

Trajectoires des systèmes de production agricole en France depuis la fin du XIXe siècle : une approche biogéochimique.

Julia Le Noë, Gilles Billen, J. Garnier

▶ **To cite this version:**

Julia Le Noë, Gilles Billen, J. Garnier. Trajectoires des systèmes de production agricole en France depuis la fin du XIXe siècle : une approche biogéochimique.. Innovations Agronomiques, 2019, 72, pp.149-161. 10.15454/Y18062 . hal-02274482

HAL Id: hal-02274482
https://hal.science/hal-02274482

Submitted on 29 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Innovations Agronomiques 72 (2019), 149-161

Trajectoires des systèmes de production agricole en France depuis la fin du XIXe siècle : une approche biogéochimique

Le Noë J., Billen G.[1], Garnier J.[1]

[1] Sorbonne Université – CNRS - EPHE, UMR 7619 Metis, BP 123, Tour 56-55, Etage n°4, 4 Place Jussieu, F-75005 Paris

Correspondance : julia.le_noe@upmc.fr

Résumé

A partir d'une démarche de biogéochimie territoriale, nous retraçons ici l'évolution des flux d'azote et de phosphore à travers les systèmes agro-alimentaires de 33 régions françaises au cours de la période 1852-2014. Une typologie des systèmes de production est proposée, qui permet de suivre la spécialisation progressive des régions françaises, et l'ouverture de leur cycle de nutriments, depuis le milieu du XIXe siècle encore caractérisé par l'omniprésence de la polyculture-élevage, et l'insuffisance des apports phosphoré aux sols. La généralisation du recours massif aux engrais chimiques dans la deuxième moitié du XXe siècle conduit à l'explosion des surplus azotés et à la constitution de stocks considérables de phosphore dans les sols arables. On assiste dans le même temps à une différenciation progressive des systèmes agro-alimentaires territoriaux avec notamment l'émergence de systèmes de grandes cultures sans élevage d'une part et d'élevage intensif spécialisé d'autre part. Pourtant certains territoires restent caractérisés par des systèmes de polyculture élevage. Le raisonnement de la fertilisation, au cours de la dernière décennie, conduit à stabiliser les surplus azotés et à réduire lentement les stocks de phosphore.

Mots-clés: Trajectoires socio-écologiques, Systèmes agro-alimentaires, Polyculture-élevage, Grandes Cultures, Elevage spécialisé, nutriments.

Abstract: Trajectories of regional French farming systems since the end of the 19th century: a biogeochemical approach

Based on a territorial biogeochemical approach, the trajectories of nitrogen and phosphorus fluxes through the agro-food systems of 33 French regions over the 1852-2014 period are described. A typology of farming systems is proposed, allowing to follow the gradual specialization of the agriculture of French regions, and the opening of the nutrient cycles since the middle of the 19th century when mixed crop and livestock systems were predominating and nutrient inputs to the soil were insufficient. Massive recourse to chemical fertilizers in the second half of the 20th century leads to the tremendous increase of N surpluses and P soil storage in cropland soils. The period is characterized by a progressive differentiation of agro-food systems, in particular with the emergence of stockless specialized crop cultivation and intensive livestock farming. It is worth noting however, that some regions kept functioning as integrated crop and livestock farming systems. Reasoning of fertilization, during the last decades, resulted in the stabilization of N surplus and the slow reduction of P soil stocks.

Keywords: Socio-ecological trajectories, Agro-food systems, Mixed crop and livestock farming, Cropping systems, Specialized livestock systems, Nutrients.

Introduction

L'analyse sur le temps long des mutations qui ont affecté le système agro-alimentaire français est essentielle pour mettre à jour les déterminants des dynamiques encore à l'œuvre aujourd'hui, et comprendre ainsi ses potentialités d'évolution future. Cette approche de reconstitution historique est en outre indispensable pour appréhender la question des héritages que constitue l'accumulation dans les sols de stocks à longue durée de vie comme ceux du phosphore ou du carbone.

Ce papier propose un tableau synthétique des coévolutions des systèmes de production agricole et des flux d'azote (N) et de phosphore (P) en France depuis 1852 jusqu'à aujourd'hui, à l'échelle territoriale.

L'étude des trajectoires des systèmes agricoles sous l'angle des flux de nutriments offre un prisme d'analyse original, indiquant à la fois le degré d'ouverture de ces systèmes et leurs performances environnementales et agronomiques en termes d'efficience d'utilisation des nutriments et de leurs bilans sur les terres agricoles. Nombre de publications récentes se sont attachées à analyser le métabolisme socio-écologique des systèmes de production agricole, métabolisme socio-écologique qu'il faut comprendre selon la définition de Fisher-Kowalski (1998) comme les flux de matières et d'énergie mis en œuvre par le fonctionnement d'une société pour sa subsistance collective. Le métabolisme des systèmes de production agricole peut ainsi être appréhendé sous l'angle des flux de biomasse ou des nutriments impliqués dans la production agricole à des échelles variées, du local au global en passant par le national (Carmo et al., 2017 ; Güldner et Krausmann, 2017 ; Soto et al., 2016 ; Haberl et al., 2007), et couvrir une longue temporalité (Soto et al., 2016 ; Güldner et Krausmann, 2017). Néanmoins, à notre connaissance, l'histoire de l'agriculture en France n'a que très peu fait l'objet d'une caractérisation biogéochimique. On peut tout de même remarquer les travaux récents de Harchaoui et Chatzimpiros (2017) qui ont étudié les transformations de l'élevage et ses conséquences sur l'utilisation des terres et les échanges de denrées agricoles en France sur la période 1961-2010.

Les questions scientifiques auxquelles nous cherchons à répondre sont les suivantes : Quelles trajectoires ont conduit aux systèmes de production actuels, souvent très spécialisés malgré la permanence de système de polyculture élevage dans certains territoires? Quelles sont les conséquences de ces trajectoires agricoles en termes de fonctionnement des cycles biogéochimiques? Quels en sont les héritages, c'est-à-dire, du point de vue biogéochimique qui est le nôtre, sur les stocks de matières accumulées encore présentes actuellement dans les sols agricoles ? Pour répondre à ces questions notre étude commence du milieu du XIXe siècle (1852), période des premiers apports d'engrais phosphorés, jusqu'à aujourd'hui (2014) en considérant les 33 territoires agricoles français tels que définis par Le Noë et al. (2016). Cet article se base pour l'essentiel sur les résultats publiés par Le Noë et al. (2018).

1. Matériel et méthode

1.1 Cadre conceptuel de la méthode

Pour représenter les systèmes de production agricole à l'échelle territoriale, l'approche biogéochimique GRAFS (pour Generalized Representation of Agro-Food Systems, Lassaletta et al., 2014 ; Billen et al., 2014 ; Garnier et al., 2016) a été mise en œuvre. Elle consiste en un bilan détaillé des flux de nutriments impliqués dans la production, la transformation et la consommation de produits animaux et végétaux dans un territoire, ainsi que des fuites environnementales associées, et met donc en évidence les interrelations 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 humaine (Figure 1).

Elle permet de produire une image synthétique du 'profil' biogéochimique du système agro-alimentaire du territoire concerné (Figure 1), et d'en dériver un certain nombre d'indicateurs des performances

agronomiques du système et de son empreinte environnementale en termes de ressources consommées ou de polluants émis (Le Noë et al. 2017).

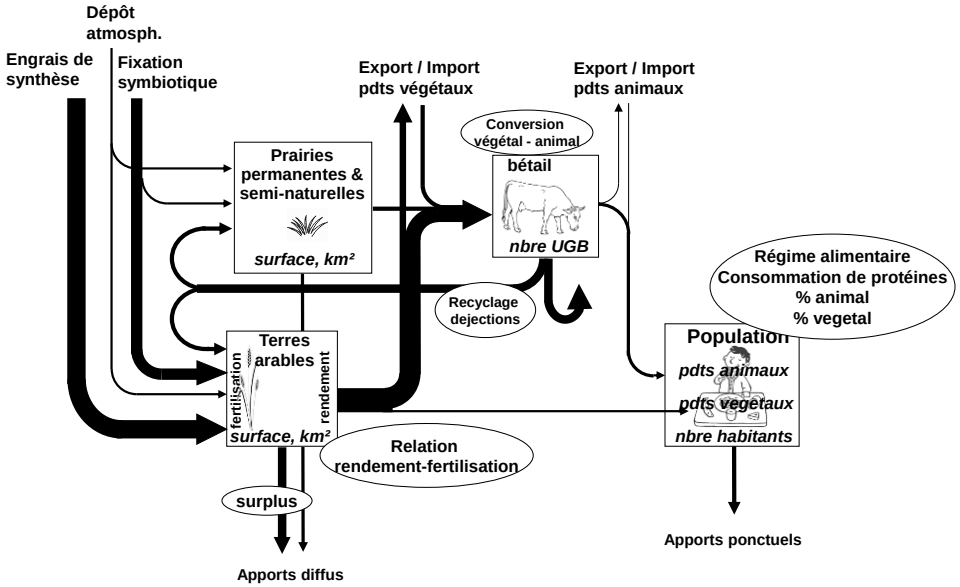


Figure 1 : Le modèle GRAFS-N des relations entre les différents flux d'azote impliqués dans les systèmes agro-alimentaires

1.2 Sources des données

La construction des bilans GRAFS pour la période étudiée repose sur la collecte et la compilation de données empiriques, principalement de production agricole et de consommation humaine, et d'hypothèses théoriques sur la circulation des nutriments d'un compartiment à l'autre. Ces données ont été rassemblées pour 22 années entre 1852 et 2014, permettant de reconstruire la trajectoire à long terme des systèmes agro-alimentaires.

Les données de production et de surface agricoles sont fournies par la Statistique Agricole Nationale pour la période antérieure à 1970 et par Agreste pour la période récente. Les teneurs en N et P des productions animales et végétales ont été agrégées depuis différentes sources (Lassaletta et al., 2014 ; Garnier et al., 2015 ; Mello et al., 1978). Nous avons considéré ces teneurs comme constantes sur la période étudiée.

La fertilisation chimique en N et P à l'échelon départemental est fournie par l'UNIFA sur la période récente (1971-2014) et par la Statistique Agricole Nationale sur la période précédente (1929-1955). Pour la période 1852-1906 nous ne disposons que d'estimations nationales assez grossières pour la fertilisation chimique en P (Duby et Wallon, 1993) tandis que la fertilisation chimique en N peut être négligée.

Les effectifs et la structure détaillée du cheptel sont fournis par les statistiques agricoles en nombre de têtes. La composition des déjections en N et P et les taux d'excrétion pour les différents animaux ont été documentés pour les périodes historiques et actuelles (Girardin, 1844, 1864 ; Bertin, 1856 ; Gueymard, 1868 ; Gros, 1957 ; Noirfalise, 1974 ; CORPEN, 1999 ; MEEM, 2010 ; CITEPA, 2013). Les taux d'excrétion par tête varient considérablement au cours de la période étudiée et entre les différentes régions, comme le montre la Figure 2 sur l'exemple des bovins.

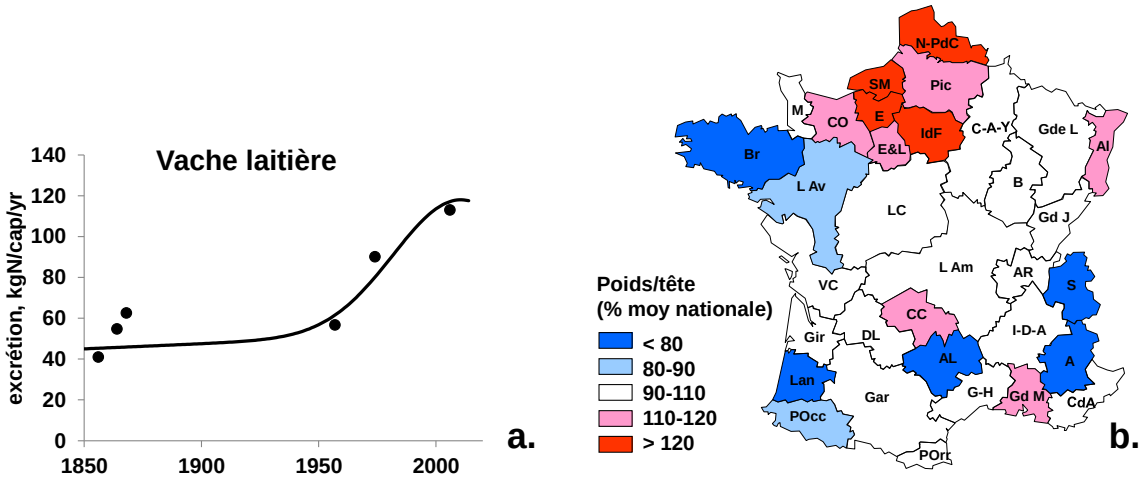


Figure 2 : **a.** Evolution de l'excrétion d'une vache laitière depuis le milieu du XIXe s. **b.** Variation du poids moyen des bovins abattus (kg carcasse par tête) exprimé en % de la moyenne nationale entre les différentes régions françaises en 1852 (Les différences régionales s'estompent largement à partir de 1955)

La clé de répartition des excrétions animales entre prairies permanentes et terres arables est connue pour l'actuel (CGDD, 2013) ; pour le passé, elle a été estimée sur base de descriptions qualitatives sur la conduite historique des troupeaux (Risse, 1994 ; Duby et Wallon, 1993).

Pour plus de précision, une notice technique détaillée des bases de données et des hypothèses sous-jacentes au modèle GRAFS et à son application à des chroniques historiques est disponible dans Le Noë et al. (2017, 2018).

2. Résultats

2.1 Analyse de quelques trajectoires types

Il est possible, à partir de la méthode GRAFS, d'examiner les trajectoires de chaque région française depuis 1852. La Figure 3 présente à titre d'exemple l'évolution des systèmes de production agricole de la Bretagne, du Calvados-Orne et de la Picardie, trois régions sélectionnées pour présenter des trajectoires de systèmes de production contrastés.

En 1852, les trois régions sont caractérisées par une grande autonomie de la production agricole, le couplage étroit de la culture et de l'élevage, un taux élevé d'autoconsommation de la production et des exportations faibles ou inexistantes par rapport au volume de production totale. Un peu plus de cent ans plus tard, si les trois régions semblent se différencier par des schémas de production divergents, leur point commun est dans l'intensification des flux. On observe partout une forte dépendance aux engrais de synthèse et une augmentation des surplus d'azote aux sols arables. Pour la Picardie, une spécialisation en grande culture semble déjà caractériser le système agricole : la densité du cheptel reste celle de 1852 tandis que la production arable, dont la plus grande partie est exportée vers d'autres régions, a plus que doublé. La Bretagne et le Calvados-Orne montrent une fertilisation des terres arables équilibrée entre fumier et fertilisation chimique, mais la Bretagne, contrairement au Calvados-Orne, importe déjà une part significative de l'alimentation de son bétail. A l'inverse, dans le Calvados-Orne les prairies permanentes contribuent à plus de 60% à l'alimentation du cheptel et la région reste autonome pour sa production animale. La période actuelle continue d'accentuer les divergences déjà constatées pour 1970. La Bretagne se spécialise résolument dans l'élevage intensif. La densité du cheptel a doublé en 40 ans et le bétail est alimenté en grande partie par des importations de soja et de tourteaux en provenance d'Amérique Latine. La Picardie exporte désormais plus de 80% de sa production végétale et fertilise ses terres arables à plus de 85% par des fertilisants de synthèse. Enfin

le Calvados-Orne qui était autonome pour sa production animale en 1970 semble désormais dépendre davantage d'importation d'aliments, bien que cette dépendance reste mineure en termes de proportion des flux exogènes impliqués dans l'alimentation du bétail.

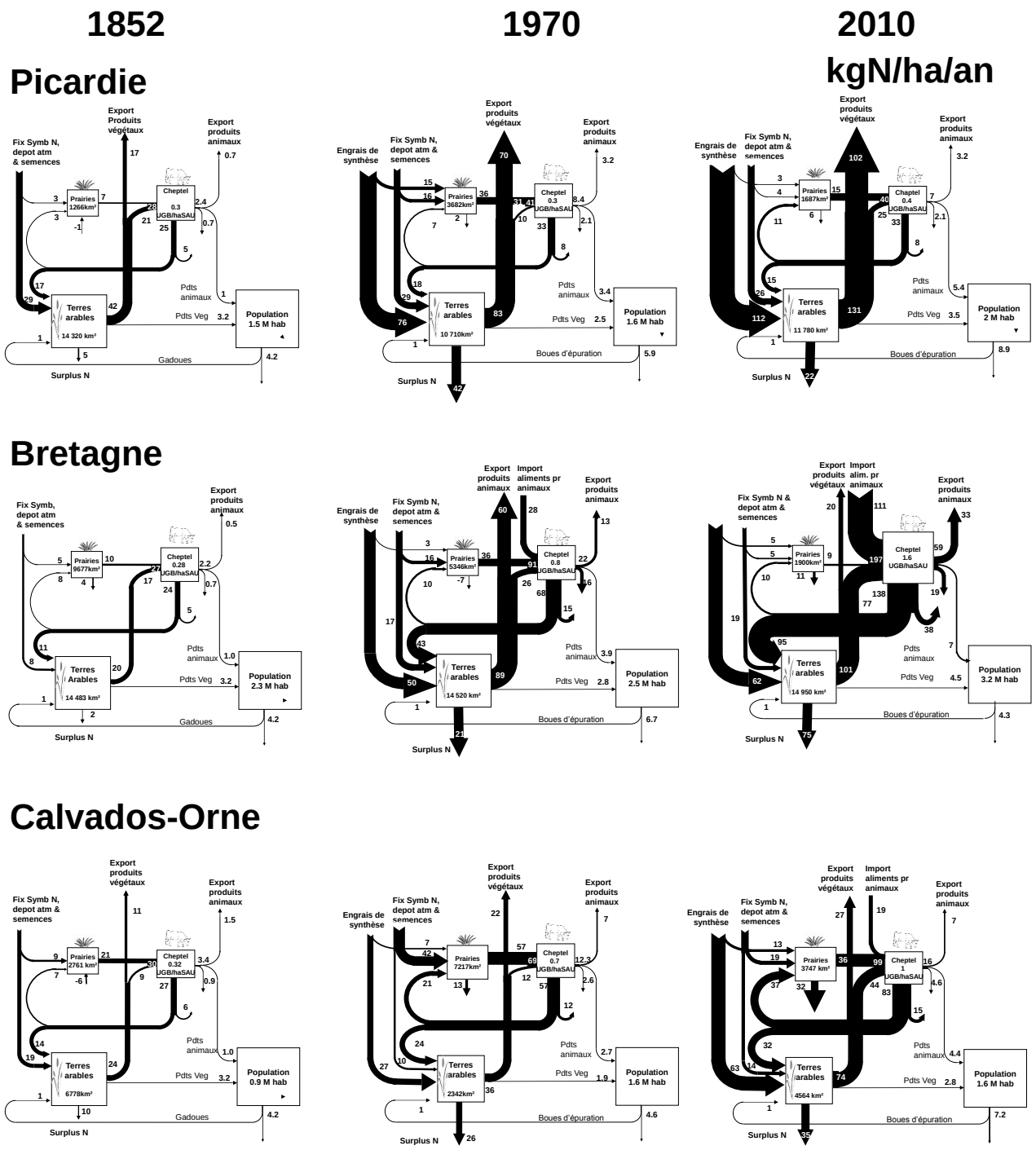


Figure 3 : Représentation GRAFS des systèmes de production agricole sous l'angle de la circulation des flux d'azote pour la Picardie, la Bretagne et le Calvados-Orne en 1852,1970 et 2010. Les flux d'azote sont exprimés en kgN/ha de SAU/an.

2.2 *Conséquences de ces trajectoires sur la fertilité des sols en P*

Le cas du phosphore mérite une attention particulière car, étant un élément peu mobile, son stock s'accumule dans le sol lorsque le solde du bilan des apports fertilisants par rapport à l'exportation par la récolte est positif. Les bilans cumulés de phosphore dans les sols arables des différentes régions agricoles sont aujourd'hui très contrastés.

Pour les trois régions que nous avons prises en exemples, la constitution de réserves de phosphore dans les sols est quantitativement différente mais suit des schémas assez similaires jusque dans les années 1990 (Figure 4). Les bilans cumulés restent nuls ou légèrement négatifs partout au moins jusqu'au début du XXème siècle en raison de l'insuffisance des apports de phosphore au sol. Cette insuffisance a été bien documentée par les agronomes et les historiens (Boulaine, 1995). Cependant, il est possible que nous sous-estimions en partie les bilans de phosphore pour la fin du XIXème et le tout début du XXème car certains apports aux sols arables tels que les scories de déphosphoration ou les apports de guano du Pérou n'ont pu être pris en considération faute de données disponibles à l'échelle régionale. A partir des années 1960 et jusque dans les années 1990, la fertilisation en phosphore minérale, parfois combinée à des apports de phosphore organique dans les déjections animales, conduit à des bilans cumulés très positifs et ainsi, à la constitution d'importants stocks dans les sols (Figure 4).

Pour la période actuelle, les bilans cumulés de phosphore sur les terres arables se stabilisent en Bretagne mais continuent d'être élevés, cette fois en raison des apports excessifs de déjections animales (Figure 4). L'épandage des déjections animales sur les terres arables de Bretagne ne représente pas en réalité un recyclage interne puisque le bétail est nourri en grande partie par des aliments importés d'Amérique du Sud. Ainsi, en Bretagne, les stocks de phosphore hérités depuis les années 50 proviennent en majeure partie des engrais chimiques importés soit depuis des régions minières, soit depuis les sols d'Amérique du Sud dans lesquels les fourrages exportés ont puisé les réserves en phosphore. En revanche, le Calvados-Orne a accumulé dans les sols de ses terres arables du phosphore provenant principalement des engrais chimiques employés durant la période 1965-1990 et d'un transfert de fertilité depuis les prairies permanentes vers les terres arables. En Picardie, l'héritage de stocks de phosphore provient quasiment entièrement des engrais chimiques. Au cours de la période récente, la baisse des taux de fertilisation phosphorée combinée aux rendements arables élevés de cette région induisent des bilans P négatifs, ce qui conduit à une progressive diminution des stocks hérités au cours des soixante dernières années (Figure 4).

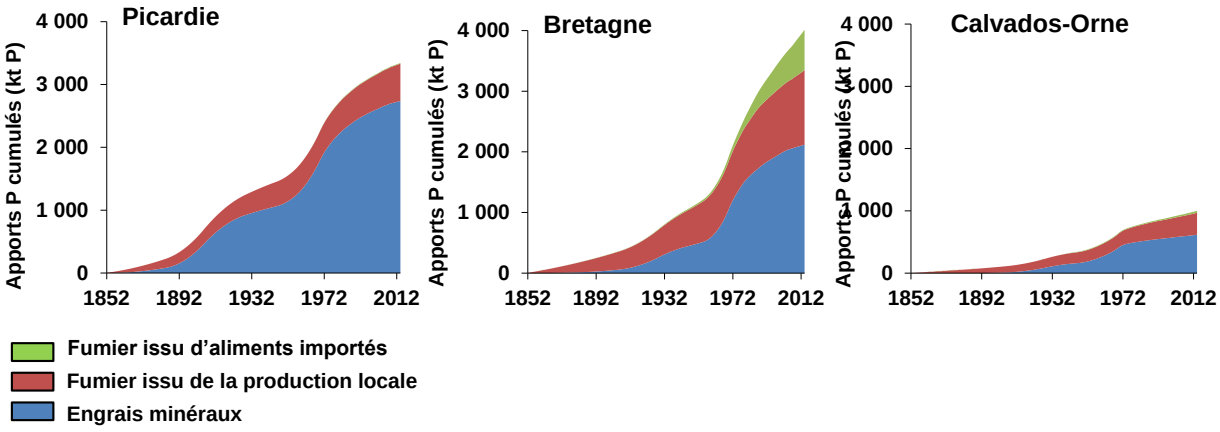


Figure 4 : Evolution pour les terres arables, des bilans cumulés de phosphore pour trois régions aux trajectoires agricoles contrastées : la Picardie et la Bretagne et le Calvados-Orne.

3. Typologie et trajectoires des systèmes de production agricole

3.1 Critères de typologie

Les 33 territoires étudiés et les 22 dates sélectionnées ne peuvent faire l'objet d'autant de monographies. Afin de caractériser la structure des systèmes de production agricole à l'échelle territoriale, une typologie a été élaborée sur la base de leur degré de spécialisation, d'ouverture ou d'autonomie, et de connexion entre culture et élevage (Figure 5). Les critères biogéochimiques utilisés sont des indicateurs basés sur les flux ou des ratios de flux, révélateurs du degré d'interaction entre terres arables, cheptel et prairies permanentes. Un arbre de décision, établi de manière empirique et avec une part d'arbitraire, (Figure 5) permet de formaliser la logique de classification des types de système de production agricole, les critères utilisés et les seuils fixés. Cette typologie est établie sur la base des données de production et de fertilisation en azote mais les types de régions ainsi délimitées peuvent ensuite être analysés en termes de flux de phosphore.

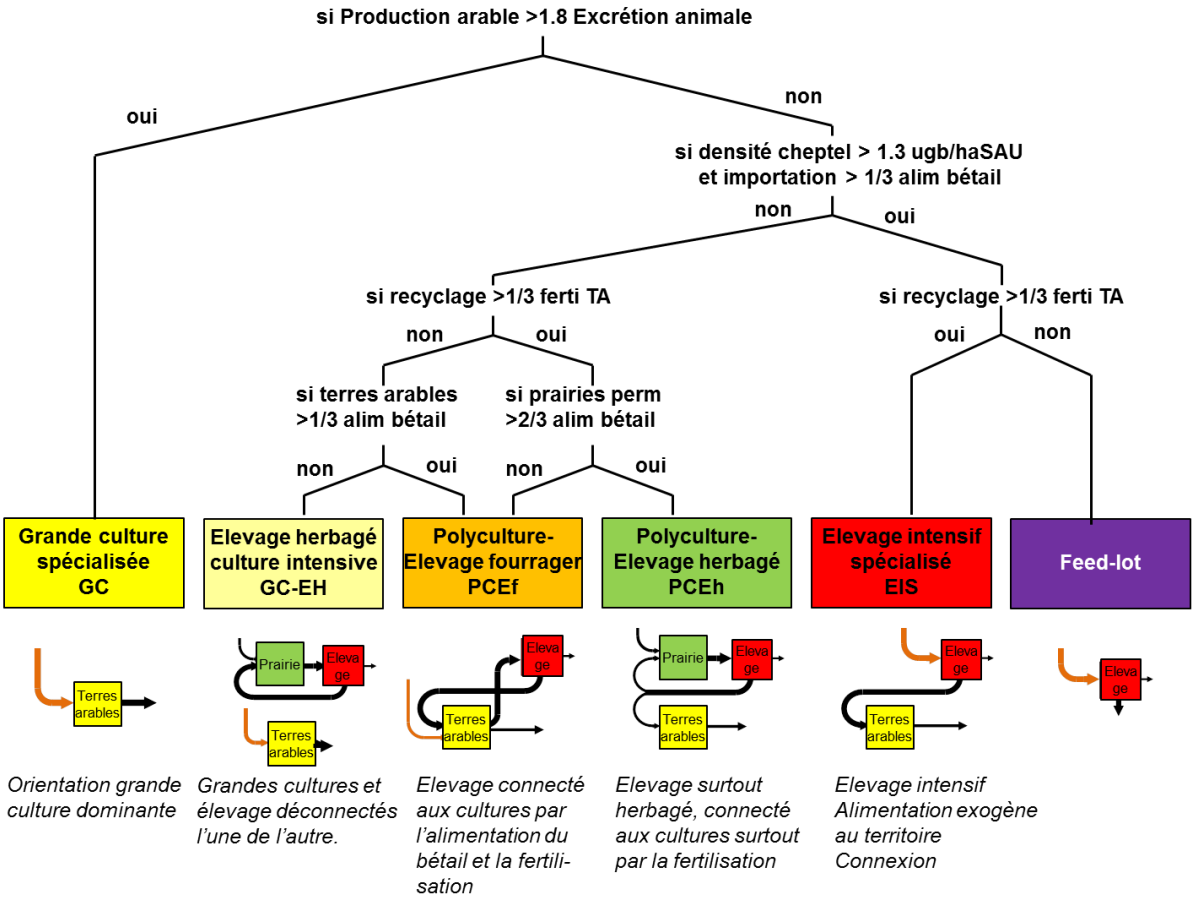


Figure 5 : Arbre de décision de la typologie biogéochimique des systèmes de production agricole.

3.2 Les trajectoires de la spécialisation

Au XIXème et au début du XXème siècle la polyculture-élevage est le système de production agricole prédominant en France (Figure 6). La restitution active des nutriments prélevés par les cultures implique une bonne gestion des fumiers et fait de nécessité vertu. L'élevage est encore *« le mal nécessaire »* dont parlait Lavoisier (Risse, 1994), et la ferme est considérée comme « *une fabrique de fumier, les bestiaux sont des machines à fumier*» (Bertin, 1856). Les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore restent fermés dans la quasi-totalité des territoires français.

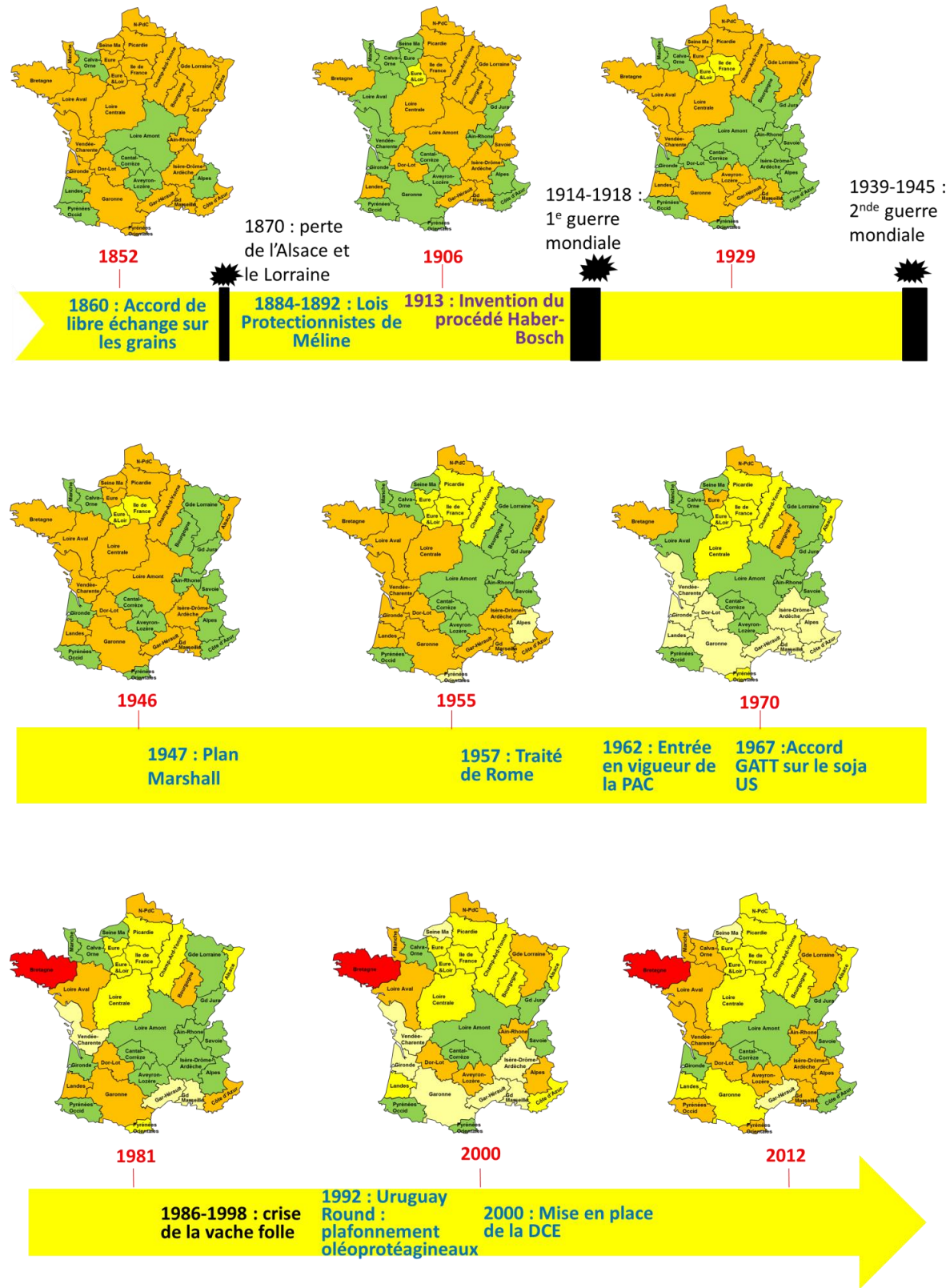


Figure 6 : Chronologies des types de systèmes agricoles dans les régions françaises depuis 1852

Dès le début des années 1930, se fait jour une tendance à la spécialisation en grandes cultures, sans doute permise par le développement de l'industrie des engrais chimiques azotés, l'expansion du chemin de fer et l'homogénéisation du marché national agricole (Duby et Wallon, 1993). Dès lors, l'agriculture française peut amorcer le passage d'une économie de subsistance où règne l'autoconsommation à une économie de marché où la production est davantage guidée par les avantages comparatifs et les possibilités d'écoulement sur le marché. Ce type de spécialisation s'étend progressivement mais nettement, d'abord à l'ensemble des régions du bassin parisien, puis à l'Alsace et enfin aux régions du Sud-Ouest. Dans ces régions, l'élevage se réduit considérablement et la fertilisation des terres arables est de plus en plus dépendante des engrais chimiques (Figures 8e). A partir des années 60, on voit l'apparition de systèmes de culture intensive mais préservant une activité d'élevage plutôt herbagère. Ce type intermédiaire est caractéristique de la période 1960-2000 et semble disparaître dans la période récente. Les territoires concernés maintiennent une activité d'élevage significative mais utilisent principalement des engrais de synthèse pour fertiliser les terres arables (Figures 8c). Enfin, les années 80 annoncent le début d'un élevage spécialisé et intensif dans l'Ouest caractérisé par l'augmentation de la densité du cheptel (Figure 7b) et une dépendance accrue aux importations depuis l'étranger pour l'alimentation du bétail.

Cependant un certain nombre de territoires ne suivent pas ce mouvement de spécialisation et continuent de fonctionner sur le mode de la polyculture-élevage. Ces systèmes ont pourtant su s'intensifier puisque la densité de cheptel y croît également (Figure 7b) et que les rendements arables progressent presqu'autant qu'en grandes cultures (Figure 7a). Les déjections animales continuent d'assurer la majeure partie de la fertilisation des terres arables en azote (Figures 8a et 8b). Dans ces régions, intensification n'a donc pas été synonyme de spécialisation territoriale. Il importe toutefois de remarquer que ces régions exportent une partie de leur production vers d'autres régions plus densément peuplées et moins rurales (Le Noë et al., 2016). Les apports compensatoires en azote pourraient être fournis par la fixation symbiotique, mais le recours aux fertilisants chimiques phosphorés est, à terme, nécessaire pour que ces régions restent exportatrices. La rupture métabolique entre ville et campagne (Foster, 2000) révèle ici l'incompatibilité structurelle entre l'économie circulaire promue par les défenseurs d'une croissance verte et la séparation géographique des zones de production et de consommation. Le problème de la circularité des flux de matière ne saurait donc se résoudre par une approche purement technico-économique et pose ainsi la question des relations entre modes de production et de consommation.

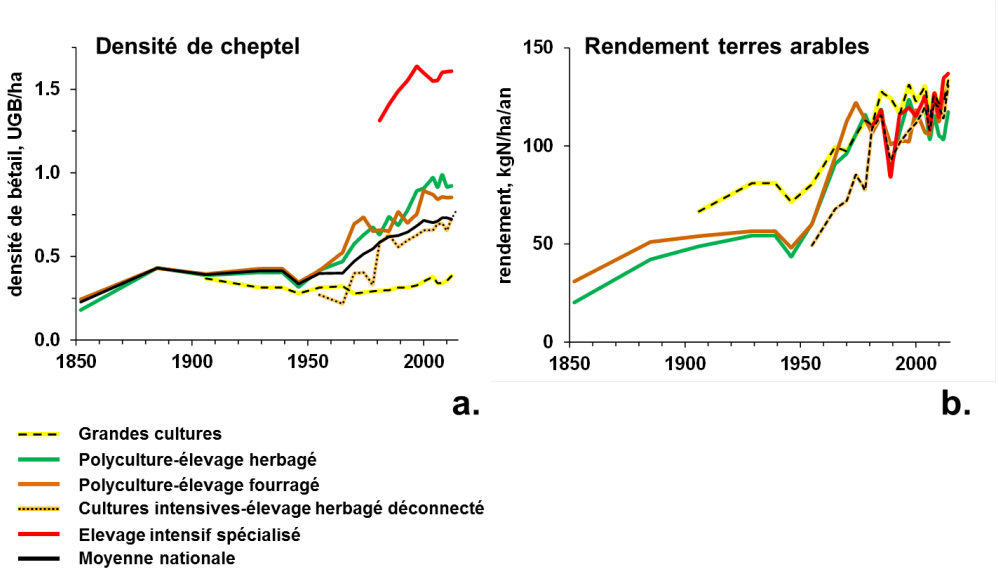


Figure 7 : Evolution sur la période 1852-2014 de la densité de cheptel (a) et du rendement azoté des terres arables (b) des différents types de régions agricoles.

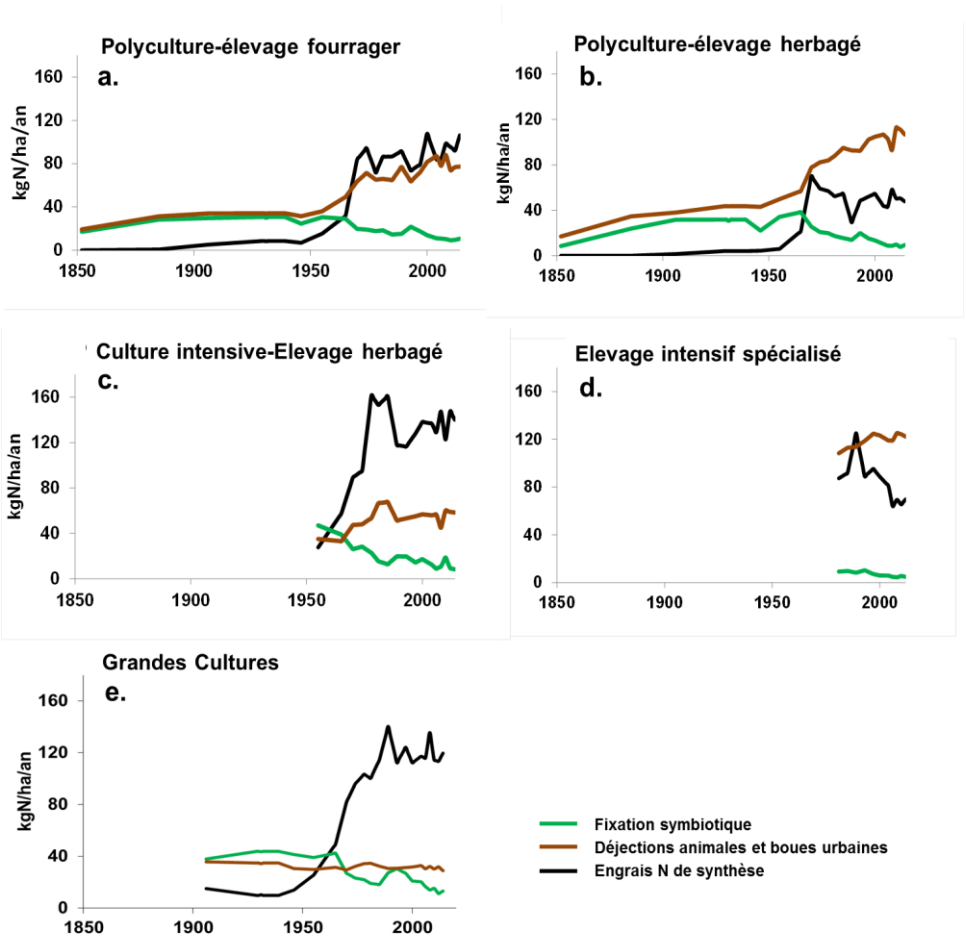


Figure 8 : Evolution sur la période 1852-2014 des types d'apports de fertilisants azotés (chimiques, issus des déjections animales et de la fixation symbiotique) dans les régions de type **a**. polyculture élevage intensif, **b**. polyculture élevage herbagé, **c**. culture intensive-élevage herbagé, **d**. élevage intensif spécialisé, **e**. grande culture.

3.3 Analyse historique des performances des types de systèmes agricoles

Pour évaluer les conséquences de l'évolution des systèmes agricoles et leur spécialisation, il convient de caractériser leurs performances agronomiques et environnementales. Les premières peuvent se mesurer en termes de rendement à l'hectare des systèmes de culture (Figure 7b). Un indicateur pertinent des performances environnementales consiste dans le solde (ou surplus) du bilan des apports de nutriment aux sols arables et de leur exportation par la récolte, qui renseigne sur les pertes potentielles vers l'hydrosphère et l'atmosphère ou l'accumulation possible dans le sol.

Avant la généralisation des engrais industriels, c'est-à-dire avant les années 30, les bilans de phosphore et d'azote sont faibles, voire négatifs pour le phosphore, dans tous les types de régions (Figure 9). Les bilans d'azote augmentent à partir des années 60 dans toutes les régions (Figure 9a) mais de manière différenciée. Les régions de grande culture connaissent les bilans azotés les plus faibles. Cela peut s'expliquer par le fait que les engrais de synthèse constituent pratiquement la seule source de fertilisation, assez facile à ajuster aux besoins des cultures, et que les rendements y sont très élevés. Dans les régions de polyculture-élevage fourrager et herbager, les bilans azotés des terres arables sont légèrement plus élevés mais restent à des niveaux relativement stables depuis 60 ans.

Contrairement aux régions de grandes cultures et de polyculture-élevage, les régions de culture intensive-élevage herbager déconnectés et les régions d'élevage intensif spécialisé connaissent un pic

des surplus azotés des sols arables (Figure 9a). Pour les premières, ce pic a lieu dans les années 70-80 en raison d'apports en fertilisants synthétiques particulièrement élevés (Figure 8) combinés à des apports de déjections animales toujours significatifs. Pour les régions d'élevage intensif, le pic a lieu dans les années 80-90, principalement en raison de l'augmentation de la densité de cheptel (Figure 7a).

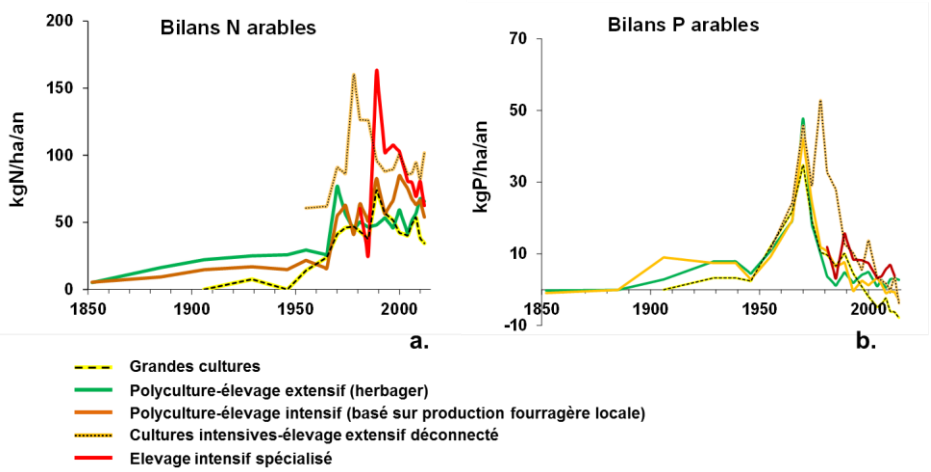


Figure 9 : Evolution dans les différents types de régions agricoles sur la période 1852-2014 (a) des bilans azotés des terres arables, (b) des bilans phosphorés des terres arables.

Concernant les flux de phosphore, que les territoires se spécialisent ou non, la tendance au cours de la période 1960-1990 est la même partout. Le recours accru aux engrais chimiques pour la fertilisation des terres arables (Figure 9b) induit une augmentation des bilans phosphorés, qui atteignent un pic dans les années 70-80, concomitant du pic des prix des fertilisants minéraux phosphorés (Cordell et al., 2009) et des problèmes d'eutrophisation (Vollenweider, 1968). Néanmoins, ces bilans décroissent dès les années 1990 et poursuivent encore aujourd'hui cette décroissance, probablement grâce au raisonnement de la fertilisation.

4. Discussion et conclusion

Au cours des 150 dernières années, les territoires restés en polyculture-élevage sont ceux où l'intensification de la production arable et la densification du cheptel ne se sont pas accompagnés d'une spécialisation agricole. Ainsi, dans les régions de polyculture-élevage, les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore sont restés relativement fermés. Néanmoins, la période des années 1960-1990 est marquée pour tous les types de systèmes agricoles, y compris ceux de polyculture-élevage, par une fertilisation chimique considérable induisant un plus grand degré d'ouverture des cycles de l'azote et du phosphore. Cette période a conduit à l'accumulation de stocks de phosphore dans les terres arables et à des pertes d'azote considérables, responsables d'une sévère détérioration environnementale locale par la pollution des systèmes aquatiques et de l'atmosphère. La période plus récente est marquée par une diminution de la fertilisation chimique azotée et phosphorée, avec en conséquence, une baisse des pertes environnementales d'azote et des bilans phosphorés plus faibles, souvent même négatifs dans les zones de grandes cultures. Les territoires de polyculture élevage n'ont pas échappé à ces tendances et ne sont pas moins « modernes » ! Ils gardent cependant un profil de fonctionnement biogéochimique plus vertueux que les systèmes spécialisés, en termes d'impact environnemental comme en termes de diversité paysagère. Leur plus grande autonomie par rapport aux importations contribue également à leur conférer davantage de résilience dans un contexte de crises économiques et climatiques.

Ce travail, descriptif mais quantitatif, vise à mettre en exergue la matérialité des systèmes de production agricole dans une perspective temporelle longue. Nous souhaitons qu'il puisse s'enrichir d'analyses historiques, anthropologiques ou politiques permettant d'inclure cette description des flux de matière dans celle des évolutions sociales et économiques dans lesquelles ils s'insèrent. D'un point de vue épistémologique, ce type d'approche, montrant concrètement l'artificialité de la dissociation des flux de matière anthropiques et naturels, pousse également à reconsidérer la dualité entre Nature et Culture (ou sociétés humaines), autour de laquelle se sont construites les sciences humaines et sociales d'une part et les sciences naturelles d'autre part. Ce grand partage entre sciences de la nature, dédiées à l'étude des lois qui régissent le monde physique, et les sciences humaines et sociales, prenant pour objet les interactions humaines et l'édification historique de règles sociales, montre aujourd'hui ses limites. Les collaborations possibles entre sciences humaines et sociales et sciences de la nature engagent bien plus qu'un enrichissement mutuel de savoirs, elles sont porteuses d'une remise en question profonde du mode de production des connaissances et du rôle des scientifiques dans le paysage social et politique.

Références bibliographiques

Bertin A., 1856. Du fumier, de la culture et du bétail, en vue du fumier. Carette-Bondessein, imprimeur libraire, Valognes, France. 64 p.

Billen G., Lasseletta 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.

Carmo M., Garcia-Ruiz R., Ferreira M. I., 2017. The N-P-K soil nutrient balance of Portuguese cropland in the 1950s: The transition from organic to chemical fertilization. Scientific Reports 7, 8111.

CGDD, 2013. NOPOLU-Agri. Outil de spatialisation des pressions de l'agriculture. Méthodologie et résultats pour les surplus d'azote et les émissions des gaz à effet de serre Campagne 2010-2011 Document de travail n°14. Commissariat général au développement durable - Service de l'observation et des statistiques.

Chambre d'Agriculture de la Manche. http://www.chambre-agriculture-50.fr/cultures/cereales/semis-des-cereales/

CITEPA, 2013. OMINEA, Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France, 10e edition. http://www.citepa.org/fr/.

CORPEN, 1999. Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager. CORPEN «Groupe Alimentation» Sous-groupe «Vaches laitières». 18 p.

Cordell D., Drangert J.-O., White S., 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. Glob. Environ. Change 19, 292–305. http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009

Duby G., Wallon A., 1993. Histoire de la France rurale, tome III De 1789 à 1914, Edition Seuil, Paris, France. 560 p.

EMEP, 2006. http://www.emep.int/mscw/mscw_data.html

Fisher-Kowalski M., 1998. Society's Metabolism, the intellectual History of Materails Flow Analysis, Part I, 1860-1970. Journal of Industrial Ecology 2, 61-78. https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.1.61

Foster J.B., 2000. Marx's ecology: Materialism and Nature. Montly Review Press, New York.

Garnier J., Lassaletta L., Billen G., Romero E., Grizzetti B., Némery J., Le Q.L.P., Pistocchi C., Aissa-Grouz N., Luu M.T.N., Vilmin L. Dorioz J.-M., 2015. Phosphorus budget in the water-agro-food system at nested scales in two contrasted regions of the world (ASEAN-8 and EU-27). Global Biog. Cycle 28, 1348-1368.

Garnier J., Anglade J., Benoit M., Billen G., Puech T., Ramarson A., Passy P., Silvestre M., Lassaletta, L., Trommenschlager J.-M., Schott C., Tallec G., 2016. Reconnecting crop and cattle

farming to reduce nitrogen losses to river water of an intensive agricultural catchment (Seine basin, France): past, present and future. Env. Sc & Policy 63, 76-90. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.04.019

Girardin J., 1864. Des fumiers et autres engrais animaux. Garnier Frères, Paris, France, 314 p.

Gros A., 1957. Guide pratique de la fertilisation. La Maison Rustique, Paris, France. 355 p.

Gueymard E., 1868. Recueil d'analyses chimiques à l'usage de l'agriculture moderne. Imprimerie de Prudhomme, Grenoble, France.

Güldner D., Krausmann F., 2017. Nutrient Recycling and Soil Fertility Management in the Course of the Industrial Transition of Traditional, Organic Agriculture: The case of Bruck Estate, 1787-1906). Agriculture Ecocystem Environment 249, 80:90.

Haberl H., Erb K.H., Krausmann F., et al., 2007 Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. PNAS 104, 12942-12947.

Harchaoui S., Chatzimpiros P., 2017. Reconstructing production efficiency, land use and trade for livestock systems in historical perspective. The case of France, 1961-2010. Land Use Policy 67, 378-386

Lassaletta L., Billen G., Grizzetti B., Anglade J., Garnier J., 2014. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. Environ. Res. Lett. 9. DOI:10.1088/1748-9326/9/10/105011

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 , Garnier J., 2018. Long-term socioecological trajectories of agro-food systems revealed by N and P flows in French regions from 1852 to 2014. Agr Ecosyst Env. 265, 132-143. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.039

MEEM, 2010. NOPOLU-volet Agricole. Guide Méthodologique. Commissariat général au développement durable. Service de l'Observation et des Statistiques.

Mello F.C., Field R.A., Riley M.L., 1978. Effect of age and anatomical location on composition bovine bone. Journal of food science 43, 677-679.

Noirfalise A., 1974. Conséquences écologiques de l'application des techniques modernes de production en agriculture. Informations Internes sur l'Agriculture. Commission des Communautés Européennes. N°137. Novembre 1974.

Risse J., 1994. Histoire de l'Elevage en France. L'Harmatan, Paris, France, 365 p.

Soto D., Infante-Amate J., Guzman G.I., 2016. The social metabolism of biomass in Spain, 1900-2008: From food to feed-oriented changes in the agro-ecosystems. Ecological Economics 128, 130-138.

Vollenweider R.A., 1968. Water management research. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication, OECD. Paris. Tech. Rep. DA 5/SCI/68.27, 250 p.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).