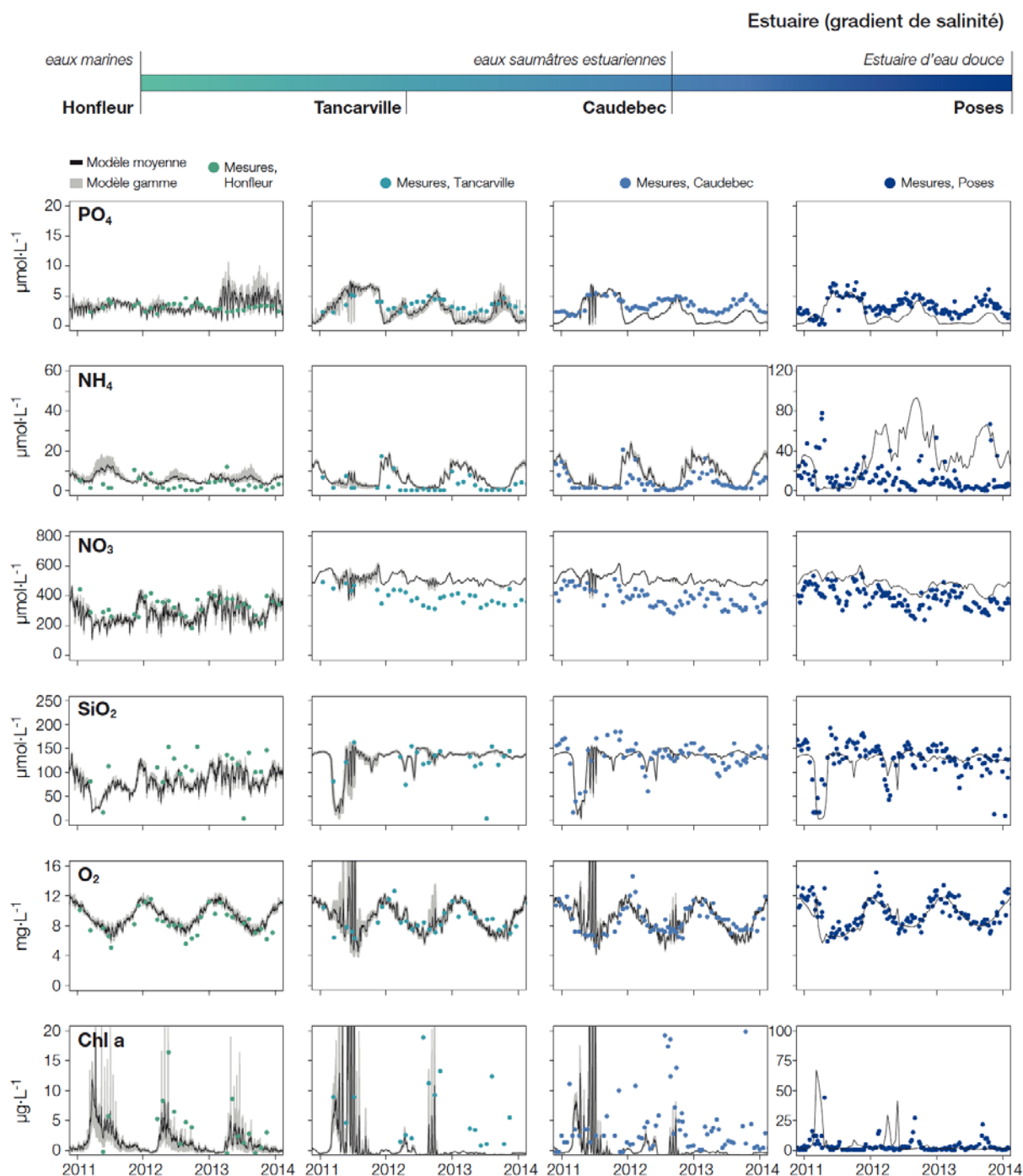


Figure 3a. Résultats de simulations pour les nutriments (PO₄ : phosphate ; NH₄ : ammonium ; NO₃ : nitrate ; SiO₂ : silice dissoute, l'oxygène et la chlorophylle sur la période de référence (2011-2013) dans l'estuaire.

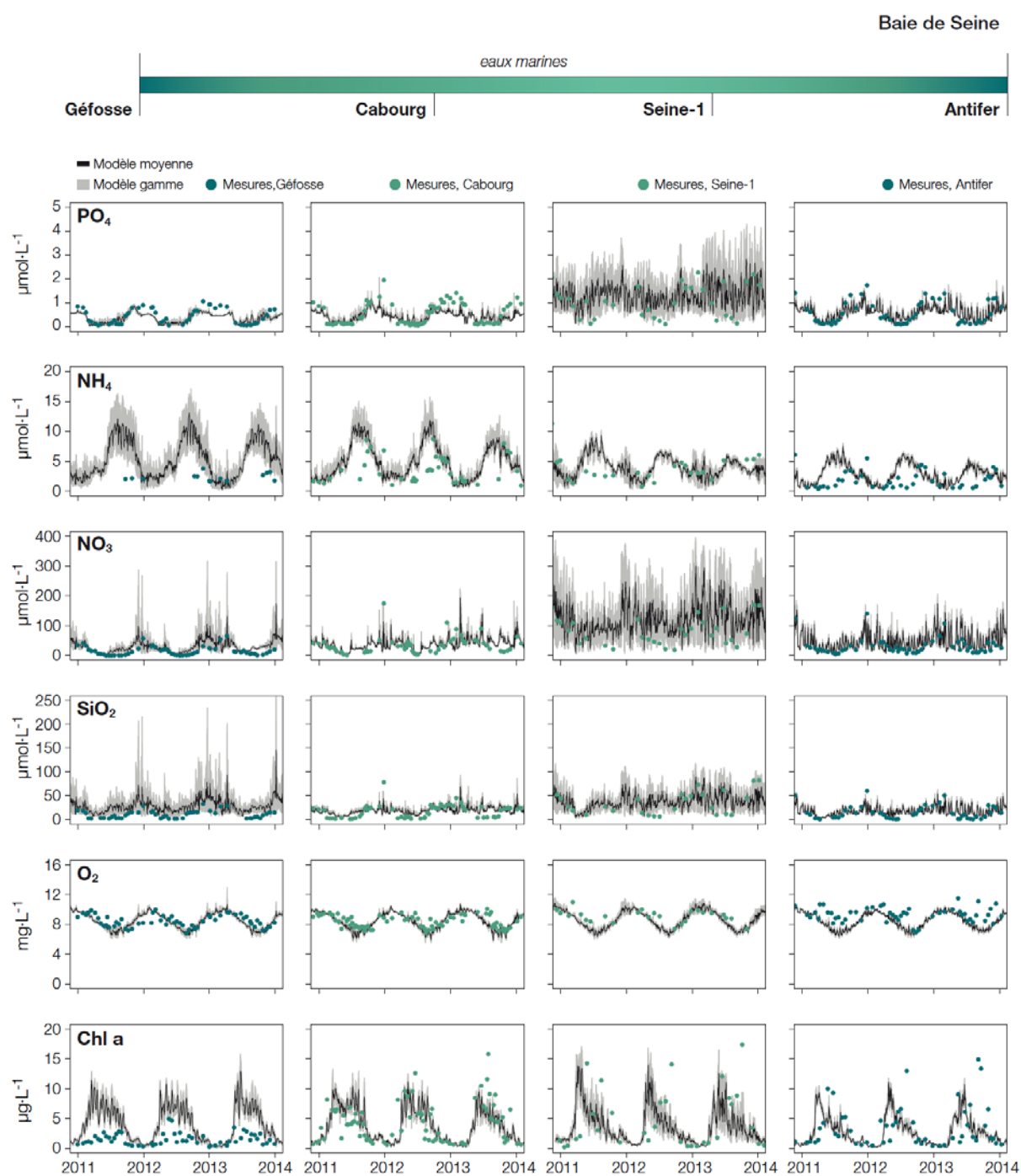


Figure 3b. Résultats de simulations pour les nutriments (PO_4 : phosphate ; NH_4 : ammonium ; NO_3 : nitrate ; SiO_2 : silice dissoute, l'oxygène et la chlorophylle sur la période de référence (2011-2013) aux stations marines.

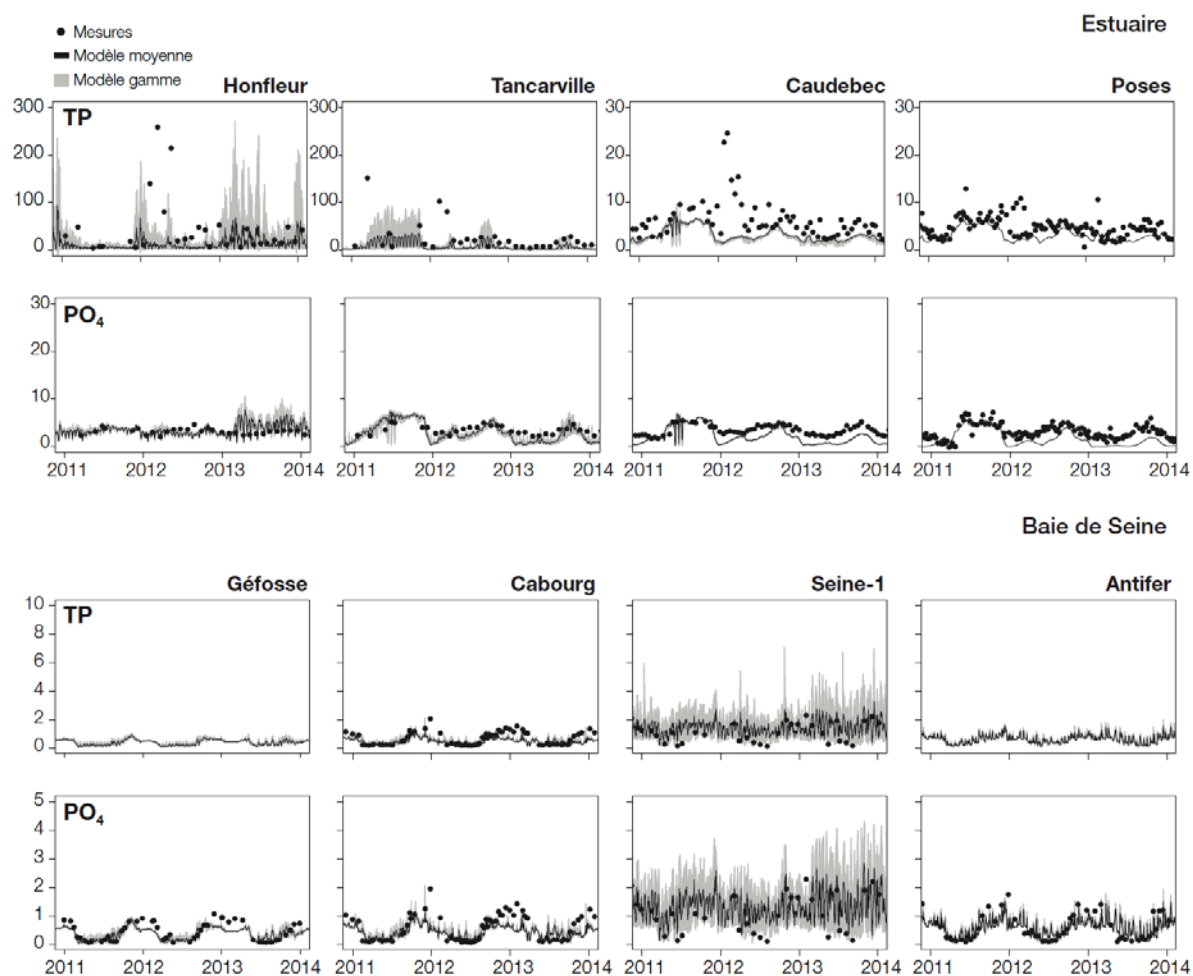


Figure 4. Résultats de simulations pour le phosphate (PO_4) et le phosphore total (TP) sur la période de référence (2011-2013) dans l'estuaire (a) et les stations marines (b) proches du panache.

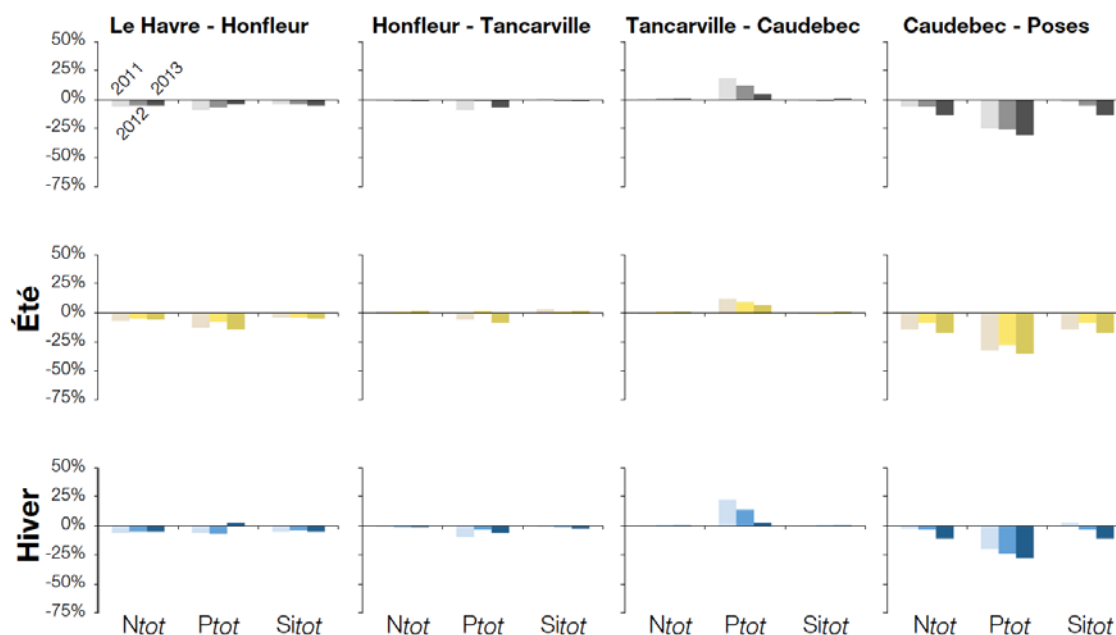


Figure 5. Bilan de transformation (pourcentage de changement entre deux stations) pour l'azote totale (N_{tot}), le phosphore totale (P_{tot}) et la silice (Si_{tot}) dans différentes sections de l'estuaire de la Seine pour le scénario de référence. De haut en bas : bilan annuel, estival (avril-septembre) et hivernal (octobre-mars).

2.2. Scénarios futurs

Les résultats complets des bilans de transformation pour les différents scénarios sont présentés dans les Figures 6 et 7.

Comme attendu, les flux les plus faibles en termes d'azote et de phosphore correspondent au scénario Pristine avec un export total annuel dans la baie respectivement de 9 ktonnes d'azote, 70 ktonnes de silice et 0.3 ktonne de phosphore. Ces flux Pristine sont remarquablement bas comparés à la situation actuelle, le scénario Référence où les flux d'azote y sont 14 fois plus élevés et ceux de phosphore environ 5 fois plus importants. Le scénario Pristine permet de mesurer, par différence, l'effet anthropique.

Dans le scénario 1980, les flux de nutriments augmentent considérablement : + 200% pour l'azote et 300% pour le phosphore.

En ce qui concerne la silice, dont la concentration est peu affectée par les activités urbaines et/ou industrielles, les différences entre les scénarios sont faibles.

Les différences marquées en termes de flux azotés et phosphorés entre la situation actuelle et le scénario des années 1980, ainsi que les faibles flux du scénario Grand Paris – *reflétant l'hypothèse qui a été faite ds progrès technologiques importants dans le domaine du contrôle de la qualité de l'eau* – montrent bien l'aspect primordial des STEPs. La comparaison entre tous ces scénarios a également l'avantage de bien distinguer les limites de stratégie de gestion basées uniquement sur les progrès techniques en terme de traitement de l'eau. Le scénario Grand Paris est finalement assez proche de la situation actuelle en terme d'exports de nutriments (approx. 70% des flux actuels). Des réductions plus drastiques, notamment de N, semblent ainsi clairement inatteignables sans avoir recours à d'autres

mesures, comme celles présentées dans les scénarios AgriDuale et AutoBioDem. D'une manière générale, c'est le scénario Autonome-Bio-Demitarrien qui abaisse le plus les niveaux de nitrate, et qui permet à la silice de se maintenir à un niveau favorisant la croissance des diatomées.

Concernant l'effet filtre de l'estuaire et de pourcentages de réduction (Figure 7), les différences les plus importantes entre scénarios en termes de % des flux abattus sont observées sur les flux de Phosphore. La capacité de rétention la plus forte (-50%) est opérée sur le scénario Pristine, tandis que les effets de filtre les plus faibles (approx. -30%) se passent sur les scénarios Référence et AutoBioDem.

Les réductions de silice (totale incluant la silice contenue dans les diatomées) sont toujours comprises entre -9 et -13% et celle de l'azote entre -10 et -13% selon les scénarios.

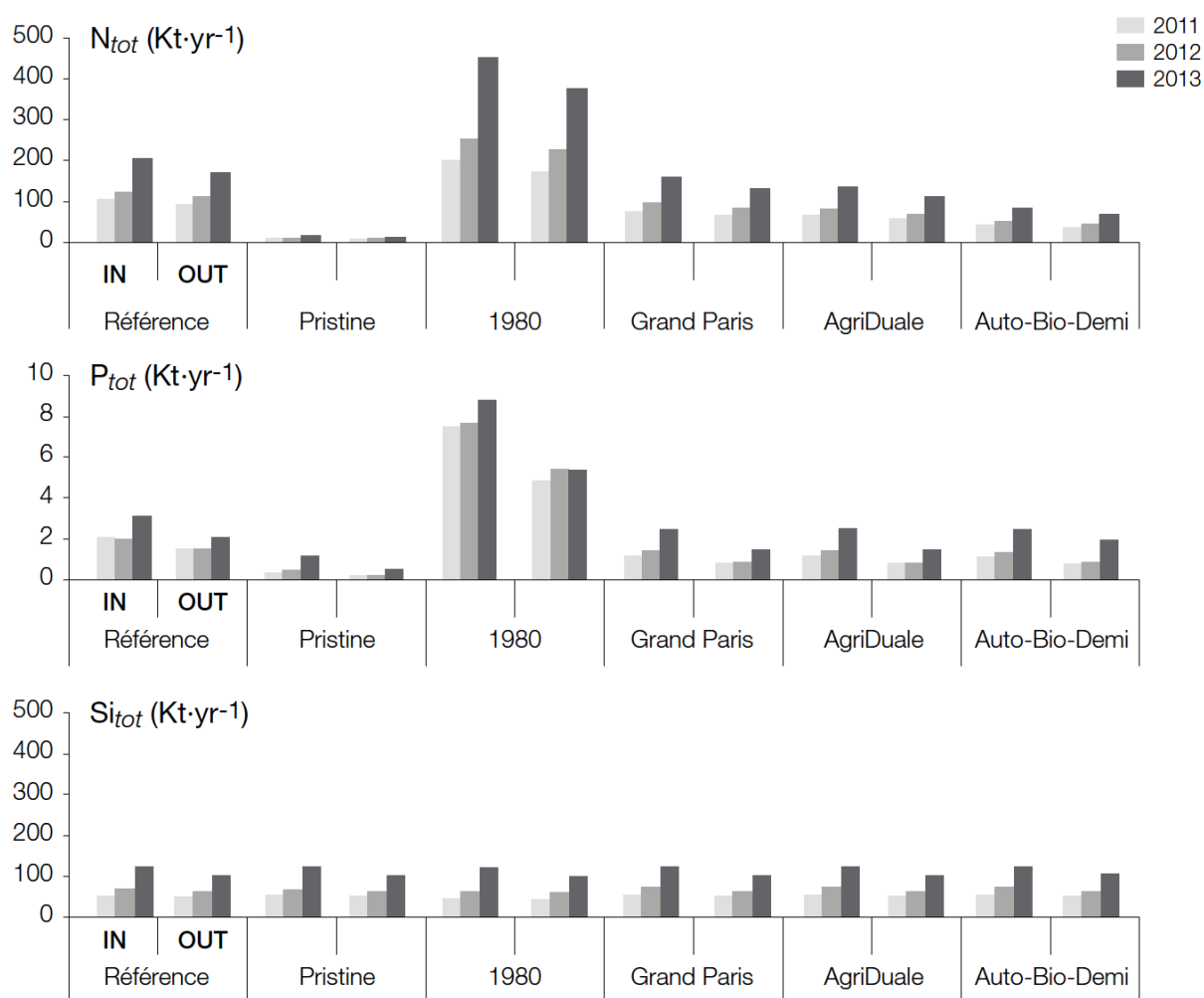


Figure 6. Différence entre les entrées et les sorties (kt par année) d'azote totale (N_{tot}), phosphore totale (P_{tot}) et silice (Si_{tot}) dans l'estuaire de la Seine (entre Poses et Le Havre) pour les différents scénarios.



Figure 7. Bilan de transformation (pourcentage de changement) pour l'azote totale (N_{tot}), le phosphore totale (P_{tot}) et la silice (Si_{tot}) dans l'estuaire de la Seine (entre Poses et Le Havre) pour les différents scénarios.

Les différences d'exports de nutriments depuis l'estuaire vers le milieu marin constatées entre les différents scénarios affectent la dynamique du phytoplancton en Baie de Seine. Les résultats des simulations de la biomasse des algues (Figure 8) montrent des blooms atteignant des concentrations algales plus importantes que pour la situation de référence à proximité de l'estuaire dans le scénario d'absence de réglementation (scénario 1980). Les trois scénarios Grand Paris, agriculture biologique autonome et agriculture duale montrent tous les trois des concentrations moyennes de chlorophylle inférieures à la situation de référence actuelle. Le scénario Pristine montre les concentrations les plus faibles. Les cartes de chlorophylle a mettent aussi en évidence l'importance des conditions d'hydraulicité dans la prolifération des algues, on voit en effet bien que la chlorophylle atteint des concentrations plus élevées pendant les années sèches (2011 dans notre période d'étude).

La production de dinoflagellés et de diatomées en baie de Seine est variable en fonction des scénarios (Figures 9 et 10). La situation Pristine est la seule pour laquelle le modèle simule l'absence totale de développement de dinoflagellés.

Chlorophylle a, moyenne annuelle

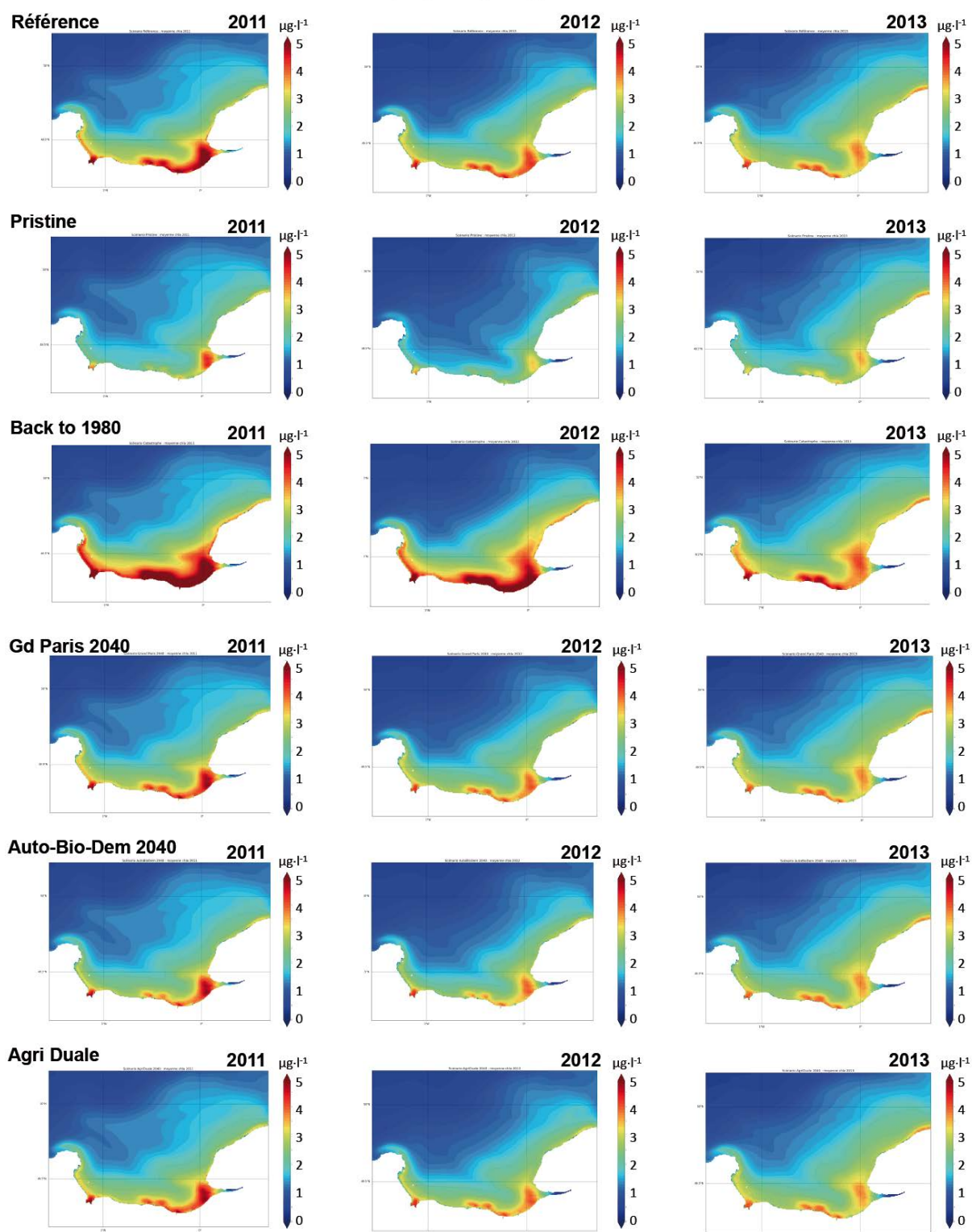


Figure 8. Concentration moyenne de chlorophylle en Baie de Seine pour les 5 scénarios et la référence (en haut).

Diatomées, moyenne annuelle

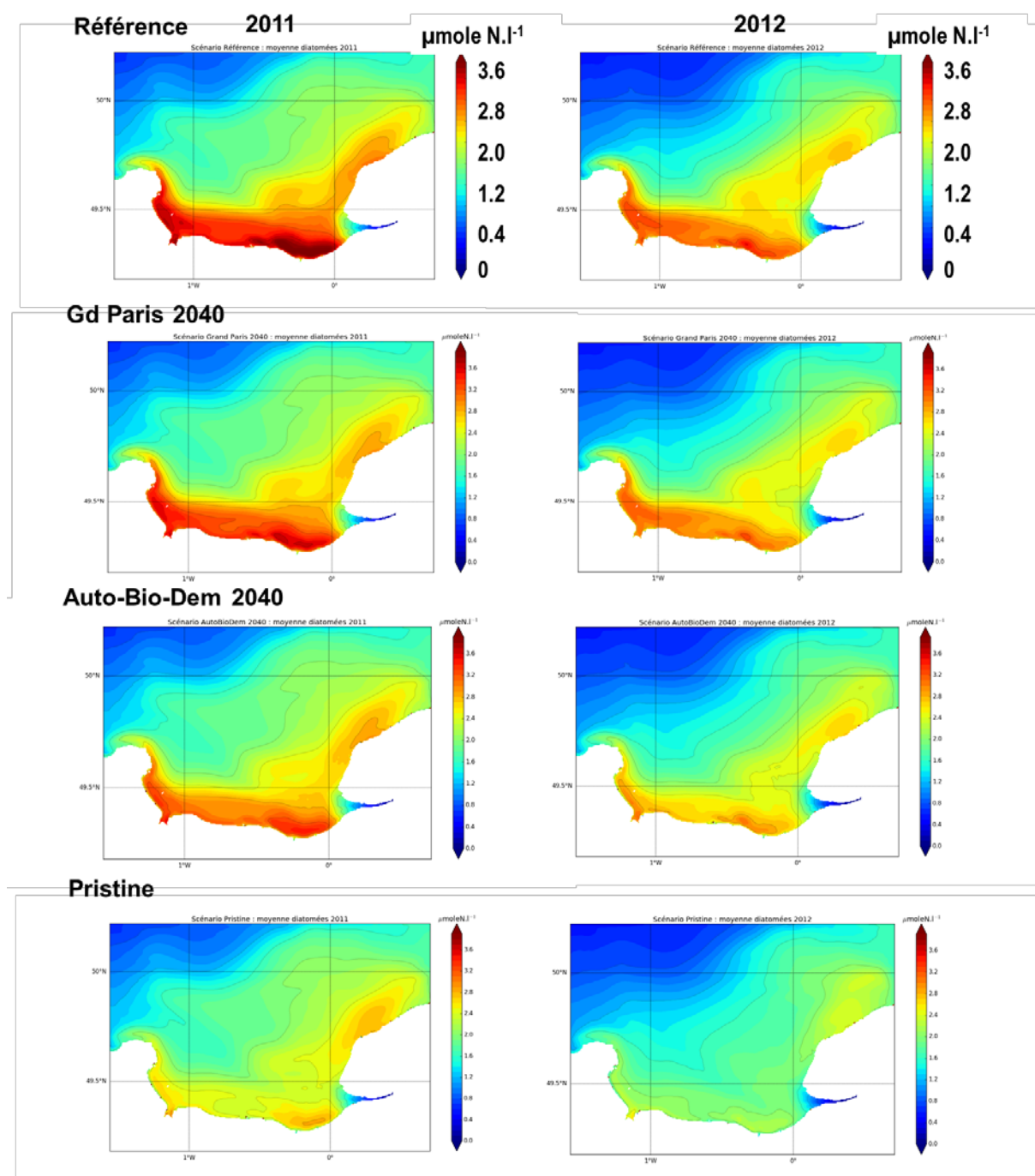


Figure 9. Concentration moyenne de diatomées en Baie de Seine pour 3 scénarios et la référence (en haut).

Dinoflagellés, moyenne annuelle

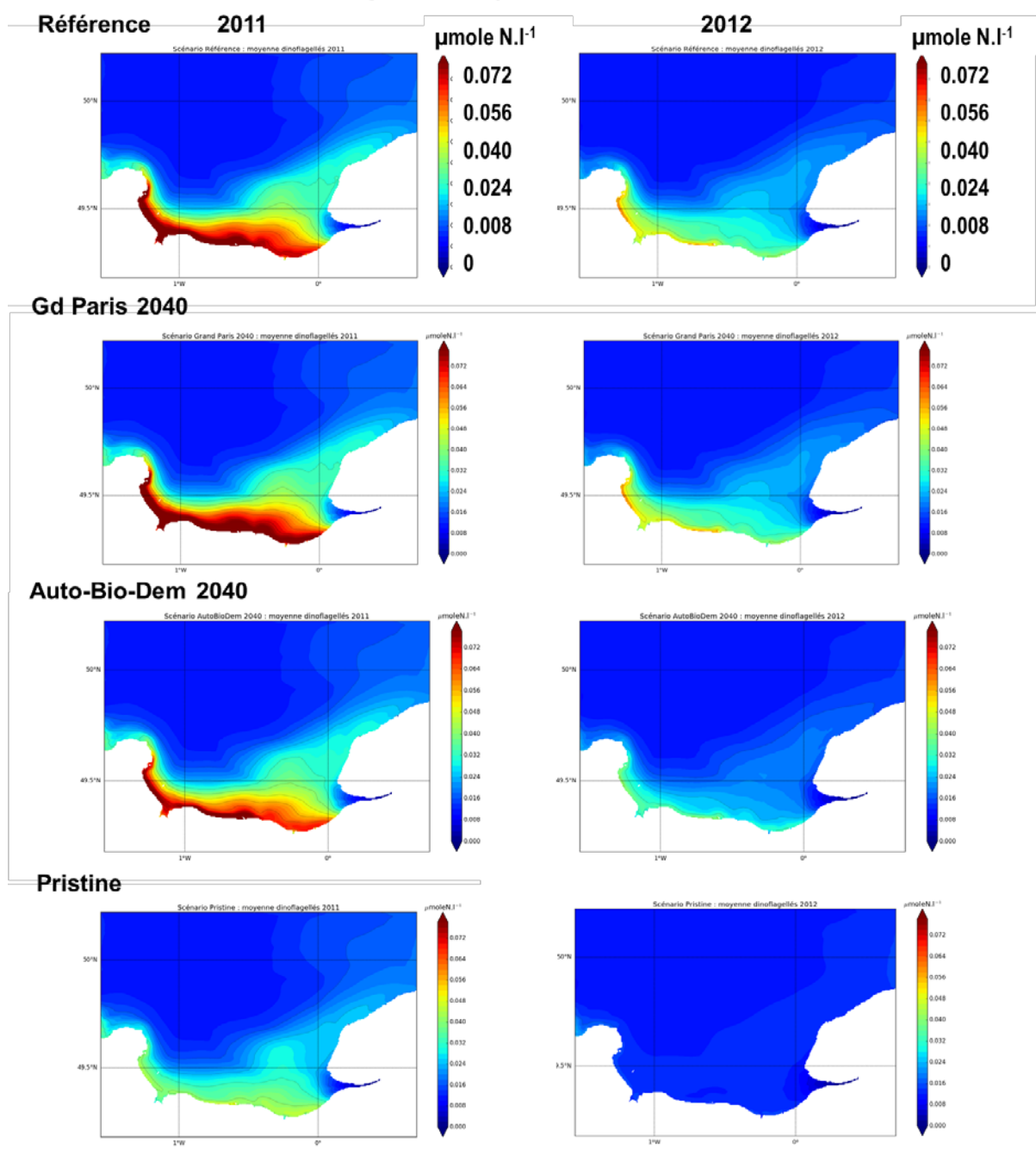


Figure 10. Concentration moyenne de dinoflagellés en Baie de Seine pour 3 scénarios et la référence (en haut).

3. Conclusion

La chaîne de modélisation a nécessité d'importants développements numériques du modèle Eco-Mars 3D pour en permettre l'application des processus biologiques à l'estuaire de Seine avec une résolution spatiale suffisante et permettre ainsi la simulation de la qualité de l'eau pour une période de référence actuelle pluriannuelle (2011-2013). Ce travail a eu le mérite de faire évoluer de manière significative la maquette d'écosystème Seneque-Riverstrahler/ECOMARS représentant le continuum terre-mer en baie de Seine. L'outil actuel a montré son efficacité en terme de représentation de la dynamique

biogéochimique estuarienne ainsi que dans la zone proche de l'embouchure de Seine. Ce développement nous a en effet permis d'évaluer le rôle filtre de l'estuaire vis-à-vis de l'azote, relativement faible, dans les conditions de référence actuelles, mais susceptible de s'accroître en valeur relative avec la diminution des flux de nutriments issus du bassin versant amont, amplifiant donc l'effet bénéfique que l'on peut attendre de cette diminution des flux sur le contrôle de l'eutrophisation côtière, caractérisée par le développement des dinoflagellés potentiellement toxiques, sans trop affecter pour autant le développement des diatomées qui sont à la base du réseau trophique (Cugier et al., 2005 ; Lancelot et al., 2011 ; Passy et al., 2016).

Perspectives/axes d'amélioration :

La complexité du modèle s'est accrue, en termes de processus et donc *a fortiori* de paramètres à calibrer. Les efforts de modélisation pendant le projet RESET se sont centrés principalement sur la capacité à représenter fidèlement le fonctionnement intra-estuarien jusqu'à l'embouchure de Seine, notamment dans l'objectif d'étudier la capacité de rétention/effet filtre de l'estuaire. Ce travail a également permis de mettre en lumière quelques perspectives d'améliorations qui seront à poursuivre ultérieurement afin de perfectionner la représentativité de la modélisation du continuum en baie de Seine. Celles-ci ont été regroupées en deux axes d'amélioration principaux.

Forçages aux interfaces atmosphériques et « océaniques »

Des projets antérieurs (e.g., DILEMES : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00188/29916/>) ont pointé l'importance des forçages atmosphériques mieux résolus (temporellement et spatialement) sur la qualité de la simulation de la circulation de surface en baie de Seine. Une amélioration à tester serait d'utiliser d'autres sources de forçages atmosphériques tel que le modèle AROME sur cette maquette ECOMARS3D baie de Seine. En terme de forçage aux limites marines, du « bruit » généré par la stratégie employée aux frontières ouvertes (offline, à pas de temps de 4 jours, issu de MANGA16 km) a pu être perçu sur certaines simulations. Par ailleurs, la paramétrisation de MANGA, bien qu'assez similaire, peut également être sensiblement différente sur certains paramètres. Avec la puissance de calcul désormais accessible sur les nouveaux calculateurs, une stratégie différente (e.g., imbrication AGRIF) pourrait être mise en place.

Saisonnalité et répartition spatiale des ratios entre les classes d'algues

La représentation, en termes de saisonnalité, comme de répartition spatiale des classes d'algues pourrait être affinée aussi bien dans l'estuaire qu'à la zone côtière via un travail spécifique de calibration des paramètres. Le modèle a tendance à surestimer les biomasses phytoplanctoniques sur l'Ouest de la baie de Seine par exemple, et a également tendance à surestimer les concentrations en dinoflagellés, beaucoup moins présente en moyenne sur la station Géfosse que sur les stations Antifer et Cabourg (cf. données REPHY). Au sein de l'estuaire, la limitation en terme de calibration/validation des proportions diatomées/chlorophycées ou encore du zooplancton est principalement due au fait que les données disponibles étaient acquises sur des profils longitudinaux ponctuels. Il serait donc intéressant à ce titre de disposer de séries annuelles voire pluri-annuelles permettant d'affiner la représentation de la phénologie de ces classes d'algues d'eau douce.

4. Références

- Billen, G., J. Garnier, A. Ficht, and C. Cun. 2001. Modeling the response of water quality in the Seine river estuary to human activity in its watershed over the last 50 years. *Estuaries* 24: 977-993.
- Billen, G., J. Garnier, and P. Hanset. 1994. Modelling phytoplankton development in whole drainage networks - the Riverstrahler model applied to the Seine River system. *Hydrobiologia* 289: 119-137.
- Billen, G., J. Garnier, J. Nemery, M. Sebilo, A. Sferratore, S. Barles, P. Benoit, and M. Benoit. 2007. A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum. *Sci Total Environ* 375: 80-97.
- Billen, G., Garnier, J. (2007). River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non siliceous algae. *Mar. Chem*, 106: 148-160. doi: 10.1016/j.marchem.2006.12.017
- Cugier, P., G. Billen, J.F. Guillaud, J. Garnier, and A. Ménesguen. 2005b. Modelling the eutrophication of the Seine Bight (France) under historical, present and future riverine nutrient loading. *Journal of Hydrology* 304: 381-396.
- Cugier, P., and P. Le Hir. 2002. Development of a 3D hydrodynamic model for coastal ecosystem modelling. Application to the plume of the Seine River (France). *Est Coastal Shelf Sci* 55: 673-695.
- Cugier, P., A. Menesguen, and J. F. Guillaud. 2005a. Three-dimensional (3D) ecological modelling of the Bay of Seine (English Channel, France). *J Sea Res* 54: 104-124.
- Cugier, P., C. Struski, M. Blanchard, J. Mazurie, S. Pouvreau, F. Olivier, J. R. Trigui, and E. Thiebaut. 2010. Assessing the role of benthic filter feeders on phytoplankton production in a shellfish farming site: Mont Saint Michel Bay, France. *J Mar Syst* 82: 21-34.
- Dauvin, J. C., and N. Desroy. 2005. The food web in the lower part of the Seine estuary: a synthesis of existing knowledge, *Hydrobiologia*, 540, 13-27.
- Garnier, J., R. Le Gendre, P. Passy, F. Paris, G. Billen, J. Callens, P. Cugier, O. Tronquart, E. Romero, P. Riou (2012) NEREIS, Nutrient export role on eutrophication. Indicators and model scenarios. Rapport Seine-Aval. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00092/20336/>
- Lancelot C, Thieu V., Polard A., **Garnier J.**, Billen G., Hecq W., Gypens N. (2011). Ecological and economic effectiveness of nutrient reduction policies on coastal Phaeocystis colony blooms in the Southern North Sea: an integrated modeling approach. *Sciences of the Total Environment* 409: 2179–2191. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.02.023.
- Lazure, P., and F. Dumas. 2008. An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Advances in Water Resources* 31: 233-250.
- Mouny, P., and J. C. Dauvin. 2002. Environmental control of mesozooplankton community structure in the Seine estuary (English Channel), *Oceanol Acta*, 25(1), 13-22.
- Passy, P., R. Le Gendre, J. Garnier, P. Cugier, J. Callens, F. Paris, G. Billen, P. Riou, and E. Romero. 2016. Eutrophication modelling chain for improved management strategies to prevent algal blooms in the Bay of Seine. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 543: 107-125.
- Romero, E., J. Garnier, G. Billen, P. Riou, A. Ramarson and R. Le Gendre., *en préparation*. The biogeochemical functioning of the Seine estuary and the nearby coastal zone: export, retention and transformations. A modelling approach.

ANNEXES

Annexe A. Principales équations différentielles utilisées dans le sous-modèle écologique. Une partie de ces formules a déjà été décrite dans Cugier et al. (2005a), mais des changements et de nouvelles équations ont été introduites pour tenir compte des particularités de l'estuaire.

1. Ammonium

$$\begin{aligned} \frac{dX_1}{dt} = & (k_{Nminer} \cdot f_T \cdot X_{12}) - (k_{nitrif} \cdot X_1) \\ & - \left[\frac{f_{NH4diat}}{f_{Ndiat}} \cdot \mu_{maxdiat} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ndiat}, f_{Sdiat}, f_{Pdiat}, f_{Ldiat}) \cdot X_6 + \frac{f_{NH4diatfresh}}{f_{Ndiatfresh}} \right. \\ & \cdot \mu_{maxdiatfresh} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ndiatfresh}, f_{Sdiatfresh}, f_{Pdiatfresh}, f_{Ldiatfresh}) \cdot X_7 + \frac{f_{NH4gra}}{f_{Ngra}} \\ & \cdot \mu_{maxgra} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ngra}, f_{Pgra}, f_{Lgra}) \cdot X_9 + \frac{f_{NH4nano}}{f_{Nnano}} \cdot \mu_{maxnano} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{Nnano}, f_{Pnano}, f_{Lnano}) \cdot X_{10} + \frac{f_{NH4dino}}{f_{Ndino}} \cdot \mu_{maxdino} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{Ndino}, f_{Pdino}, f_{Ldino}) \cdot X_{11} \left. \right] + \text{excr}_{meszoo} \cdot f_T \cdot G_{meszoo} \cdot X_{15} + \text{excr}_{miczoo} \cdot f_T \\ & \cdot G_{miczoo} \cdot X_{16} + \text{excr}_{miczoofresh} \cdot f_T \cdot G_{miczoofresh} \cdot X_{17} \end{aligned}$$

2. Nitrate

$$\begin{aligned} \frac{dX_2}{dt} = & (k_{nitrif} \cdot X_1) \\ & - \left[\frac{f_{NO3diat}}{f_{Ndiat}} \cdot \mu_{maxdiat} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ndiat}, f_{Sdiat}, f_{Pdiat}, f_{Ldiat}) \cdot X_6 + \frac{f_{NO3diatfresh}}{f_{Ndiatfresh}} \right. \\ & \cdot \mu_{maxdiatfresh} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ndiatfresh}, f_{Sdiatfresh}, f_{Pdiatfresh}, f_{Ldiatfresh}) \cdot X_7 + \frac{f_{NO3gra}}{f_{Ngra}} \\ & \cdot \mu_{maxgra} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ngra}, f_{Pgra}, f_{Lgra}) \cdot X_9 + \frac{f_{NO3nano}}{f_{Nnano}} \cdot \mu_{maxnano} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{Nnano}, f_{Pnano}, f_{Lnano}) \cdot X_{10} + \frac{f_{NO3dino}}{f_{Ndino}} \cdot \mu_{maxdino} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{Ndino}, f_{Pdino}, f_{Ldino}) \cdot X_{11} \left. \right] \end{aligned}$$

3. Silicate dissous

$$\begin{aligned} \frac{dX_3}{dt} = & (k_{Sidiss} \cdot f_T \cdot X_{13}) - r_{SiN} \cdot [\mu_{maxdiat} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ndiat}, f_{Sdiat}, f_{Pdiat}, f_{Ldiat}) \cdot X_6 + \mu_{maxdiatfresh} \\ & \cdot f_T \cdot \min(f_{Ndiatfresh}, f_{Sdiatfresh}, f_{Pdiatfresh}, f_{Ldiatfresh}) \cdot X_7] \end{aligned}$$

4. Phosphore dissous

$$\begin{aligned} \frac{dX_4}{dt} = & (k_{P\text{miner}} \cdot X_{14}) - r_{PN} \\ & \cdot [\mu_{\text{maxdiat}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{diat}}, f_{S\text{diat}}, f_{P\text{diat}}, f_{L\text{diat}}) \cdot X_6 + \mu_{\text{maxdiatfresh}} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{N\text{diatfresh}}, f_{S\text{diatfresh}}, f_{P\text{diatfresh}}, f_{L\text{diatfresh}}) \cdot X_7 + \mu_{\text{maxgra}} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{N\text{gra}}, f_{P\text{gra}}, f_{L\text{gra}}) \cdot X_9 + \mu_{\text{maxnano}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{nano}}, f_{P\text{nano}}, f_{L\text{nano}}) \cdot X_{10} \\ & + \mu_{\text{maxdino}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{dino}}, f_{P\text{dino}}, f_{L\text{dino}}) \cdot X_{11}] + r_{PN} \\ & \cdot (\text{excr}_{\text{meszoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{meszoo}} \cdot X_{15} + \text{excr}_{\text{miczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}} \cdot X_{16} + \text{excr}_{\text{miczoofresh}} \\ & \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoofresh}} \cdot X_{17}) - k_{\text{adsorp}} \cdot (Q_{\text{adsorpmax}} \cdot X_{SM} - X_5) \cdot X_4 \\ & + \frac{k_{\text{desorp}} \cdot X_5}{Q_{\text{adsorpmax}} \cdot X_{SM}} \cdot X_5 \end{aligned}$$

5. Phosphore adsorbé sur les particules

$$\frac{dX_5}{dt} = k_{\text{adsorp}} \cdot (Q_{\text{adsorpmax}} \cdot X_{SM} - X_5) \cdot X_4 - \frac{k_{\text{desorp}} \cdot X_5}{Q_{\text{adsorpmax}} \cdot X_{SM}} \cdot X_5$$

6. Diatomées (contenu en N)

$$\begin{aligned} \frac{dX_6}{dt} = & [\mu_{\text{maxdiat}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{diat}}, f_{S\text{diat}}, f_{P\text{diat}}, f_{L\text{diat}}) - m_{\text{diat}} \cdot f_T] \cdot X_6 \\ & - \left[\frac{\mu_{\text{maxmeszoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{meszoo}} \cdot \text{Mesz}_{\text{capt}} \cdot X_6}{\text{Mesz}_{\text{capt}} \cdot X_6 + \text{Mesz}_{\text{capt}} \cdot X_{11} + \text{Mesz}_{\text{capt}} \cdot X_{16}} \right] \cdot X_{15} \\ & - \left[\frac{\mu_{\text{maxmiczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}} \cdot \text{Micz}_{\text{capt}} \cdot X_6}{\text{Micz}_{\text{capt}} \cdot X_6 + \text{Micz}_{\text{capt}} \cdot X_{10} + \text{Micz}_{\text{capt}} \cdot \min(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14})} \right] \\ & \cdot X_{16} \end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique, la chute et la remise en suspension:

$$\frac{dX_6}{dt} = \frac{dX_6}{dt} - \frac{f_{\text{iltbenth}} \cdot f_{\text{SINUS}}}{D_{\text{bottom}}} \cdot X_6 - v_{f\text{alldiato}} \cdot X_6 + f_{\text{lxeros}} \cdot \left(\frac{u_{\text{bottom}}}{v_{\text{criteros}}} - 1 \right)$$

7. Diatomées d'eau douce (contenu en N)

$$\begin{aligned} \frac{dX_7}{dt} = & [\mu_{\text{maxdiatfresh}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{diatfresh}}, f_{S\text{diatfresh}}, f_{P\text{diatfresh}}, f_{L\text{diatfresh}}) - m_{\text{diatfresh}} \cdot f_T] \cdot X_7 \\ & - \left[\frac{\mu_{\text{maxmiczoofresh}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoofresh}} \cdot \text{Micz}_{\text{fresh}} \cdot X_7}{\text{Micz}_{\text{fresh}} \cdot X_7 + \text{Micz}_{\text{fresh}} \cdot X_9 + \text{Micz}_{\text{fresh}} \cdot \min(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14})} \right] \cdot X_{17} \end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique, la chute et la remise en suspension:

$$\frac{dX_7}{dt} = \frac{dX_7}{dt} - \frac{f_{\text{iltbenth}} \cdot f_{\text{SINUS}}}{D_{\text{bottom}}} \cdot X_7 - v_{f\text{alldiato}} \cdot X_7 + f_{\text{lxeros}} \cdot \left(\frac{u_{\text{bottom}}}{v_{\text{criteros}}} - 1 \right)$$

8. Diatomées benthiques (contenu en N)

$$\frac{dX_8}{dt} = v_{falldiato} \cdot (X_6 + X_7) - flx_{eros} \cdot \left(\frac{u_{bottom}}{v_{crit_{eros}}} - 1 \right) - m_{diatsed} \cdot f_T \cdot X_8$$

9. Chlorophycées (contenu en N)

$$\begin{aligned} \frac{dX_9}{dt} &= [\mu_{maxgra} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ngra}, f_{Pgra}, f_{Lgra}) - m_{gra} \cdot f_T] \cdot X_9 \\ &- \left[\frac{\mu_{maxmiczoofresh} \cdot f_T \cdot G_{miczoofresh} \cdot Miczfresh_{captchlo} \cdot X_9}{Miczfresh_{captdiato} \cdot X_7 + Miczfresh_{captchlo} \cdot X_9 + Miczfresh_{captidet} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \cdot X_{17} \end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique:

$$\frac{dX_9}{dt} = \frac{dX_9}{dt} - \frac{filtbenth_{max} \cdot f_{SINUS}}{D_{bottom}} \cdot X_9$$

10. Nanophytoplankton (contenu en N)

$$\begin{aligned} \frac{dX_{10}}{dt} &= [\mu_{maxnano} \cdot f_T \cdot \min(f_{Nnano}, f_{Pnano}, f_{Lnano}) - m_{nano} \cdot f_T] \cdot X_{10} \\ &- \left[\frac{\mu_{maxmiczoo} \cdot f_T \cdot G_{miczoo} \cdot Miczcaptnano \cdot X_{10}}{Miczcaptdiato \cdot X_6 + Miczcaptnano \cdot X_{10} + Miczcaptidet \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \\ &\cdot X_{16} \end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique:

$$\frac{dX_{10}}{dt} = \frac{dX_{10}}{dt} - \frac{filtbenth_{max} \cdot f_{SINUS}}{D_{bottom}} \cdot X_{10}$$

11. Dinoflagellés (contenu en N)

$$\begin{aligned} \frac{dX_{11}}{dt} &= [\mu_{maxdino} \cdot f_T \cdot \min(f_{Ndino}, f_{Pdino}, f_{Ldino}) - m_{dino} \cdot f_T] \cdot X_{11} \\ &- \left[\frac{\mu_{maxmeszoo} \cdot f_T \cdot G_{meszoo} \cdot Meszcaptdino \cdot X_{11}}{Meszcaptdiato \cdot X_6 + Meszcaptdino \cdot X_{11} + Meszcaptmicz \cdot X_{16}} \right] \cdot X_{15} \end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique:

$$\frac{dX_{11}}{dt} = \frac{dX_{11}}{dt} - \frac{filtbenth_{max} \cdot f_{SINUS}}{D_{bottom}} \cdot X_{11}$$

12. Azote organique détritique

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{12}}{dt} = & -(k_{N\text{miner}} \cdot f_T \cdot X_{12}) + (m_{\text{diat}} \cdot f_T \cdot X_6) + (m_{\text{diatfresh}} \cdot f_T \cdot X_7) + (m_{\text{gra}} \cdot f_T \cdot X_9) \\
& + (m_{\text{nano}} \cdot f_T \cdot X_{10}) + (m_{\text{dino}} \cdot f_T \cdot X_{11}) \\
& + [(m_{\text{meszoo}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{15} \cdot f_T) + (1 - \text{Assim}_{\text{meszoo}}) \cdot \mu_{\text{maxmeszoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{meszoo}}] \\
& \cdot X_{15} \\
& + \left[(m_{\text{miczoo}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{16} \cdot f_T) + (1 - \text{Assim}_{\text{miczoo}}) \cdot \mu_{\text{maxmiczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}} \right. \\
& \left. - \frac{\mu_{\text{maxmiczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}} \cdot \text{Miczcaptdet} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)}{\text{Miczcaptdiato} \cdot X_6 + \text{Miczcaptnano} \cdot X_{10} + \text{Miczcaptdet} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \cdot X_{16} \\
& + \left[(m_{\text{miczoofresh}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{17} \cdot f_T) + (1 - \text{Assim}_{\text{miczoofresh}}) \cdot \mu_{\text{maxmiczoofresh}} \cdot f_T \right. \\
& \cdot G_{\text{miczoofresh}} \\
& \left. - \frac{\mu_{\text{maxmiczoofresh}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoofresh}} \cdot \text{Miczfreshcaptdet} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)}{\text{Miczfreshcaptdiato} \cdot X_6 + \text{Miczfreshcaptnano} \cdot X_{10} + \text{Miczfreshcaptdet} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \cdot X_{17}
\end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique, la chute et la remise en suspension:

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{12}}{dt} = & \frac{dX_{12}}{dt} + \frac{\text{filtbenth}_{\text{max}} \cdot f_{\text{SINUS}}}{D_{\text{bottom}}} \cdot (X_6 + X_7 + X_9 + X_{10} + X_{11}) - v_{\text{falldet}} \cdot X_{12} + \text{flx}_{\text{eros}} \\
& \cdot \left(\frac{u_{\text{bottom}}}{v_{\text{crit}_{\text{eros}}}} - 1 \right)
\end{aligned}$$

13. Silice biogénique détritique

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{13}}{dt} = & -(k_{\text{Si diss}} \cdot f_T \cdot X_{13}) + (m_{\text{diat}} \cdot f_T \cdot r_{\text{SiN}} \cdot X_6) + (m_{\text{diatfresh}} \cdot f_T \cdot r_{\text{SiN}} \cdot X_7) \\
& + \left[\frac{\mu_{\text{maxmeszoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{meszoo}} \cdot \text{Meszcaptdiato} \cdot X_6}{\text{Meszcaptdiato} \cdot X_6 + \text{Meszcaptdino} \cdot X_{11} + \text{Meszcaptmicz} \cdot X_{16}} \right] \cdot X_{15} \cdot r_{\text{SiN}} \\
& + \left[\frac{\mu_{\text{maxmiczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}} \cdot \text{Miczcaptdiato} \cdot X_6}{\text{Miczcaptdiato} \cdot X_6 + \text{Miczcaptnano} \cdot X_{10} + \text{Miczcaptdet} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \cdot X_{16} \cdot r_{\text{SiN}} \\
& + \left[\frac{\mu_{\text{maxmiczoofresh}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoofresh}} \cdot \text{Miczfreshcaptdiato} \cdot X_7}{\text{Miczfreshcaptdiato} \cdot X_7 + \text{Miczfreshcaptchlo} \cdot X_9 + \text{Miczfreshcaptdet} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \cdot X_{17} \\
& \cdot r_{\text{SiN}}
\end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique, la chute et la remise en suspension:

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{13}}{dt} = & \frac{dX_{13}}{dt} + \frac{\text{filtbenth}_{\text{max}} \cdot f_{\text{SINUS}}}{D_{\text{bottom}}} \cdot (X_6 + X_7) \cdot r_{\text{SiN}} - v_{\text{falldet}} \cdot X_{13} + \text{flx}_{\text{eros}} \cdot \left(\frac{u_{\text{bottom}}}{v_{\text{crit}_{\text{eros}}}} - 1 \right) \\
& \cdot r_{\text{SiN}}
\end{aligned}$$

14. Phosphore organique détritique

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{14}}{dt} = & -(k_{P\text{miner}} \cdot f_T \cdot X_{14}) + r_{PN} \cdot f_T \\
& \cdot [(m_{\text{diat}} \cdot X_6) + (m_{\text{diatfresh}} \cdot X_7) + (m_{\text{gra}} \cdot X_9) + (m_{\text{nano}} \cdot X_{10}) + (m_{\text{dino}} \cdot X_{11})] \\
& + [(m_{\text{meszoo}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{15} \cdot f_T) + (1 - \text{Assim}_{\text{meszoo}}) \cdot \mu_{\text{maxmeszoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{meszoo}}] \\
& \cdot X_{15} \cdot r_{PN} \\
& + \left[(m_{\text{miczoo}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{16} \cdot f_T) + (1 - \text{Assim}_{\text{miczoo}}) \cdot \mu_{\text{maxmiczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}} \right. \\
& \left. - \frac{\mu_{\text{maxmiczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}} \cdot \text{Miczcapt}_{\text{det}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)}{\text{Miczcapt}_{\text{diato}} \cdot X_6 + \text{Miczcapt}_{\text{nano}} \cdot X_{10} + \text{Miczcapt}_{\text{det}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \\
& \cdot X_{16} \cdot r_{PN} \\
& + \left[(m_{\text{miczoofresh}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{17} \cdot f_T) + (1 - \text{Assim}_{\text{miczoofresh}}) \cdot \mu_{\text{maxmiczoofresh}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoofresh}} \right. \\
& \left. - \frac{\mu_{\text{maxmiczoofresh}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoofresh}} \cdot \text{Miczfresh}_{\text{capt}_{\text{det}}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)}{\text{Miczcapt}_{\text{diato}} \cdot X_6 + \text{Miczcapt}_{\text{nano}} \cdot X_{10} + \text{Miczcapt}_{\text{det}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right)} \right] \\
& \cdot X_{17} \cdot r_{PN}
\end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de fond seulement, le pâturage benthique, la chute et la remise en suspension:

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{14}}{dt} = & \frac{dX_{14}}{dt} + \frac{\text{filtbenth}_{\text{max}} \cdot f_{\text{SINUS}}}{D_{\text{bottom}}} \cdot (X_6 + X_7 + X_9 + X_{10} + X_{11}) \cdot r_{PN} - v_{\text{fall}_{\text{det}}} \cdot X_{14} + \text{fl}_{\text{eros}} \\
& \cdot \left(\frac{u_{\text{bottom}}}{v_{\text{crit}_{\text{eros}}}} - 1 \right) \cdot r_{PN}
\end{aligned}$$

15. Mesozooplancton (contenu en N)

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{15}}{dt} = & [(\mu_{\text{maxmeszoo}} \cdot \text{Assim}_{\text{meszoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{meszoo}}) - (\text{excr}_{\text{meszoo}} \cdot f_T \cdot X_{15}) \\
& - (m_{\text{meszoo}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{15} \cdot f_T)] \cdot X_{15}
\end{aligned}$$

16. Microzooplancton (contenu en N)

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{16}}{dt} = & [(\mu_{\text{maxmiczoo}} \cdot \text{Assim}_{\text{miczoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoo}}) - (\text{excr}_{\text{miczoo}} \cdot f_T \cdot X_{16}) \\
& - (m_{\text{miczoo}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{16} \cdot f_T)] \cdot X_{16} \\
& - \left[\frac{\mu_{\text{maxmeszoo}} \cdot f_T \cdot G_{\text{meszoo}} \cdot \text{Meszcapt}_{\text{micz}} \cdot X_{16}}{\text{Meszcapt}_{\text{diato}} \cdot X_6 + \text{Meszcapt}_{\text{dino}} \cdot X_{11} + \text{Meszcapt}_{\text{micz}} \cdot X_{16}} \right] \cdot X_{15}
\end{aligned}$$

17. Microzooplancton d'eau douce (contenu en N)

$$\begin{aligned}
\frac{dX_{17}}{dt} = & [(\mu_{\text{maxmiczoofresh}} \cdot \text{Assim}_{\text{miczoofresh}} \cdot f_T \cdot G_{\text{miczoofresh}}) - (\text{excr}_{\text{miczoofresh}} \cdot f_T \cdot X_{17}) \\
& - (m_{\text{miczoofresh}} + m_{\text{fzoo}} \cdot X_{17} \cdot f_T)] \cdot X_{17}
\end{aligned}$$

18. Oxygène

$$\begin{aligned} \frac{dX_{18}}{dt} = & r_{PS} \cdot r_{O2N} \cdot \\ & \cdot [\mu_{\max\text{diat}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{diat}}, f_{S\text{diat}}, f_{P\text{diat}}, f_{L\text{diat}}) \cdot X_6 + \mu_{\max\text{diatfresh}} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{N\text{diatfresh}}, f_{S\text{diatfresh}}, f_{P\text{diatfresh}}, f_{L\text{diatfresh}}) \cdot X_7 + \mu_{\max\text{gra}} \cdot f_T \\ & \cdot \min(f_{N\text{gra}}, f_{P\text{gra}}, f_{L\text{gra}}) \cdot X_9 + \mu_{\max\text{nano}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{nano}}, f_{P\text{nano}}, f_{L\text{nano}}) \cdot X_{10} \\ & + \mu_{\max\text{dino}} \cdot f_T \cdot \min(f_{N\text{dino}}, f_{P\text{dino}}, f_{L\text{dino}}) \cdot X_{11}] - r_{O2N} \cdot f_T \\ & \cdot [\theta_{\text{respphyto}} \\ & \cdot ((1 - f_{L\text{diat}}) \cdot X_6 + (1 - f_{L\text{dino}}) \cdot X_{11} + (1 - f_{L\text{nano}}) \cdot X_{10} + (1 - f_{L\text{freshdiat}}) \cdot X_7 \\ & + (1 - f_{L\text{freshgra}}) \cdot X_9) + \theta_{\text{respzoo}} \cdot (X_{15} + X_{16} + X_{17})] - K_{O2\text{reminer}} \cdot r_{O2N} \cdot X_{12} \\ & - K_{\text{nirif}} \cdot r_{O2\text{nitrif}} \cdot X_1 \end{aligned}$$

Et pour la couche d'eau de surface seulement:

$$\frac{dX_{18}}{dt} = \frac{dX_{18}}{dt} + \frac{0.64 + 0.0256 \cdot \left(\frac{Wind}{0.447}\right)^2}{D_{\text{surface}}} \cdot (X_{\text{SatO2}} - X_{18})$$

19. Spécifications additionnelles

$$G_{\text{meszoo}} = 1 - \exp\left(-\gamma_{\text{meszoo}}(Mesz_{\text{capt\text{diat}}} \cdot X_6 + Mesz_{\text{capt\text{dino}}} \cdot X_{11} + Mesz_{\text{capt\text{micz}}} \cdot X_{16} - Pr_{\text{thresmeszoo}})\right)$$

$$\begin{aligned} G_{\text{miczoo}} &= \frac{Micz_{\text{capt\text{diato}}} \cdot X_6 + Micz_{\text{capt\text{nano}}} \cdot X_{10} + Micz_{\text{capt\text{det}}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right) - Pr_{\text{thresmiczoo}}}{K_{\text{miczoo}} + Micz_{\text{capt\text{diato}}} \cdot X_6 + Micz_{\text{capt\text{nano}}} \cdot X_{10} + Micz_{\text{capt\text{det}}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right) - Pr_{\text{thresmiczoo}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{\text{miczoofresh}} &= \frac{Miczfresh_{\text{capt\text{diato}}} \cdot X_7 + Miczfresh_{\text{capt\text{chlo}}} \cdot X_9 + Miczfresh_{\text{capt\text{det}}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right) - Pr_{\text{thresmiczoo}}}{K_{\text{miczoofresh}} + Miczfresh_{\text{capt\text{diato}}} \cdot X_7 + Miczfresh_{\text{capt\text{chlo}}} \cdot X_9 + Miczfresh_{\text{capt\text{det}}} \cdot \min\left(X_{12}, \frac{1}{r_{PN}} X_{14}\right) - Pr_{\text{thresmiczoo}}} \end{aligned}$$

Où:

f_{SINUS} = fonction sinusoïdale de la variabilité saisonnière pour la filtration benthique

$f_{\text{NH4}}, f_{\text{NO3}}, f_N, f_P, f_{Si}$ = Effet limitant des éléments nutritifs pour le phytoplancton

f_L = Effet limitant de la lumière pour le phytoplancton

X_{SM} = Concentration totale de matières en suspension ($\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)

D_{bottom} = Épaisseur de la couche d'eau de fond (m)

D_{surface} = Épaisseur de la couche d'eau de surface (m)

$v_{\text{falldiato}}$ = Vitesse de chute des diatomées

u_{bottom} = Courant moyen dans la couche d'eau de fond

$wind$ = Vitesse du vent ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Annexe B. Paramètres et variables d'état utilisés dans le sous-modèle écologique. Pour plus de détails, consultez:
[\[http://www.ifremer.fr/docmars/html/parametrage.bio.html\]](http://www.ifremer.fr/docmars/html/parametrage.bio.html)

Paramètre	Définition	Unités	Valeur
<i>Paramètres généraux</i>			
r_{SiN}	Si/N ratio	$\text{molSi} \cdot \text{molN}^{-1}$	0.75
r_{PN}	P/N ratio	$\text{molN} \cdot \text{molP}^{-1}$	0.062
$r_{CNphyto}$	C/N ratio in phytoplankton	$\text{molC} \cdot \text{molN}^{-1}$	6.625
r_{CNzoo}	C/N ratio in zooplankton	$\text{molC} \cdot \text{molN}^{-1}$	5.45
r_{ChlN}	Chlorophyll <i>a</i> /N ratio	$\text{g chl} \cdot \text{molN}^{-1}$	1.59
$r_{ChlNmax}$	Maximum Chlorophyll <i>a</i> /N ratio	$\text{g chl} \cdot \text{molN}^{-1}$	2.5
$r_{ChlNextinct}$	Extinction value	m^{-1}	1.0
T_{effect}	Temperature effect on processes	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0.07
m_{fzoo}	Biomass-dependent mortality rate of zooplankton at 0°C	$\text{dm}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \mu\text{molN}^{-1}$	0.04
Sal_{thres}	Salinity threshold between freshwater and marine biology	psu	5
<i>Diatomées</i>			
$\mu_{maxdiat}$	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	0.6
$IK_{optdiat}$	Smith optimal light flux	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	60
$K_{NO3diat}$	Half satur. constant for NO_3^-	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	2.00
$K_{NH4diat}$	Half satur. constant for NH_4^+	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.50
$K_{PO4diat}$	Half satur. constant for PO_4^{3-}	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.15
K_{Sidiat}	Half satur. constant for SiO_2	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.00
m_{diat}	Mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.015
<i>Diatomées d'eau douce</i>			
$\mu_{maxdiatfresh}$	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	0.30
$IK_{optdiatfresh}$	Smith optimal light flux	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	40
$K_{NO3diatfresh}$	Half satur. constant for NO_3^-	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.00
$K_{NH4diatfresh}$	Half satur. constant for NH_4^+	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.00
$K_{PO4diatfresh}$	Half satur. constant for PO_4^{3-}	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.50
$K_{Sidiatfresh}$	Half satur. constant for SiO_2	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	7.00
$m_{diatfresh}$	Mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.18

Paramètre	Définition	Unités	Valeur
<i>Algues vertes d'eau douce (Chlorophyceae)</i>			
μ_{maxgra}	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	0.68
IK_{optgra}	Smith optimal light flux	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	40
K_{NO3gra}	Half satur. constant for NO_3^-	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.00
K_{NH4gra}	Half satur. constant for NH_4^+	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.00
K_{PO4gra}	Half satur. constant for PO_4^{3-}	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.94
m_{gra}	Mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.36
<i>Nanophytoplankton</i>			
$\mu_{maxnano}$	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	0.8
$IK_{optnano}$	Smith optimal light flux	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	70
$K_{NO3nano}$	Half satur. constant for NO_3^-	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.10
$K_{NH4nano}$	Half satur. constant for NH_4^+	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.05
$K_{PO4nano}$	Half satur. constant for PO_4^{3-}	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.05
m_{nano}	Mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.15
<i>Dinoflagellés</i>			
$\mu_{maxdino}$	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	0.40
$IK_{optdino}$	Smith optimal light flux	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	70
$K_{NO3dino}$	Half satur. constant for NO_3^-	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	3.00
$K_{NH4dino}$	Half satur. constant for NH_4^+	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.90
$K_{PO4dino}$	Half satur. constant for PO_4^{3-}	$\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.10
m_{dino}	Mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.02
<i>Microzooplankton</i>			
$\mu_{maxmiczoo}$	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	0.4
K_{miczoo}	Half satur. constant	$\mu\text{molN} \cdot \text{dm}^{-3}$	1.0
$Assim_{miczoo}$	Assimilation efficiency	-	0.60
$Pr_{thresmiczoo}$	Predation threshold	$\mu\text{molN} \cdot \text{dm}^{-3}$	0.10
$excr_{miczoo}$	Excretion at 0°C	d^{-1}	0.10
m_{miczoo}	Mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.02

Paramètre	Définition	Unités	Valeur
<i>Microzooplancton d'eau douce</i>			
$\mu_{\max\text{miczoofresh}}$	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	1.60
$K_{\text{miczoofresh}}$	Half saturation constant	$\mu\text{molN}\cdot\text{dm}^{-3}$	4.0
$\text{Assim}_{\text{miczoofresh}}$	Assimilation efficiency	-	0.45
$\text{Pr}_{\text{thresmiczoofresh}}$	Nanophyto. predation threshold	$\mu\text{molN}\cdot\text{dm}^{-3}$	0.10
$\text{excr}_{\text{miczoofresh}}$	Excretion at 0°C	d^{-1}	0.72
$m_{\text{miczoofresh}}$	Mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.02
<i>Mesozooplancton</i>			
$\mu_{\max\text{meszoo}}$	Max. growth rate at 0°C	d^{-1}	0.25
γ_{meszoo}	Slope of Ivlev function	$\text{dm}^3\cdot\mu\text{molN}^{-1}$	0.30
$\text{Assim}_{\text{meszoo}}$	Assimilation efficiency	-	0.60
$\text{Pr}_{\text{thresmeszoo}}$	Predation threshold	$\mu\text{molN}\cdot\text{dm}^{-3}$	2.0
$\text{excr}_{\text{meszoo}}$	Excretion at 0°C	d^{-1}	0.03
m_{meszoo}	Min. mortality rate at 0°C	d^{-1}	0.05
<i>Matière organique détritique</i>			
k_{Nminer}	N mineralization rate at 0°C	d^{-1}	0.02
k_{Pminer}	P mineralization rate at 0°C	d^{-1}	0.15
k_{Sidiss}	Si dissolution rate at 0°C	d^{-1}	0.07
$k_{\text{Nminerbent}}$	Benthic N mineraliz. rate at 0°C	d^{-1}	0.002
$k_{\text{Pminerbent}}$	Benthic P mineraliz. rate at 0°C	d^{-1}	0.015
$k_{\text{Sidissbent}}$	Benthic Si dissolut. rate at 0°C	d^{-1}	0.05
$k_{\text{minerbent}}$	Mineraliz. ratio in the benthos	-	0.2
<i>Oxygène</i>			
r_{ps}	Photosynthetic ratio	-	1.20
$r_{\text{O}_2\text{N}}$	Photosynthetic O_2/N ratio	$\text{mg}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$	0.212
$r_{\text{O}_2\text{nitrif}}$	Nitrification O_2/N ratio	$\text{mg}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$	0.064
$K_{\text{O}_2\text{miner}}$	Half satur. constant for O_2 mineralization	$\text{mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$	1.20
$k_{\text{nitrifsea}}$	Nitrification rate in seawater at 0°C	d^{-1}	0.04
$k_{\text{nitriffresh}}$	Nitrific. rate in freshwater at 0°C	d^{-1}	0.20
$k_{\text{nitrifsed}}$	Nitrific. rate in sediment at 0°C	d^{-1}	0.02
$\square_{\text{espphyto}}$	Phytoplankton respiration rate	$\text{mgO}_2\cdot\text{d}^{-1}\cdot\mu\text{molN}^{-1}$	0.030
\square_{espzoo}	Zooplankton respiration rate	$\text{mgO}_2\cdot\text{d}^{-1}\cdot\mu\text{molN}^{-1}$	0.050

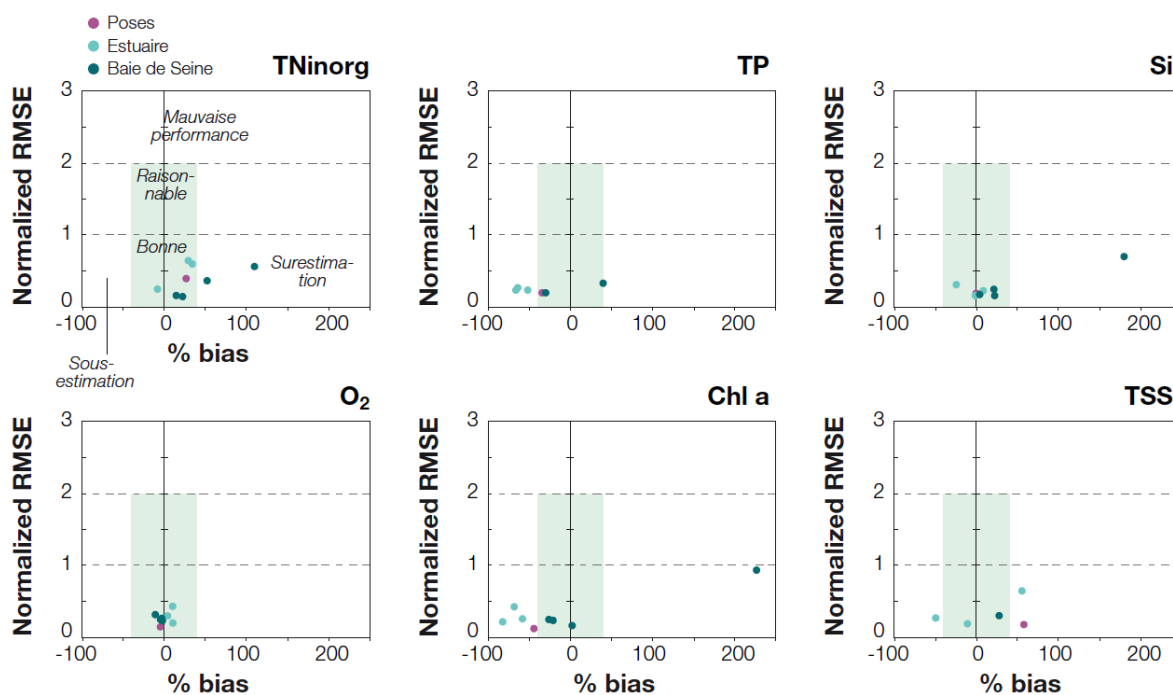
Paramètre	Définition	Unités	Valeur
<i>P adsorbé sur les particules</i>			
k_{desorp}	P desorption rate	d^{-1}	2.4
k_{adsorp}	P adsorption rate	$\text{dm}^3\cdot\mu\text{molP}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$	0.12
Q_{adsorpmx}	Maximum P adsorption capacity in suspended matter	$\mu\text{molP}\cdot\text{g}^{-1}$	40
$Q_{\text{adsorpmxSed}}$	Maximum P adsorption capacity in the sediment	$\mu\text{molP}\cdot\text{g}^{-1}$	7
<i>Taux de pâturage</i>			
$\text{Mesz}_{\text{capt\text{diat}}}$	Grazing on diatoms by mesozooplankton	-	1.0
$\text{Mesz}_{\text{capt\text{dino}}}$	Grazing on dinoflagellates by mesozooplankton	-	0.1
$\text{Mesz}_{\text{capt\text{micz}}}$	Grazing on microzooplankton by mesozooplankton	-	0.7
$\text{Micz}_{\text{capt\text{diato}}}$	Grazing on diatoms by microzooplankton	-	0.0
$\text{Micz}_{\text{capt\text{nano}}}$	Grazing on nanoflagellates by microzooplankton	-	1.0
$\text{Micz}_{\text{capt\text{det}}}$	Grazing on detrital organic matter by microzooplankton	-	0.8
$\text{Miczfresh}_{\text{capt\text{diat}}}$	Grazing on diatoms by freshwater microzooplankton	-	1.0
$\text{Miczfresh}_{\text{capt\text{chlo}}}$	Grazing on green algae by freshwater microzooplankton	-	0.3
$\text{Miczfresh}_{\text{capt\text{det}}}$	Grazing on detrital organic matter by freshwater microzoo.	-	0.8
<i>Benthos et interface eau-sédiment</i>			
$\text{filtbenth}_{\text{max}}$	Maximum benthic filtration rate	$\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	1.0
m_{diatsed}	Mortality rate of benthic diatoms at 0°C	d^{-1}	0.05
flx_{eros}	Erosion flux	$\text{mmolN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$3\cdot 10^{-4}$
$\text{vcrit}_{\text{eros}}$	Critical speed for erosion	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.10
$\text{vcrit}_{\text{depos}}$	Critical speed for deposition	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.40

Annexe C. Graphiques de validation générale du modèle. Performances du modèle pour diverses variables en termes de RMSE normalisée et de biais. La moyenne journalière modèle est comparée avec la valeur "instantanée" mesurée.

$\% \text{ biais} = 100 * (\text{somme}(\text{modèle-obs}) / \text{somme}(\text{obs})) ;$

$\text{NRMSE} = \text{Racine carrée}(\text{moyenne}((\text{modèle-obs})^2)) / (\text{maximum}(\text{obs}) - \text{minimum}(\text{obs})).$

La surface bleutée du diagramme recouvre la zone de bonne performance du modèle.



POUR PLUS D'INFORMATIONS SUR LE GIP SEINE-AVAL

www.seine-aval.fr

CONTACT

Groupelement d'Intérêt Public Seine-Aval
Pôle Régional des Savoirs
115, Boulevard de l'Europe
76100 ROUEN
Tél : 02 35 08 37 64
gipsa@seine-aval.fr

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il devra être cité sous la forme suivante :

Garnier J. (coord.), Barles S., Billen G., Bognon S., Romero E., Le Gendre R., Silvestre M., Ramarson A., Thieu V., Théry S., Castaings J, Riou. P., 2018. Projet RESET : « Rôle de l'Estuaire de Seine dans l'Ecologie Territoriale de la Normandie : cycles des nutriments et systèmes hydro-agro-alimentaires », Annexes du rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 67 p.

Le GIP Seine-Aval ne saurait être tenu responsable d'évènements pouvant résulter de l'utilisation et de l'interprétation des informations mises à disposition.
Pour tout renseignement, veuillez contacter le GIP Seine-Aval.

Les membres financeurs du GIP Seine-Aval sont :

