L'aire de diffusion des engrais commerciaux en France au milieu du XIX^e siècle

The dissemination of commercial fertilizers in France in the mid nineteenth century

Laurent Herment et Éric Mermet

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/histoires mesure/7091>

DOI : 10.4000/histoires mesure.7091

ISSN : 1957-7745

Éditeur

Éditions de l'EHESS

Édition imprimée

Date de publication : 30 juin 2018

Pagination : 111-148

ISBN : 978-2-7132-2752-3

ISSN : 0982-1783

Référence électronique

Laurent Herment et Éric Mermet, « L'aire de diffusion des engrais commerciaux en France au milieu du XIX^e siècle », *Histoire & mesure* [En ligne], XXXIII-1 | 2018, mis en ligne le 01 janvier 2022, consulté le 03 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/histoires mesure/7091> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/histoires mesure.7091>

L'aire de diffusion des engrais commerciaux en France au milieu du XIX^e siècle

Laurent HERMENT * & Éric MERMET **

Résumé. Au milieu du XIX^e siècle, contrairement à l'agriculture anglaise, l'agriculture française utilise peu d'engrais commerciaux. La partie non publiée de l'enquête agricole de 1862 permet de relativiser ce constat. À partir de l'encodage des mentions d'utilisation d'engrais dans 1 800 cantons, des cartes ferroviaires et fluviales, d'une base de données démographique et des statistiques du cabotage, il est possible de comprendre les conditions de la diffusion des engrais commerciaux. Au départ des intuitions que procurent les cartes, les données offrent un large panel exploratoire en termes d'analyse spatiale et statistique qui confirme ou infirme nos pressentiments initiaux. Au terme d'une analyse arborescente exploratoire, nous déterminons quels sont les canaux et les aires de diffusion de deux engrais particuliers : la poudrette et les tourteaux oléagineux.

Mots-clés. agro-industrie, analyse arborescente, changement agraire, engrais, SIG historique, réseaux de transports, France, XIX^e siècle

Abstract. The dissemination of commercial fertilizers in France in the mid nineteenth century. French farmers in the mid-nineteenth century, contrary to those in England, rarely used off-farm manure. The unpublished part of the 1862 agricultural survey adds nuance to this statement, however. From the coded indications of fertilizer use in 1,800 French *cantons* (districts), maps of railways and waterway networks, and a demographic database, it is possible to map the distribution of off-farm fertilizers used at that time. Based on the insights provided by the maps, these data offer broad exploratory potential in terms of spatial analysis and statistics, which confirm or contradict our initial intuitions. A tree analysis enabled us to determine the channels and zones of dissemination of two specific fertilizers: human manure (*poudrette*) and oilseed meal.

Keywords. agro-industry, tree analysis, agrarian change, fertilizers, historical GIS, transportation networks, France, nineteenth century

---

* CNRS, Centre de recherches historiques (CRH, UMR 8558 CNRS et EHESS). E-mail : laurent.herment@ehess.fr

** CNRS, Centre d'analyse et de mathématique sociales (CAMS, UMR 8557 CNRS et EHESS). E-mail : eric.mermet@ehess.fr

Au milieu du XIX^e siècle, de nombreux agriculteurs européens expérimentent sur une échelle inédite de nouveaux engrais commerciaux : noir animal, phosphates fossiles, guano, tourteaux oléagineux et produits des vidanges urbaines pour n'en citer que quelques-uns. Depuis une cinquantaine d'années, l'historiographie relative à ce phénomène s'est développée sur quatre fronts. Le premier s'intéresse aux implications sociales, politiques et économiques du commerce des engrais sur les régions et les pays exportateurs, à l'histoire des entreprises, à l'émergence des « *global commodity chains* » et à la rupture métabolique globale (*global metabolic rift*) qui intervient à partir des années 1840¹. Le guano du Pérou et le nitrate de soude du Chili occupent une place très importante dans ce vaste courant historiographique², qui englobe aussi sur le plan géographique, les îles « guanifères » de l'océan Pacifique, de l'océan Indien et de l'océan Atlantique³.

Le deuxième front de recherche, plus récent, porte sur les réseaux de savoirs associés à l'émergence d'une science des engrais. Depuis la seconde moitié des années 1990, il participe du renouvellement de l'histoire des sciences et s'intéresse tout particulièrement au rôle des chimistes agronomes dans la diffusion des engrais⁴. Le troisième front de recherche se situe à la croisée de l'histoire urbaine et de l'histoire environnementale. De ce point de vue, les historiens se sont beaucoup plus préoccupés des débats sur l'hygiène urbaine et la rupture métabolique entre villes et campagnes qu'aux pratiques

---

Dans le cadre des travaux du groupement de recherches international Agriculture, approvisionnement, alimentation (GDRI-AAA, CNRS 2016-2019), deux versions préliminaires de ce travail ont été présentées, en novembre 2016 lors de la 41^e conférence annuelle de la Social Science History Association (Chicago), puis lors de la conférence Agroclimetrics III (3 et 4 avril 2017, Cambridge). Nous remercions les évaluateurs anonymes et Per Andersson pour leurs commentaires particulièrement utiles. Nous fournissons notre base de données « engrais » aux chercheurs intéressés sur demande.

1. Sur la notion de *global metabolic rift*, voir B. CLARK & J. B. FOSTER, 2009 ; sur celle de *global commodity chain*, voir R. MILLER & R. GREENHILL, 2006.

2. La profondeur historiographique de ces sujets est inépuisable. Nous nous contenterons de citer ici quelques-uns de ces travaux qui peuvent traverser divers champs historiographiques. Pour l'histoire des entreprises : W. MATHEW, 1968 ; *id.*, 1970 ; *id.*, 1972 ; *id.*, 1981 ; M. BARBANCE, 1969 ; T. O'BRIEN, 1980 ; L. CLAYTON, 1985 ; C. DE SECADA, 1985 ; H. BONIN, 2006, p. 415-484. Sur l'histoire de l'exploitation du nitrate au Chili et du guano péruvien qui est plus ou moins étroitement liée à l'histoire politique et économique de ces deux nations : J. BROWN, 1963 ; H. BLAKEMORE, 1964 ; R. GREENHILL & R. MILLER, 1973 ; M. MONTEÓN, 1979 ; *id.*, 2003 ; C. VIZCARRA, 2009. Nous renvoyons aussi à deux articles récents qui portent sur les phosphates : S. JACKSON, 2016 ; M. DIXON, 2018. Sur l'histoire des industries françaises du phosphate et des superphosphates : J.-P. DAVIET, 1989, p. 145-148 ; N. DOUGI, 1995.

3. J. SKAGGS, 1994 ; D. O'DONELL, 1995 ; H. SNYDER, 2011 ; G. CUSHMAN, 2013.

4. Il convient en tout premier lieu de mentionner les travaux de N. JAS, 2000 ; *id.*, 2004 ; S. TOMIC, 2017. Pour le reste de l'Europe et les États-Unis, voir L. DISER, 2012 (Belgique) ; A. MARCUS, 1987 ; L. FELEGER, 1990 ; D. HELMS, 2000 (États-Unis), M. FINLAY, 1988 (Allemagne).

concrètes des agriculteurs⁵. Dans le sillage des travaux de Vaclav Smil sur l'azote⁶, le dernier axe de recherche est consacré à l'histoire générale des engrais et à l'industrialisation de l'agriculture⁷.

En dépit de leur intérêt, ces différents travaux n'envisagent que rarement les pratiques de fertilisation qu'adoptent les agriculteurs européens. Le XIX^e siècle est par ailleurs souvent considéré comme une période *préhistorique* en matière d'utilisation d'engrais commerciaux, même si l'on admet, à la suite de Van Zanden, qu'une première révolution verte intervient au XIX^e siècle⁸. Cependant, depuis quelques années, dans le sillage des historiens de l'environnement et des historiens des sciences, les historiens ruralistes s'intéressent aux conditions du maintien de la fertilité des sols dans l'Europe moderne et contemporaine⁹. Sans surestimer l'influence des avancées de la chimie agricole sur les pratiques des agriculteurs, ils s'efforcent de mieux comprendre les conditions d'utilisation des engrais commerciaux¹⁰.

Au XIX^e siècle, l'agriculture française ne jouit pas d'une réputation d'excellence. Cependant, certaines régions du quart nord-est du pays enregistrent des rendements comparables à ceux obtenus en Angleterre ou aux Pays-Bas. Par ailleurs, comme l'a démontré René Bourrigaud, les cultivateurs bretons utilisent assez fréquemment du noir animal¹¹. En définitive, très peu de régions françaises sont totalement étrangères aux progrès de l'agriculture, et l'utilisation des engrais commerciaux devient suffisamment fréquente pour que plusieurs lois destinées à protéger les cultivateurs contre

5. Nous nous contenterons ici de mentionner l'historiographie qui a trait à l'Europe. Voir pour la France, au premier chef Paris : S. BARLES, 1989 ; *id.*, 2000 ; *id.*, 2005a ; *id.*, 2005b ; D. SIMMONS, 2006 ; S. BARLES & L. LESTEL, 2007 ; C. CROSSLEY, 2008 ; G. CARNINO, 2013 ; L. HERMENT, 2017. Pour l'Allemagne : M. GRAY, 2014 ; F. UEKÖTTER, 2006 ; *id.*, 2016. Pour Vienne (Autriche), S. GIERLINGER *et al.*, 2013. Pour la Grande-Bretagne, T. COOPER, 2008 ; *id.*, 2009 ; *id.*, 2011 ; C. HAMLIN, 1982 ; *id.*, 1994 ; R. SHEAIL, 1996. Voir enfin E. MÅRALD, 2002 ; L. HERMENT & T. LE ROUX, 2017 ; N. MIGNEMI, 2017.

6. V. SMIL, 2000.

7. En ce qui concerne les engrais azotés, qui jouent un rôle central dans notre travail, nous nous contenterons de citer trois travaux récents : H. GORMAN, 2013 ; P. MOSER & T. VARLEY, 2013 ; A. PAGE, 2016. Sur les phosphates dans une perspective de long terme nous renvoyons aux multiples travaux autour de Dana Cordell dont D. CORDELL, J.-O. DRANGERT & S. WHITE, 2009 ; K. ASHLEY, D. CORDELL & D. MAVINIC, 2011 ; T.-S. NESET & D. CORDELL, 2011 ; B. JACOBS *et al.*, 2017.

8. J. L. VAN ZANDEN, 1991. Voir aussi M. KNIBBE, 2000. P. Chorley considère qu'entre 1750 et 1880 l'extension des prairies artificielles provoque une révolution agricole. Rappelons que les légumineuses fixent l'azote atmosphérique. Voir aussi à ce sujet R. ALLEN, 2008 et plus récemment E. TELLO *et al.*, 2017.

9. P. CHORLEY, 1981a ; *id.*, 1981b ; R. SHIEL, 1991 ; *id.*, 2006 ; T. KJÆGAARD, 1994 ; J.-M. CHEVET, 1994 ; D. HELMS, 2000 ; L. BRUNT, 2007 ; R. ALLEN, 2008. Sur les USA, voir G. CUNFER, 2004.

10. Sur les Flandres à l'époque contemporaine voir P. DE GRAEF, 2016 ; *id.*, 2017 ; sur l'utilisation des engrais urbains en France, voir L. HERMENT, 2017.

11. R. BOURRIGAUD, 1994. Voir aussi P. MARTIN, 2018.

les fraudes soient adoptées en 1851, 1867 et 1888¹². Il est donc nécessaire de s'interroger sur l'utilisation des engrais commerciaux en France et sur les conditions concrètes de leur diffusion. On peut en particulier se demander quelles sont la distribution géographique des différents types d'engrais et les limites géographiques de leur emploi.

Il faut dès maintenant fixer les limites de notre travail afin de dissiper tout malentendu. Il ne s'agit pas ici de cerner avec précision les conditions d'utilisation des engrais dans les différents systèmes agraires hexagonaux. C'est la compréhension des conditions de commercialisation des engrais qui nous intéressera prioritairement. Ce travail ne vise donc pas à comprendre le lien entre la diffusion des différents engrais et les performances ou l'évolution des systèmes agraires des différentes régions. Il ne constitue à nos yeux qu'une première étape indispensable à une telle compréhension.

Pour le milieu du XIX^e siècle, l'enquête agricole de 1862 fournit de nombreuses informations sur l'emploi des engrais commerciaux. Malheureusement, en raison de leur caractère qualitatif, ces données n'ont pas été récolées par le ministère de l'Agriculture et n'ont jamais fait l'objet d'une publication. Dans le cadre de cet article nous utiliserons les données disponibles dans les questionnaires locaux (cantonaux) pour cartographier l'utilisation des différents engrais commerciaux. Désireux d'aller au-delà d'une appréciation purement visuelle, nous utiliserons différentes approches statistiques et mathématiques afin d'identifier les conditions de la commercialisation de ces engrais. Nous avons donc retenu une approche qui s'appuie sur les systèmes d'information géographique (SIG), l'analyse spatiale et l'analyse des réseaux.

Pour étudier la diffusion des engrais en France à cette époque, nous avons construit un modèle à partir d'une base de données reposant sur la partie non publiée de l'enquête agricole de 1862, d'un système d'information géographique et de la base de données démographiques Geohistoricaldata. Nous avons progressivement complexifié notre modèle en ajoutant, une à une, différentes couches d'information tout en faisant croître le nombre de paramètres (distance villes/campagne, population, réseaux de transport, coût du transport, etc.).

Dans la première section, nous présentons ce qui est connu (et parfois inconnu) à propos du commerce des engrais en France au milieu du XIX^e siècle. Dans la deuxième section, nous présentons les sources et le processus de constitution de données géographiques, point de départ des analyses. Dans la troisième section, nous montrons comment ces données sont utilisées et quel éclairage des analyses exploratoires statistiques et spatiales donnent à

---

12. Pour une mise au point récente et l'émergence d'une agriculture réglementaire, voir S. TOMIC, 2017. La mauvaise qualité des engrais commerciaux n'est pas due exclusivement à la fraude. Comme l'indique J. Girardin en 1862, elle peut aussi s'expliquer par les conditions de stockage. *Journal d'agriculture pratique*, t. 2, 1862, p. 65-66.

notre étude. Ces premiers résultats nous ont incités à examiner dans la quatrième section les conditions de la diffusion de la poudrette et du guano et, dans la cinquième section, les modes alternatifs de diffusion des tourteaux oléagineux en Méditerranée. Enfin, nous concluons en indiquant quelques pistes susceptibles d'approfondir notre compréhension des conditions de la commercialisation et de l'utilisation des engrais au milieu du XIX^e siècle.

1. Les engrais commerciaux en France au milieu du XIX^e siècle selon l'enquête agricole de 1862

Les principaux engrais commerciaux en 1862

À l'exception de la chaux, de la marne et du plâtre, qui sont destinés à modifier le potentiel hydrogène (pH) du sol en vue de réduire son acidité, quatre types d'engrais commerciaux sont couramment mentionnés dans l'enquête agricole de 1862 : la poudrette, le noir animal ou noir, les tourteaux oléagineux et le guano¹³.

La poudrette est un sous-produit de la partie solide des vidanges urbaines. C'est un engrais assez pauvre, on y trouve habituellement 2 à 3 % d'azote, parfois moins¹⁴. Le terme « poudrette » désigne à l'origine le résultat du processus de dessiccation des excréments humains tel qu'il était pratiqué à Paris, à la voirie de Montfaucon, depuis la fin du XVIII^e siècle. Au milieu du XIX^e siècle, on trouve des fabriques de poudrette dans de nombreuses villes françaises mais aussi à l'étranger, en particulier aux États-Unis, où le terme « poudrette » est également employé¹⁵.

Il existe différents types de noirs dont les définitions peuvent varier d'un auteur à l'autre. Le noir animal, le produit le plus souvent cité (soit explicitement, soit sous le terme « noir »), désigne un sous-produit de l'industrie du sucre. Il s'agit de poudre d'os carbonisé destinée à purifier les mélasses et à blanchir le sucre. Elle est aussi utilisée dans l'industrie pour produire des vernis. Les noirs de bonne qualité fournissent du phosphate dans des proportions plus ou moins importantes. Cet engrais est utilisé dans l'ouest de la France¹⁶ mais aussi, comme nous le verrons, au sud du bassin de la Loire, ce qui est moins connu.

Les tourteaux oléagineux sont des sous-produits très importants de l'industrie de l'huile. Après pression des graines ou des fruits oléagineux, il reste un résidu qui peut représenter jusqu'à plus de 60 % du poids de la matière première. Les tourteaux sont essentiellement recherchés pour leur teneur en

13. Sur la structure des questionnaires cantonaux, voir L. HERMENT, 2017.

14. S. BARLES, 1999 ; *id.*, 2005b ; L. HERMENT, 2017.

15. W. JORDAN, 1950 ; J. TARR, 1975 ; R. WINES, 1985, p. 14, p. 29 ; E. MELILLO, 2012.

16. R. BOURRIGAUD, 1994 ; P. MARTIN, 2015 ; *id.*, 2018, p. 101-136.

azote. Elle varie selon la nature des graines ou des fruits à partir desquels ils sont obtenus¹⁷. Il convient de distinguer deux types de tourteaux : les tourteaux de graines indigènes (œillette, chanvre, colza) et les tourteaux de graines et de fruits exotiques (arachides, palmiste, sésame, colzas indiens ou de Russie, guzerath, etc.). Vers 1860, il existe en France trois grands pôles régionaux de production d'huile. Marseille est le pôle le plus important. Les huileries marseillaises importent de très grandes quantités d'arachides, de sésame, etc. La Normandie représente le deuxième pôle. L'huile est produite à partir du colza cultivé dans le Calvados, dans l'Eure et en Seine-Inférieure. Les huileries rouennaises importent par ailleurs de grandes quantités de guzerath, de sésame, etc. Le troisième pôle est situé dans le nord de la France. Il est centré sur la production d'œillette et de navettes indigènes du Pas-de-Calais et l'importation de graines et de fruits exotiques par le port de Dunkerque. En dépit de leur importance dans les processus de fertilisation dans certaines régions, la production et la commercialisation des tourteaux n'ont pas fait à ce jour l'objet d'une étude systématique¹⁸.

La fortune historiographique du guano contraste avec celle des tourteaux oléagineux. Vers 1860, le guano est le roi des engrais. Mais il existe en fait deux types de guano : le guano péruvien, riche en azote (environ 12 à 13 %), et les guanos phosphatiques extraits dans des îles de l'océan Pacifique et dans les Caraïbes, ou sur l'île d'Ichaboe. Vers 1860, le guano du Pérou est de loin le plus populaire et le plus abondant. Entre le milieu des années 1850 et le début des années 1860, les quantités importées en France augmentent. Elles s'élèvent à moins de 10 000 tonnes en début de période contre 40 000 tonnes vers 1860 et plus de 115 000 tonnes en 1864. Les importations varient de manière très importante d'une année à l'autre, mais la hausse des importations est très nette, en particulier après la prise de contrôle par Gibbs de la concession française.

Le commerce du guano est organisé par les autorités péruviennes qui accordent des licences d'exportation à des commissionnaires disposant d'un monopole de commercialisation pour un pays ou un groupe de pays. Entre 1850 et 1859, l'approvisionnement de la France est aux mains de la maison Montané de Bordeaux. Gibbs, de Londres, succède à Montané entre 1859 et 1862¹⁹. De 1863 à la fin des années 1860 c'est la firme Thomas Lachambre et C^{ie} qui est chargée de commercialiser le guano²⁰. Lorsque le guano arrive en France, le commissionnaire le vend à des marchands qui le stockent et

---

17. Selon Girardin, le tourteau d'œillette est le plus riche en azote (environ 7 %), alors que le tourteau palmiste ne contient que 2,38 % d'azote. *Journal d'agriculture pratique*, 1862, t.2, p.36.

18. Parmi les références contemporaines l'ouvrage de Décugis fait autorité : B.-M.-S. DÉCUGIS, 1876. Voir aussi C. PLUVINAGE, 1912 [1906], p.453-462.

19. W. MATTHEWS, 1970 ; *id.*, 1981.

20. Le premier contrat est signé le 25 février 1861.

mettent en place des réseaux de commercialisation. Le commerce du guano provoque quatre types de plainte chez les cultivateurs, mais aussi les négociants. En premier lieu, le guano est de mauvaise qualité car il est mélangé avec d'autres substances. Sa mauvaise qualité est telle qu'au milieu des années 1850, des agriculteurs du nord de la France désirent l'importer par Anvers alors que des négociants de Nantes évoquent la possibilité de s'en procurer en Angleterre²¹. Un deuxième grief porte sur le prix du guano qui est trop élevé. Deux autres griefs sont périodiquement avancés : l'organisation du monopole de l'importation ne favorise pas la concurrence ; les droits d'importation, enfin, sont trop élevés.

Les points de départ des engrais

La diffusion des différents types d'engrais commerciaux dépend du lieu de leur production ou de leurs points d'entrée sur le territoire national et de leur prix. La poudrette est un engrais de peu de valeur en raison de sa faible teneur en azote. Les principales villes produisent de la poudrette, sauf à se délester à bon compte de leurs vidanges dans les rivières ou dans la mer.

Le noir animal est produit à Nantes, où le sucre colonial est raffiné, dans le nord-est du pays (l'actuelle région Hauts-de-France) et dans les abords immédiats de Paris. Au milieu du XIX^e siècle, la demande de noir animal est très importante en Europe. Comme le note la chambre de commerce de Valenciennes en 1849, tous les pays d'Europe entravent les exportations d'os et de noirs en appliquant des droits élevés. Les raffineurs du nord de la France sont donc contraints de faire venir des os des ports méditerranéens et bretons, mais aussi d'Afrique et du Brésil²². Le ministère de l'Agriculture diligente une enquête au milieu des années 1850 afin de savoir s'il faut augmenter ou diminuer les droits sur les importations et les exportations de noir. Les sociétés d'agriculture de l'ouest de la France²³ et les raffineurs s'opposent à toute idée d'augmentation des droits sur les importations. La position des raffineurs est plus ambivalente et varie selon les périodes. Il est parfois plus profitable de produire de l'alcool que du sucre. Durant ces périodes, l'intérêt de la profession pour le noir faiblit nettement.

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe trois pôles de production de tourteaux oléagineux : Marseille, la Normandie et le Nord. La place de Marseille est la plus importante. La puissance de l'industrie oléicole marseillaise ne fera d'ailleurs que croître au cours du siècle. L'enquête sur les engrais de 1866 indique que la production phocéenne de tourteaux oléagineux s'élève à près de 70 000 tonnes par an au début des années 1860²⁴. Les productions du

---

21. AN F/12/6859.

22. AN F/12/6859. Sur l'importance de Nantes, voir P. MARTIN, 2018, p. 191-194.

23. AN F/12/6859.

24. *Enquêtes sur les engrais industriels*, 1866, t. 2, p. 146.

Nord et de Normandie sont aussi très importantes. Elles s'appuient sur une production de graines oléagineuses locales et sur des importations de graines et de fruits exotiques. Il existe enfin des centres de production secondaires, en particulier sur la façade atlantique²⁵.

Au début du boum du guano (1845-1852), le Royaume-Uni importe 34 fois plus de guano que la France. Mais depuis le milieu des années 1850, la France comble son retard. À cette époque, les principaux ports d'entrée du guano sont Dunkerque, Bordeaux et surtout Le Havre. Il existe aussi des places secondaires comme La Rochelle ou Nantes (Figure 1)²⁶.

Figure 1. *Destinations des 45 navires jaugeant 25 554 tonneaux chargés aux îles de Chincha, pour la France dans l'année 1858*

Source. AN F/12/6860.

Note. Les statistiques du commerce extérieur fournissent des informations un peu différentes pour l'année 1862. Le Havre reçoit 44 % des livraisons, Bordeaux 32 %, Nantes 18 %. De petites quantités sont importées de Belgique par Lille et Tourcoing. *Tableau général du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères*, 1862.

Selon l'enquête menée par le ministère de l'Agriculture sur les droits d'importation et d'exportation sur les matières fertilisantes, deux opinions s'affrontent à propos du guano. Les armateurs français militent pour un maintien des droits d'importation par navires étrangers²⁷, alors que les sociétés d'agriculture désirent la suppression de ces droits²⁸. De plus, l'importation de guano depuis les autres pays européens est grevée d'un droit très lourd.

25. B.-M.-S. DÉCUGIS, 1876, p. 53.

26. Sur l'importation dans les ports secondaires, voir l'exemple de Bayonne. AN F/12/6859.

27. Voir par ex. les exigences des commerçants bordelais en 1857 et 1866. ANF/12/6859.

28. Voir par ex. la lettre du Conseil général de Seine-et-Marne, 20 août 1858. ANF/12/6859.

2. L'enquête agricole de 1862 et les statistiques du cabotage

La structure des sources

La publication des résultats, en 1869, de l'enquête agricole de 1862 est le fruit d'un long travail de compilation des réponses locales. Les questionnaires de l'enquête furent envoyés dans chaque localité française. Dans un deuxième temps, les commissions cantonales établissaient en principe deux types de documents : un tableau synoptique dans lequel elles reportaient les réponses des communes, et un questionnaire cantonal dans lequel elles récapitulaient les informations au niveau du canton. Une commission d'arrondissement, qui représentait un troisième niveau d'agrégation, récoltait les réponses des cantons et envoyait les résultats à la préfecture qui se chargeait de transmettre des informations au ministère.

En dépit des travaux des commissions d'arrondissement et des commissions départementales, les questionnaires cantonaux ou les tableaux synoptiques furent envoyés au ministère de l'Agriculture à une date que nous ne sommes pas parvenus à déterminer. Ces documents sont disponibles aux Archives nationales sous les cotes F/11/2697 à F/11/2712. Les informations relatives aux « engrais commerciaux ou artificiels » et aux amendements employés dans le canton sont disponibles dans le point G de la troisième partie de l'enquête (Figure 2).

Figure 2. Enquête de 1862, canton de Gamaches (Somme)

G. — ENGRAIS ET AMENDEMENTS.

a. Engrais.

Quelle est LA QUANTITÉ moyenne d'engrais d'étable employée dans la commune pour la fumure d'un hectare de terre. (En quint. métr.)	Quels sont LES ENGRAIS commerciaux ou artificiels employés dans la commune. (1)	Quel est LE PRIX MOYEN de chacun de ces engrais rendus sur place (par hectol. ou par quintal métrique selon le cas).	Déterminer, s'il est possible, LES QUANTITÉS de ces engrais employées dans la commune (en hectolitre ou en quint. métr. selon le cas).	Déterminer LA QUANTITÉ moyenne annuelle de récoltes et de fourrages coupés en vert et enfouis pour servir d'engrais. (en quint. métr.).	EMPLOI - T - ON	
					LE PURIN. (2)	DES COMPOSTS. (3)
8000	engrais de fondement, engrais superphosphatés, plâtre, poudre de soufre, engrais 35	Fr. 75 50	2000	maïs	non	non

b. Amendements.

Quelles sont LES SUBSTANCES employées comme amendement. (4)	QUANTITÉS habituellement employées PAR HECTARE de l'une ou l'autre de ces substances. (En quint. métr.)	Déterminer, s'il est possible, LA QUANTITÉ MOYENNE annuelle consommée de chacun de ces amendements. (En quint. métr.)	PRIX MOYEN par hectolitre ou quintal métrique selon le cas de chacun de ces amendements rendus sur place.
Marne	300	10.000	Fr. 10

Source. AN F/11/2710.

Seuls les résultats départementaux firent l'objet d'une publication en 1869. Mais les informations relatives aux engrais et aux amendements ne furent jamais publiées et il n'existe aucune étude d'ampleur nationale²⁹. Les éditeurs de l'enquête indiquent que les réponses aux questions relatives à l'utilisation des engrais commerciaux qui étaient comprises dans la rubrique « économie rurale » n'ont pas été publiées car, « malheureusement, soit que ces questions aient été mal comprises, soit par toute autre cause, les réponses ont été insuffisantes et n'ont pu être utilisées³⁰. » Notre travail vise à combler partiellement cette lacune. Il s'appuie sur les questionnaires cantonaux et les tableaux synoptiques disponibles aux Archives nationales³¹.

La difficulté d'établir une carte et les limites de la source

Il convient tout d'abord de préciser que les questionnaires cantonaux de plusieurs départements manquent à l'appel, en particulier ceux de l'Aisne, de la Manche, du Pas-de-Calais et de la Mayenne. Il est donc impossible de présenter une carte complète des réponses pour la France du Nord.

Mais plus que l'absence de données, c'est la détermination des cantons qui soulève le plus de problèmes. Les limites des cantons peuvent varier d'une année à l'autre. Il faut donc reconstituer les limites cantonales de l'année 1862. À l'heure actuelle nous avons reconstitué les limites des cantons dans 61 départements sur 89 (Figure 3).

La détermination des limites des cantons s'avère parfois très problématique. Tout d'abord, compte tenu de nos partis pris, il est impossible de déterminer avec précision les limites des cantons urbains pour deux raisons. D'une part, une même ville peut être partagée entre plusieurs cantons mi-ruraux, mi-urbains. Dans ce cas, nous avons fait le choix de ne retenir que la partie rurale de chaque canton. D'autre part, la source confond parfois en une seule entité plusieurs cantons (par exemple Rouen correspond à l'agrégation de six cantons). Dans ce cas, nous avons alors choisi d'englober la ville dans les limites de l'entité retenue par les administrateurs locaux qui ont rédigé l'enquête.

Ensuite, les limites des communes ont été périodiquement modifiées. Certaines communes ont disparu. D'autres, au contraire, ont été créées à partir d'une ou de plusieurs communes. Dans certains cas, une commune a été créée à partir de communes appartenant à des cantons différents, etc. Enfin, en de très rares cas, il a été impossible, en dépit de la base de données

---

29. L. HERMENT, 2017, p. 111-113.

30. *Résultats généraux de l'enquête décennale de 1862*, p. CXI. Seule la quantité de fumier d'étable répandue par hectare fut publiée.

31. Pour son étude sur l'offre de produits agricoles au milieu du XIX^e siècle, Georges Grantham a utilisé les questionnaires cantonaux de l'enquête de 1852. C'est à notre connaissance la seule étude comparable à la nôtre. G. GRANTHAM, 1989.

Figure 3. *Limites cantonales, en 1862, dans 61 départements français*

Cassini de l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS), de déterminer avec certitude l'appartenance d'une commune à un canton déterminé à la date de l'enquête³².

La carte que nous présentons comporte donc des approximations du point de vue de la géographie administrative. Mais cela ne remet pas en cause la validité des résultats globaux que nous présenterons. Dans un travail ultérieur, nous compléterons notre base de données en relevant les données disponibles pour les zones montagneuses et l'est du pays, et nous introduirons des données relatives au relief dans les cartes. À ce stade de notre travail, sur la base des résultats obtenus pour l'Isère et l'Aveyron, nous pouvons provisoirement affirmer que l'emploi des engrais commerciaux est assez rare dans les zones de montagne.

32. Par exemple, nous ne savons pas si Sainte-Adresse, dans les faubourgs du Havre, doit être rattachée au canton de *Le Havre nord* ou à celui de *Le Havre sud* après l'absorption par Le Havre des communes suburbaines. Cette commune a peut-être été rattachée au canton de Montivilliers.

Comme l'indique la Figure 2, il n'est pas possible d'exploiter les données quantitatives relatives au poids ou au volume des fertilisants commerciaux consommés dans le canton et aux prix qui y sont pratiqués. Indépendamment de cette remarque, il convient de souligner que les administrateurs locaux en charge de l'enquête firent dans l'ensemble un véritable effort pour restituer les pratiques de fertilisation dominantes ou habituelles. Il est possible de mesurer la fiabilité de la source à l'aide d'un exemple. De nombreux observateurs ont été frappés par le rôle que les algues jouaient dans les processus de fertilisation des régions côtières de Bretagne³³. La deuxième carte présentée (Figure 4) démontre que la source rend parfaitement compte de cette spécificité. Il serait possible d'exposer d'autres exemples du même type. Par exemple, le genêt est assez fréquemment mentionné dans le Sud-Est et les débris des cocons de soie dans les Cévennes, etc.

Figure 4. *Mentions d'algue (varech ou goémon)*

33. Voir par exemple G. HEUZÉ, 1862.

Par ailleurs, les mentions des principaux engrais commerciaux sont cohérentes avec ce que les sources et l'histoire rurale indiquent. Les noirs (essentiellement le noir animal et les résidus de raffineries de sucre) sont mentionnés dans l'Ouest et, ce qui est plus inattendu, le long des vallées de la Loire et de ses affluents. Les poudrettes et vidanges sont utilisées dans le grand Bassin parisien. Les guanos sont mentionnés dans le quart nord-est du pays, de la Normandie au sud de Paris et au département du Nord. Ils sont aussi mentionnés le long des axes Bordeaux-Paris et Bordeaux-Sète (ou Cette). Les très nombreuses mentions de tourteaux oléagineux dans le Sud-Est constituent le résultat le plus surprenant de cette cartographie dans la mesure où l'on ignore tout ou presque de ce commerce (Figure 5).

Figure 5. *Présence par canton des quatre engrais commerciaux les plus souvent mentionnés*

Cette enquête réserve aussi d'autres surprises. Le nitrate de soude n'est jamais mentionné par les administrateurs locaux. Pourtant, les importations

s'élèvent en 1862 à plus de 18 000 tonnes qui entrent pour l'essentiel par Le Havre³⁴. Il est possible qu'une partie du nitrate soit confondue avec le guano ou que le composé ne soit tout simplement pas identifié comme tel par les administrateurs locaux. Quoi qu'il en soit, le nitrate de soude était un engrais nouveau. Il est coté pour la première fois en 1858 dans le *Journal d'agriculture pratique* et des scientifiques aussi respectés que Boussaingault s'interrogent encore sur ses effets³⁵.

Le noir pose un problème spécifique. Les administrateurs locaux mentionnent parfois du « noir », parfois du « noir animal », beaucoup plus rarement du « noir animalisé ». Nous avons systématiquement considéré que le terme « noir » désignait le noir animal. C'est assez probable sans être certain. Enfin, comme nous l'avons déjà souligné, le terme « guano » recouvre plusieurs réalités, il peut même faire référence à des guanos artificiels³⁶.

L'exploitation du *Tableau général des mouvements du cabotage pendant l'année 1862* soulève beaucoup moins de problèmes. Toutefois, une part importante du cabotage des engrais depuis Le Havre à destination des autres ports de l'Atlantique et de la Manche fait simplement référence à l'envoi d'« engrais » sans plus de précision. Il est donc possible que le guano réexpédié depuis Le Havre nous échappe. Enfin, il faut noter que si la statistique enregistre avec beaucoup de précision les sorties, il n'en va pas nécessairement de même pour les entrées, en particulier dans les ports de l'Atlantique. En Méditerranée, les entrées sont enregistrées avec beaucoup plus de précisions, ce qui a été particulièrement utile pour déterminer l'approvisionnement en tourteaux du Languedoc.

3. Création des données d'infrastructure de transport et approches statistiques

Les moyens de transport

Notre objectif est de comprendre si la présence ou l'absence des quatre engrais mentionnés ci-dessus trouve une explication spatiale et économique. Il faut prendre en compte deux classes de paramètres. D'une part, les pratiques de transport des marchandises dans la France de 1862 sont bouleversées par l'arrivée récente du rail, qui raccourcit les temps de transport et offre une alternative intéressante au transport par voies d'eau (rivières et canaux). D'autre

---

34. Les quantités importées les années précédentes sont les suivantes : 10 279 tonnes en 1859, 14 357 tonnes en 1860 et 11 159 tonnes en 1861.

35. Le *Journal d'agriculture pratique* indique que Boussaingault juge que le nitrate se montre plus favorable aux feuilles qu'aux racines. *Journal d'agriculture pratique*, 1857, t. 1, p. 393.

36. Voir par exemple Girardin, *Journal d'agriculture pratique*, 1862, t. 2, p. 65-66.

part, il faut tenir compte de l'urbanisation croissante qui a des effets sur la disponibilité des engrais pour deux raisons. Les villes les plus importantes d'une région sont souvent desservies par le train, elles constituent donc des points de redistribution potentiels. Par ailleurs, la croissance urbaine provoque une augmentation des déchets, des rebuts, des vidanges, etc., potentiellement disponibles pour l'agriculture. La taille des villes et la distance du canton à la ville la plus proche constituent donc des variables importantes.

Nous avons fait le choix d'analyser ces phénomènes en utilisant les approches à la fois spatiale et statistique. Pour cela nous devons constituer les données qui seront utilisées. Dans ce genre d'études, les données, qu'elles soient qualitatives ou quantitatives, existent rarement et il est nécessaire de les générer à partir de sources historiques. Pour le cas des données concernant le réseau ferré de 1862, nous avons utilisé la *Nouvelle carte des chemins de fer français et voies navigables...* réalisée en 1861 par Jules Sédille (Figure 6). Elle correspond peu ou prou à l'état du réseau à l'époque de l'enquête agricole.

Figure 6. *Carte des transports en France en 1861*

Crédits. Jules Sédille, *Nouvelle carte des chemins de fer français et voies navigables...*, 1861.
Source. Bibliothèque nationale de France (BNF), Cartes et plans, GE C-6515 (disponible sur Gallica : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53083110h>).

À ce stade de notre recherche, nous ne sommes pas en mesure d'étudier avec une grande finesse l'importance des voies navigables. Il n'est en particulier pas possible de distinguer le transport d'amont en aval du transport d'aval en

amont. Cela ne remet cependant pas en cause les résultats présentés ci-dessous. Il conviendra sans doute, dans un travail ultérieur, d'affiner l'analyse en ce qui concerne la commercialisation du noir dans le sillon ligérien et de cerner avec plus de précision les sections navigables des différents cours d'eau.

En ce qui concerne la population des villes, nous avons utilisé les données démographiques fournies par le projet Geohistoricaldata pour le recensement de 1861, qui est contemporain de l'enquête à une année près³⁷.

Une fois que les données nécessaires à l'analyse ont été construites, avec un soin attentif à la topologie des réseaux (hydrographique et ferré) de façon à pouvoir réaliser des calculs de plus courts chemins sur des graphes, les analyses peuvent commencer. Cette étape nous permet d'obtenir des matrices contenant des informations simples d'absence/présence de rivières et de rails. Des calculs de distance sont également réalisés pour chaque canton de façon à obtenir les distances à la rivière et à la voie de chemin de fer les plus proches. Nous avons par ailleurs sélectionné toutes les communes de plus de 10000 habitants, pour des valeurs de population variant entre 10000 et 100000 habitants par pas de 10000 habitants, et pour lesquels nous calculons également les distances à tous les cantons.

Figure 7. *Intersection de cantons à travers plusieurs filtres d'observations*

La première étape d'une analyse exploratoire consiste à visualiser les données sélectionnées au travers de différents filtres dans le but de distinguer les cantons par type et par moyen de transport (Figure 7) et de voir si, au

37. Voir le projet Geohistoricaldata qui fournit les données démographiques de 1794 à 1861. URL : <http://geohistoricaldata.org/>.

premier abord, une logique émerge³⁸. Les six cartes de la Figure 7 rendent compte des différents filtres que l'on peut utiliser. Par exemple, la carte « rail et rivières » (7a) indique les cantons traversés par une voie de chemin de fer et par une voie navigable, alors que la carte « rivières seulement » (7b) indique, pour la même zone géographique, les cantons traversés seulement par une voie navigable.

Analyses statistiques

Des statistiques simples nous permettent de voir s'il existe des corrélations entre la présence des différents engrais et les cantons classés en fonction des types de réseaux de transports qui s'y trouvent. Il apparaît par exemple que 30 % des mentions de tourteaux apparaissent dans les cantons uniquement traversés par une rivière. C'est le cas de 40 % des mentions de noir. Mais le noir se démarque des tourteaux dans les cantons pour lesquels il n'y a ni rail ni rivière (43 % des mentions de noir se trouvent dans des cantons n'ayant ni rail ni rivières, contre 23 % pour les tourteaux). Enfin, le guano et la poudrette semblent fonctionner de la même façon avec des valeurs assez proches dans tous les cas.

Tableau 1. *Statistiques de bases des engrais par présence/absence de type de transports (sur 1 787 cantons)*

	Nombre de cantons (pourcentage)				
	Ni rail, ni hydro	Rail et hydro	Rail seulement	Hydro seulement	Total
<i>Guano</i>	217 (34%)	183 (28%)	91 (14%)	155 (24%)	646
<i>Poudrette</i>	93 (32,5%)	91 (31,8%)	53 (18,5%)	49 (17,2%)	286
<i>Tourteaux</i>	56 (21,5%)	90 (34,6%)	37 (14,2%)	77 (29,7%)	260
<i>Noir animal</i>	147 (43,9%)	35 (10,4%)	20 (6%)	133 (39,7%)	335

Bien entendu, il serait hasardeux de construire une analyse sur des statistiques aussi frustes, mais la démarche étant exploratoire, il est intéressant de voir si certains phénomènes apparaissent dès cette première étape. La mise en place d'une analyse statistique plus fine constitue l'étape suivante.

L'analyse que nous présentons ici repose sur deux outils : la régression logistique (de type logit) et l'analyse en composantes principales (dite ACP). Ces modèles vont nous permettre de comprendre les relations fines et les corrélations qui peuvent exister entre toutes les variables de notre modèle. Ces outils bien connus des statisticiens sont de plus en plus utilisés et combinés

38. J. TUKEY, 1977 ; D. PUMAIN & T. SAINT-JULIEN, 1999.

avec des outils d'analyse spatiale et des outils SIG, souvent dans les études environnementales³⁹, mais aussi dans le champ large des humanités numériques, en géographie⁴⁰, en archéologie⁴¹, en traitement de l'information spatialisé du Web⁴².

Les variables étudiées sont au nombre de six. Il s'agit des deux variables de présence/absence du rail ou de voie d'eau dans les cantons et des quatre variables de présence/absence des quatre engrais dans ces mêmes cantons.

Le modèle logit

Le modèle logit nous permet de combiner simplement des variables binaires (présence/absence) dans le cas où celles-ci peuvent être interdépendantes.

La régression linéaire classique utilise l'équation générale

$$Y = b_0 + \sum (b_i x_i) + \varepsilon$$

où Y est une variable continue dépendante et X_i les variables indépendantes. Dans le cas où Y ne prend que la valeur 1 ou 0, il n'est pas possible d'utiliser une régression linéaire.

Les modèles logit permettent d'estimer les probabilités $p(X|0)$ et $p(X|1)$, qui représentent respectivement la probabilité qu'un phénomène X existe connaissant la présence (1) ou l'absence (0) de la variable discrète. Il peut s'agir par exemple de la probabilité de présence d'un engrais dans un canton connaissant la présence (1) ou l'absence (0) d'un moyen de transport particulier.

Le modèle classique logit repose alors sur le fait que $\ln \frac{p(X|0)}{p(X|1)}$ vaut $a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_i x_i$

Ainsi nous essayons d'évaluer : $\ln \frac{p(1|X)}{1 - p(1|X)} = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_i x_i$

Par extension, les « odds values » valent :

$$Odds = \frac{p(Y=1)}{p(Y=0)} = \frac{p(Y=1)}{1 - p(Y=1)}$$

$$\text{avec } \Delta Odds = e^{b_i} = \frac{Odds(X_i + 1)}{Odds(X_i)}$$

$\Delta Odds$ est appelé le « odds ratio » ou rapport des cotes du modèle, c'est une mesure qui exprime le degré de dépendance entre des variables, associant les variables explicatives à la variable à expliquer. Ainsi, si le « odds ratio »

39. A. FACCHINELLI, E. SACCHI & L. MALLIN, 2001 ; C. MUNDIA & M. ANIYA, 2005 ; H. T. DAVIS *et al.*, 2009.

40. E. KAH & M. PRUVOT, 2003.

41. L. HOLATA, 2012.

42. A. FOTSOH, C. SALLABERRY & A. LE PARC, 2017.

de $Y = 1$ augmente d'un facteur de e^{b_i} par unité alors il augmentera également dans X_i selon les mêmes proportions.

Puisque nous considérons deux types de transport en France en 1861, le rail et le transport par rivières et canaux, il est important de connaître la corrélation entre ces deux variables pour tous les cantons. Pour ces variables, le « odds ratio » est de 2,45, ce qui signifie qu'il y a 2,45 fois plus de chance d'observer des cantons avec présence simultanée de rail et d'éléments de réseaux hydrographique (rivières ou canaux) que toutes les autres combinaisons⁴³.

Il nous est par ailleurs aisé de construire une matrice de corrélation entre engrais. La matrice est symétrique par construction. Elle permet d'identifier les engrais qui ne sont pas corrélés, comme la poudrette et le noir animal ou les tourteaux et le noir animal, tandis que, dans d'autres cas, il y a une légère corrélation, comme les tourteaux avec la poudrette, le guano avec le noir animal, le guano avec les tourteaux. La poudrette et le guano sont par contre fortement corrélés (Tableau 2), ce qui était déjà clairement visible dans le Tableau 1.

Tableau 2. *Matrice de corrélations des engrais effectués sur 1 787 cantons*

Engrais	Poudrette	Noir animal	Tourteaux	Guano
Poudrette	1	X	X	X
Noir animal	No	1	X	X
Tourteaux	1,59	0,21	1	X
Guano	6,74	2,55	2,35	1

Note. Les valeurs en correspondance sur deux engrais indiquent s'il y a ou non une corrélation. Si la valeur est positive et que le P(Z), non indiqué dans le tableau, est inférieur à 5 %, alors la corrélation est significative. Un « No » indique qu'il n'y a pas de corrélation, un « X » indique la symétrie de la matrice.

Ainsi le Tableau 2 indique-t-il que la présence de poudrette augmente de 6,74 fois la probabilité de trouver du guano dans un canton, et symétriquement par construction. À l'inverse, une valeur de 0,21, et plus généralement inférieure à 1, indique que la présence de tourteaux diminue la probabilité de présence de noir animal.

Il y a donc bien une corrélation forte entre poudrette et guano, mais l'articulation repose-t-elle sur les moyens de transport ? Nous avons réalisé

43. Calcul effectué sur 1 787 cantons. Quatre combinaisons possibles « ni rail ni hydro », « rail uniquement », « hydro uniquement » et « rail et hydro ». On obtient 2,41 si l'on restreint l'observation aux 1 692 cantons pour lesquels on dispose d'information sur la présence/absence d'engrais.

des corrélations par type de transports. Comme le montre la table suivante, nous constatons que la corrélation reste importante quelle que soit la présence ou l'absence d'un mode de transport disponible dans un canton (Tableau 3). Visiblement, les infrastructures de transports par rail et par voies fluviales sont intimement liées en ce qui concerne l'acheminement de la poudrette et du guano.

Tableau 3. *Corrélation du couple d'engrais en coprésence poudrette/guano dans un canton et des infrastructures de transport*

<i>Cor(Poudrette/Guano)</i>	<i>Rivières=0</i>	<i>Rivières=1</i>	<i>Rivières={0,1}</i>
Rails=0	NM	NM	6,41 (1235)
Rails=1	NM	NM	5,59 (552)
Rails={0,1}	7,44 (939)	6,14 (848)	6,74 (1787)

Lecture du tableau :

- Dans les cantons où il n'y a pas d'élément de réseaux hydrographiques (rivières=0 ; rails={0,1}), il y a 7,44 fois plus de chances de trouver la combinaison poudrette/guano que toute autre combinaison.
- Dans les cantons traversés par le rail et des éléments de réseau hydrographique (rails=1 et rivières={0,1}), il y a 5,59 fois plus de chances de trouver la combinaison poudrette/guano que toute autre combinaison.
- Le nombre entre parenthèses indique le nombre de cantons concernés.
- De même que pour la table précédente, on lit de manière croisée la corrélation entre les cantons qui ont déjà une corrélation entre poudrette et guano que l'on corrèle avec la présence (=1), l'absence (=0) ou les deux {0,1}. Pour le cas rails={0,1} et rivières={0,1}, nous retrouvons bien la valeur de corrélation entre les engrais poudrette et guano de 6,74. Les valeurs NM (*non made*) indiquent que ces valeurs n'ont pas été calculées car non significatives pour notre analyse.

L'analyse en composante principale

Allons plus loin dans l'exploration en effectuant une analyse en composante principale (ACP), qui permet de représenter graphiquement les relations d'interdépendance entre engrais et types de transport et de faciliter dans une certaine mesure l'interprétation des corrélations.

Cette technique repose sur une analyse multidimensionnelle à partir de toutes les variables du modèle (deux types de transport et quatre engrais) et sur une technique de reprojection de ce modèle multidimensionnel vers un plan en deux dimensions (Figure 8). En raison de la particularité du sud-est de la France, nous avons restreint les données spatiales aux points situés au nord d'une ligne fictive Gironde-Alsace.

Les vecteurs « guano » et « poudrette » sont très fortement corrélés. Le noir animal et les tourteaux sont par contre presque orthogonaux. Ce phénomène reflète ce que les cartes de la Figure 5 laissaient entrevoir : le guano et la poudrette étaient utilisés dans les mêmes régions. Par contre le

noir animal semble s'opposer aux tourteaux. Mais les axes dimensions 1 et 2 de l'ACP n'expliquent que 50 % des phénomènes observés.

Figure 8. Résultats de l'ACP pour le modèle à six variables

Enfin, contrairement à notre intuition, le modèle démontre que le lien entre le guano et la poudrette n'est pas basé sur la présence de réseaux de transport. Les vecteurs de la Figure 8 l'indiquent clairement : les variables « poudrette » et « guano » sont presque orthogonales aux variables « pre_hydro » et « pre_rail ». Ainsi, l'utilisation des engrais, notamment le guano, la poudrette et le noir animal, et leur diffusion spatiale en France en 1861 ne sont pas exclusivement déterminées par l'existence de réseaux de transports spécifiques. Il est nécessaire de faire intervenir d'autres variables économiques.

4. Modèle de diffusion de la poudrette et du guano

Les modèles statistiques exposés précédemment indiquent qu'il faut prendre en compte d'autres variables que l'existence de réseaux de transport pour expliquer la présence ou l'absence de mention d'engrais dans certains cantons, en particulier en ce qui concerne la poudrette et le guano. Pour ces engrais nous avons effectué des tests de corrélation entre les mentions de poudrette et de guano à la distance des villes de plus de 10 000 habitants (selon le recensement de 1861).

Nous avons fait l'hypothèse qu'au nord d'une ligne Gironde-Alsace, ces engrais étaient commercialisés à partir des villes de plus de 10 000 habitants qui sont, en principe, raccordées au réseau ferroviaire à cette époque et pratiquement toutes raccordées au réseau hydrographique. Nous n'avons pas pris en compte le sud de la France puisque les cultivateurs n'utilisent peu de noir

animal et de poudrette, en particulier dans le Sud-Est. Le modèle de diffusion indique les changements de pente de la courbe pour chaque niveau de population. Nous avons testé le modèle pour différents niveaux de population par pas de 10 000 habitants (Figure 9).

Figure 9. Distribution des distances aux villes les plus proches pour deux types d'engrais et pour plusieurs modèles de villes

Note. En haut, distribution des distances de cantons avec présence de poudrette vers plusieurs modèles de population de villes (de 10 000 à 100 000 habitants). En bas, distribution des distances de cantons avec présence de guano vers plusieurs modèles de population de villes (de 10 000 à 100 000 habitants). Sur l'axe des abscisses, le nombre de mentions de poudrette est nettement inférieur à celui des mentions de guano.

Dans un premier temps, les pentes sont linéaires avant de devenir exponentielles. La seconde partie de la pente est liée à la présence de cantons excentriques dont l'analyse ne doit pas tenir compte. Les pentes prennent un caractère exponentiel beaucoup plus tôt pour la poudrette que pour le guano. La poudrette est donc diffusée beaucoup moins loin que le guano à partir des villes de plus de 10 000 habitants. Il apparaît par ailleurs que les sauts dans le modèle interviennent entre 10 000 et 20 000 habitants pour la poudrette contre 50 000 et 60 000 habitants pour le guano. En ce qui concerne la poudrette, la pente de la courbe de la distance aux villes de plus de 20 000 habitants prend un caractère exponentiel assez rapidement. Pour le guano, c'est la courbe de la distance aux villes de plus de 50 000 habitants qui marque une rupture très nette avec les courbes de niveau inférieur.

Pour confirmer cette hypothèse, nous pouvons tenter de comparer le modèle de corrélation avec les cercles concentriques autour des principales villes, soit de plus de 10 000 habitants (Figure 10). Cette méthode confirme très nettement la probabilité de trouver des mentions de poudrette à proximité des villes alors que l'aire de diffusion du guano déborde largement le rayon de 50 kilomètres.

Figure 10. *Diffusion de la poudrette et du guano autour des villes de plus de 10 000 habitants*

Une dernière méthode, basée sur un modèle de diffusion des engrais à partir des villes importantes vers les cantons voisins, exploite ce que nous avons déjà réalisé dans la partie précédente mais en ajoutant un nouveau paramètre de distance variant de 0 à 125 km, pour plusieurs seuils de population. Nous n'avons considéré ici que les seuils entre 10 000 et 20 000 habitants, car, comme nous l'avons vu, un saut existe pour ces seuils de population. Pour ces combinaisons de paramètres et pour le seuil de population des villes variant entre 10 000 et 20 000 habitants, nous calculons des corrélations « odds ratio » pour les cantons éloignés de 0 à 125 km par pas de 25 km. Les résultats sont disponibles sur les graphiques de la Figure 11.

Figure 11. *Corrélations entre poudrette et guano pour plusieurs modèles de diffusions en considérant plusieurs seuils de population*

Note. En haut, corrélations pour le guano et la poudrette à des villes distantes de 0 à 125 km pour des modèles de population variant de 10 000 à 20 000 habitants. En bas, moyenne des corrélations pour les trois modèles de villes de 10 000 à 20 000 habitants.

Ce que nous observons sur le premier graphique de la Figure 11 (haut) est assez caractéristique d'un pic de diffusion de la poudrette entre 50 et 75 km pour les trois seuils de population. Puis le pic de diffusion décroît rapidement

après 75 km. Le même effet apparaît sur la moyenne des trois modèles de population considérés. Le guano semble au contraire être relativement peu présent à proximité des villes considérées mais croît rapidement dès qu'on s'éloigne de plus de 50 km.

Ainsi, alors que ces deux engrais semblaient corrélés par leur présence dans des cantons de typologie similaire, cette analyse tend à les décorréliser dès lors que nous considérons un modèle de diffusion à partir des centres des villes. L'aire de commercialisation de la poudrette est en définitive étroitement circonscrite dans un rayon d'une cinquantaine de kilomètres autour des villes, alors que celle du guano est beaucoup plus vaste. On peut admettre en première approximation que les deux engrais sont commercialisés à partir des mêmes pôles de production pour la poudrette, de redistribution pour le guano. C'est cette particularité qui explique leur présence simultanée dans de nombreux cantons au nord de la ligne Gironde-Alsace. Cela doit nous inciter à étudier les raisons d'ordre économique qui expliquent le différentiel de diffusion des deux engrais à partir des mêmes pôles.

Il faut prendre en compte un autre paramètre. Il s'agit du coût du transport par rail. Le prix de vente des différents fertilisants varie beaucoup. Pour le guano et la poudrette, il dépend assez étroitement de leur teneur en azote. Certains guanos sont riches en acide phosphorique, mais le guano du Pérou, qui constitue à cette époque l'essentiel des importations, est surtout recherché pour sa teneur en azote. Il est possible d'effectuer le même raisonnement pour les tourteaux. Pour le noir animal, il faudrait raisonner sur la valeur de l'unité d'acide phosphorique.

A priori, le prix de l'unité d'azote de la poudrette est inférieur à celui du guano : 4 F/quintal pour 2 % d'azote, soit 2 F/pourcent d'azote, contre 35 F/quintal pour 14 % d'azote, soit environ 2,5 F/pourcent d'azote. Mais il faut aussi tenir compte du coût du transport ferroviaire que l'on peut évaluer à 0,006 F par kilomètre en ne tenant pas compte de la dégressivité des tarifs, auquel on peut ajouter 2 F par tonne pour le chargement et le déchargement quelle que soit la distance parcourue. Nous obtenons le modèle (linéaire) suivant :

$$C_{n\ \%p} = \frac{0,006 d + 4 + 0,2}{2}$$

$$\text{et } C_{n\ \%g} = \frac{0,006 d + 35 + 0,2}{14}$$

avec $C_{n\ \%p}$ et $C_{n\ \%g}$ représentant respectivement le coût par unité d'azote de poudrette et le coût par unité d'azote de guano.

Il est alors facile de déterminer la distance d à laquelle la valeur de l'unité d'azote du guano est égale à la valeur de l'unité d'azote de la poudrette en posant $C_{n\ \%p} = C_{n\ \%g}$ (Figure 12).

Figure 12. Intersection des modèles linéaires de coût de transport de la poudrette et du guano

L'intersection des deux droites indique à quelle distance les valeurs de l'unité d'azote sont identiques. Au-delà de 160 km, la valeur de l'unité d'azote de la poudrette surpasse celle du guano (coût de transport par rail inclus). La limite de 160 km ne tient pas compte de certains éléments de coût supportés par les agriculteurs ou les commerçants. Il faut aussi considérer qu'après le déchargement du train, l'agriculteur ou le commerçant doit transporter par route l'engrais qu'il a acheté. Le coût du transport par route dépend de nombreux paramètres : état des routes, saisons, dénivelé, disponibilité des animaux de traits et de la main d'œuvre, etc. Dans tous les cas, le coût de transport par route de la tonne par kilomètre est largement supérieur à celui du train. Enfin, en raison de la faible teneur en azote de la poudrette, le coût de l'épandage de l'unité d'azote de la poudrette est 6 à 7 fois supérieur à celui du guano. Cela explique sans aucun doute que l'aire de diffusion économique de la poudrette ne dépasse pas les 50 ou 60 km qu'indique la quatrième carte (Figure 10). On peut, enfin, tirer un autre enseignement de cet exercice : il est assez probable, compte tenu des coûts de chargement et de déchargement qu'implique le transport par train, que la route soit en définitive le moyen de transport le plus économique pour la poudrette⁴⁴.

Ainsi, nous montrons dans cette étude que malgré des corrélations spatiale et statistique fortes, les explications ne sont pas uniquement à chercher dans l'analyse de la présence d'un type de réseaux de transport mais dans une analyse plus fine fondée à la fois sur la diffusion gravitaire et des paramètres économiques comme le coût du transport et le coût de l'épandage par unité d'azote. Dans un contexte économique et industriel dans lequel de nouveaux

44. Voir aussi L. HERMENT, 2017.

engrais commerciaux ayant des propriétés fertilisantes supérieures sont disponibles, l'usage de la poudrette n'est pas très économique et se concentre dès lors dans l'hinterland des villes. Le guano qui est un meilleur engrais a, en dépit de son prix assez élevé, une aire de diffusion nettement plus large.

5. Le commerce des tourteaux oléagineux

Comme les cartes et nos calculs l'indiquent, certaines régions présentent un profil spécifique. C'est particulièrement net pour le sud-est du pays. À Marseille la production d'huile végétale est très importante. Au début des années 1860, les huileries marseillaises consomment plus d'un million de quintaux de graines et de fruits oléagineux. La production de tourteaux s'élève à plus de 500 000 quintaux dont une partie est exportée en Angleterre pour l'engraissement du cheptel⁴⁵. Mais tous les tourteaux n'étaient pas destinés à l'engraissement des animaux. Certains étaient nocifs, voire mortels pour les bestiaux à l'engrais – les tourteaux de colzas exotiques et de ricin, entre autres⁴⁶. Une autre partie de la production marseillaise était expédiée dans les départements du Sud-Est pour la fumure des terres.

La troisième carte de la Figure 5 démontre que les tourteaux oléagineux étaient fréquemment utilisés comme engrais en Provence, dans le Languedoc et la vallée du Rhône. Dans cette dernière région les tourteaux étaient transportés par train depuis Marseille. Arles était le principal port fluvial pour charger et décharger des marchandises venant ou à destination de la vallée du Rhône. Il n'y a pas mention de transport de tourteaux par mer ou par voie d'eau entre Marseille et Arles. Il était clairement plus économique d'utiliser le train. Dans la mesure où il n'y avait pas de train au-delà de Toulon à cette époque, l'approvisionnement en tourteaux des petits ports de la Côte d'Azur dépendait du cabotage depuis Marseille. Pour le Languedoc et l'est de la côte provençale, il existait deux types de transport alternatifs : le train et le cabotage. La statistique du cabotage de l'année 1862 nous permet de discerner quel était le mode de transport dominant.

Le cabotage français se déploie sur deux espaces distincts : le premier englobe la Manche et la façade atlantique, le second l'ensemble des ports méditerranéens. Les échanges à l'intérieur de ces deux zones correspondaient aux « petits cabotages », alors que les échanges entre les deux zones, qui impliquaient le contournement de la péninsule ibérique, étaient qualifiés de « grand cabotage ». Les liens entre les deux zones étaient importants. L'espace méditerranéen envoyait du vin, du sel, des savons vers le nord de la France, la Bretagne envoyait ses grains dans les ports de la Méditerranée.

---

45. Voir F. M. L. THOMPSON, 1968.

46. Sur cette question voir par exemple C. GAROLLA, 1892, p. 77-82.

Mais ce commerce ne concernait pas les tourteaux. Si les tourteaux oléagineux produits à Marseille étaient exportés en Angleterre, les envois vers les ports français de la façade Manche-Atlantique étaient extrêmement réduits, voire nuls certaines années⁴⁷. Par ailleurs, à l'exception de 4 900 quintaux envoyés à Marseille depuis le nord ou l'ouest du pays, les livraisons du nord à destination de la Méditerranée étaient elles aussi très peu importantes. Bref, la quasi-totalité des tourteaux qui arrivaient dans les ports méditerranéens provenaient de l'industrie oléicole marseillaise qui polarisait cet espace. L'espace méditerranéen constituait donc un isolat qui n'avait que des contacts épisodiques avec l'industrie oléicole du nord du pays (Tableau 3). Si l'on ne tient pas compte des 400 quintaux livrés par Toulon, qui représentaient moins de 1 % des envois, il est possible de retracer la direction et l'intensité des flux entre Marseille, la côte provençale et le Languedoc.

Tableau 4. *Cabotage de tourteaux oléagineux en Méditerranée (1862)*

Ports	Quantités envoyées	Quantités reçues	Origine selon la statistique
Marseille		4900	Océan
Marseille	58527		
Toulon	400	34400	Méditerranée
Antibes	0	8050	Méditerranée
Sanary-sur-mer (Saint-Nazaire)	0	3475	Méditerranée
Sète (Cette)	0	2507	Méditerranée
Cannes	0	2176	Méditerranée
Hyères (Les salins d'Hyères)	0	2067	Méditerranée
Saint-Tropez	0	1176	Méditerranée
Porquerolles	0	753	Méditerranée
Bandol	0	400	Méditerranée

Source. *Tableau général des mouvements du cabotage pendant l'année 1862*, Imprimerie nationale, 1863, Paris.

Le Languedoc n'était pas approvisionné par mer. Cette (Sète), le grand port de cette région, recevait à peine 2 500 quintaux. Il est donc très vraisemblable que l'essentiel des envois marseillais arrivait en train, ce qui permettait de

47. Les statistiques de la navigation côtière indiquent que, jusqu'au milieu des années 1870, Marseille n'exportait pas de tourteaux dans le nord de la France.

distribuer ces engrais le long des axes Marseille-Sète et Marseille-Alès. La cinquième et dernière carte (Figure 13) démontre au contraire que les ports de Provence étaient approvisionnés par le cabotage, au moins pour partie. À cette date, si le chemin de fer n'allait au-delà de Toulon, même cette ville et son arrière-pays étaient largement approvisionnés par la mer. Pour Antibes, Nice, Cannes, etc., il n'y avait pas d'alternative au transport maritime.

Figure 13. *Tourteaux envoyés et reçus par cabotage en Méditerranée*

Conclusion

Le commerce des engrais en France au milieu du XIX^e siècle est très mal connu. L'enquête agricole de 1862 avait pour objectif de tracer le portrait le plus fidèle possible de l'agriculture française. En dépit de la bonne volonté des administrateurs locaux, l'État ne parvint pas à fournir une estimation quantitative de la consommation des engrais commerciaux. Le retour aux sources primaires permet de s'interroger sur l'importance de cette consommation et de tracer une cartographie de l'utilisation de l'engrais. En dépit du caractère purement qualitatif de ces données, il est en effet possible de les cartographier et de les associer aux différents moyens de transport disponibles, en particulier au réseau de transport ferroviaire en plein essor.

L'enquête permet aussi de s'interroger sur l'aire de diffusion des différents types d'engrais. Nos résultats confirment que le noir animal est d'un usage courant à défaut d'être massif en Bretagne. Mais l'aire de commercialisation du noir dépasse largement cette région, elle englobe les vallées de la Loire et

de ses affluents jusqu'à Orléans. L'aire de commercialisation des poudrettes et des vidanges est par contre assez étroitement localisée. Le prix de la poudrette entrave sa diffusion au loin. Certes, le prix de la poudrette peut compenser le coût du fret ferroviaire sur près de 200 km, mais il faut aussi tenir compte du complément de coût par voie de terre pour comprendre pourquoi la poudrette n'est presque jamais utilisée au-delà d'un rayon de 50 à 60 km de son lieu de production. La faiblesse de la teneur en azote de cet engrais a donc un impact très important sur son mode et son aire de commercialisation. Le guano au contraire voyage au loin. À partir des ports d'entrée, il est envoyé dans l'ensemble du quart nord-est du pays ; il est aussi commercialisé le long de l'axe Paris-Bordeaux et Bordeaux-Sète, et même en Bretagne. Cet engrais, dont le contenu en azote est très élevé, peut supporter le coût d'un voyage au loin, soit en train, soit par cabotage, depuis Le Havre, Bordeaux ou Nantes. Les tourteaux oléagineux sont les seuls concurrents sérieux du guano. Non seulement ces tourteaux sont les seuls engrais azotés commerciaux qui ont une aire de diffusion comparable au guano en Normandie et dans le Nord-Pas-de-Calais, mais dans le sillon rhodanien leur emploi exclut celui du guano. La puissance de l'industrie marseillaise de l'huile et du savon et le prix des tourteaux leur permettent de supporter un fret ferroviaire sur près de 200 km. On les retrouve donc dans la région de Valence (département de la Drôme) et dans le Languedoc, jusqu'à Montpellier et Sète.

La double approche cartographique et statistique que nous avons adoptée permet de rendre compte pour la première fois des conditions de la diffusion des engrais commerciaux dans l'ensemble de la France au milieu du Second Empire. À défaut de données quantitatives, les données qualitatives et le traitement statistique des données géographiques permettent d'appréhender les zones d'influence des différents engrais et de mettre en perspective leur importance relative au cours d'une période durant laquelle l'agriculture française se modernise lentement.

Enfin, les aspects méthodologiques explorés dans ce travail, qui tentent d'expliquer des phénomènes à partir de données binaires, offrent un large panel exploratoire tant du point de vue de l'analyse spatiale qu'en termes d'outils statistiques. Ces analyses reposent sur une part d'intuition que l'analyse exploratoire, que l'on peut qualifier d'arborescente, permet de conforter ou, au contraire, d'infirmer, ce qui nous a incités à ouvrir de nouvelles pistes de recherche. Deux d'entre elles méritent plus particulièrement d'être mentionnées. La première est relative à l'amélioration de la prise en compte des paramètres géographiques. Il s'agira par la suite non seulement d'élargir l'échantillon en recueillant des données sur les départements absents de l'analyse, mais aussi de tenir compte du relief et d'examiner avec une précision accrue le rôle des voies d'eau. La seconde piste de recherche intéresse plus spécifiquement l'histoire rurale et l'histoire économique. Il s'agira d'introduire dans les régressions des données d'ordre économique et agronomique : les

prix locaux des principales productions agricoles et les taux de salaire, les modes de faire-valoir dominants, l'importance des principales productions, des cultures industrielles telles la betterave, le colza et la pomme de terre ou encore des cultures fruitières en plein essor dans le sud-est de la France. Il s'agira enfin de déterminer statistiquement si l'usage des engrais commerciaux est associé à une utilisation intensive des fumiers de ferme. Les résultats de cette étude semblent indiquer que c'est dans les régions de culture intensive, dans lesquelles la charge de fumier à l'hectare est très élevée, que l'usage des engrais commerciaux est le plus important.

Bibliographie

Sources

Sources imprimées

Tableau général des mouvements du cabotage pendant l'année 1862, Paris, Direction générale des douanes et des contributions indirectes, Imprimerie nationale, Décembre 1863.

Tableau général du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères, Paris, Direction générale des douanes et des contributions indirectes, Imprimerie nationale, Décembre 1863.

Journal d'agriculture pratique, années 1858, 1857, 1862.

DÉCUGIS, Barthélemy-Marie-Stanislas, *Les tourteaux de graines oléagineuses et leurs applications théoriques et pratiques*, Toulon, chez l'auteur, 1876.

GAROLLA, Charles Victor, *Contributions à l'étude des tourteaux alimentaires : composition, valeur alimentaire, emploi pratique et diagnose*, Chartres, Imprimerie Durand, 1892.

HEUZÉ, Gustave, *Matières fertilisantes : engrais minéraux, végétaux et animaux, solides, liquides, naturels et artificiels (4^e édition revue et augmentée...)*, Paris, Hachette, 1862.

PLUVINAGE, Charles, *Industrie et commerce des engrais et des anticryptogamiques et insecticides*, Paris, J.-B. Baillères et fils, 1912 [1906].

Archives

Archives nationales

F/11/2697 à 2712

F/12/6859

F/12/6860

Travaux

ALLEN, Robert C., « The Nitrogen Hypothesis and the English Agricultural Revolution: A Biological Analysis », *Journal of Economic History*, vol. 68, n° 1, 2008, p. 182-210.

- ASHLEY, Ken, CORDELL, Dana & MAVINIC, Donald, « A Brief History of Phosphorus: From the Philosopher's Stone to Nutrient Recovery and Reuse », *Chemosphere*, vol. 84, n° 6, 2011, p. 737-746.
- BARBANCE, Marthe, *La vie commerciale de la route du Cap Horn au XIX^e siècle. L'armement A.-D. Bordes et fils*, Paris, SEVPEN, 1969.
- BARLES, Sabine, *La ville délétère : médecins et ingénieurs dans l'espace urbain, XVIII^e-XIX^e siècle*, Seyssel, Champ Vallon, 1999.
- , « Experts contre experts : les champs d'épandage de la ville de Paris dans les années 1870 », *Histoire urbaine*, n° 14, 2005a, p. 65-80.
- , *L'invention des déchets urbains. France : 1790-1970*, Seyssel, Champ Vallon (Milieux), 2005b.
- , « The Nitrogen Question. Urbanization, Industrialization, and River Quality in Paris, 1830-1939 », *Journal of Urban History*, vol. 33, n° 5, 2007, p. 792-812.
- BARLES, Sabine & LESTEL, Laurence, « The Nitrogen Question Urbanization, Industrialization, and River Quality in Paris, 1830-1939 », *Journal of Urban History*, vol. 33, n° 5, 2007, p. 794-812.
- BLAKEMORE, Harold, « Chilean Revolutionary Agents in Europe, 1891 », *Pacific Historical Review*, vol. 33, n° 4, 1964, p. 425-446.
- BONIN, Hubert, *Histoire de la Société générale*, t. 1 : 1864-1890 : *La naissance d'une banque moderne*, Genève, Librairie Droz, 2006.
- BOURRIGAUD, René, *Le développement agricole au XIX^e siècle en Loire-Atlantique*, Nantes, Centre d'histoire du travail de Nantes, 1994.
- BROWN, Joseph. R., « The Frustration of Chile's Nitrate Imperialism », *Pacific Historical Review*, vol. 32, n° 4, 1963, p. 383-396.
- BRUNT, Liam, « Where There's Muck, There's Brass: The Market for Manure in the Industrial Revolution », *The Economic History Review*, vol. 60, n° 2, 2006, p. 333-372.
- CARNINO, Guillaume, « L'environnement et la science. Acclimater la population de Gennevilliers aux débordements des eaux usées parisiennes, 1870-1880 », in Thomas LE ROUX & Michel LETTÉ, *Débordements industriels. Environnement, territoire et conflit (XVIII^e-XIX^e siècle)*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2013, p. 199-224.
- CHEVET, Jean-Michel, « Production et productivité : un modèle de développement économique des campagnes de la région parisienne aux XVIII^e et XIX^e siècles », *Histoire & mesure*, vol. 9, n° 1-2, 1994, p. 101-145.
- CHORLEY, G. Patrick H., « The Agricultural Revolution in Northern Europe, 1750-1880: Nitrogen, Legumes, and Crop Productivity », *Economic History Review*, vol. 34, n° 1, 1981a, p. 71-93.
- , « Early Evidence of Sainfoin Cultivation around Paris », *Agricultural History Review*, vol. 29, n° 2, 1981b, p. 118-124.
- CLARK, Brett & FOSTER, John Bellamy, « Ecological Imperialism and the Global Metabolic Rift Ecological Imperialism and the Global Metabolic Rift: Unequal Exchange and the Guano/Nitrates Trade, Unequal Exchange and the Guano/Nitrates Trade », *International Journal of Comparative Sociology*, vol. 50, n° 3-4, 2009, p. 311-334.
- CLAYTON, Lawrence A., *Grace: W. R. Grace & Co. The Formative Years, 1850-1930*, Ottawa (Illinois), Jameson Books, 1985.

- COOPER, Timothy, «Challenging the “Refuse Revolution”: War, Waste, and the Rediscovery of Recycling, 1900-1950», *Historical Research*, vol. 81, n° 214, 2008, p. 710-731.
- , «Modernity and the Politics of Waste in Britain», in Sverker SÖRLIN & Paul WARDE (dir.), *Nature's End: History and the Environment*, Basingstoke, Palgrave Macmillan, 2009, p. 247-272.
- , «Peter Lund Simmonds and the Political Ecology of Waste Utilization in Victorian Britain», *Technology and Culture*, vol. 52, n° 1, 2011, p. 21-44.
- CORDELL, Dana, DRANGERT, Jan-Olof & WHITE, Stuart, «The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for Thought», *Global Environmental Change*, vol. 19, n° 2, 2009, p. 292-305.
- CROSSLEY, Ceri, «Pierre Leroux and the Circulus: Soil, Socialism and Salvation in Nineteenth-Century France», in Louise LYLE & David MCCALLAM (dir.), *Histoires de la Terre: Earth Sciences and French Culture 1740-1940*, Amsterdam, Rodopi (Faux titre, 322), 2008, p. 105-118.
- CUNFER, Geoff, «Manure Matters on the Great Plains Frontier», *Journal of Interdisciplinary History*, vol. 34, n° 4, 2004, p. 539-567.
- CUSHMAN, Gregory T., *Guano and the Opening of the Pacific World: A Global Ecological History*, Cambridge, Cambridge University Press, 2013.
- DAVIET, Jean-Pierre, *Un destin international : La Compagnie de Saint-Gobain de 1830 à 1939*, Montreux, Éditions des archives contemporaines, 1989.
- DAVIS, Harley T., AELION, C. Marjorie, McDERMOTT, Suzanne & LAWSON, Andrew B., «Identifying Natural and Anthropogenic Sources of Metals in Urban and Rural Soils Using GIS-based Data, PCA, and Spatial Interpolation», *Environmental Pollution*, vol. 157, n° 8, 2009, p. 2378-2385.
- DE GRAEF, Pieter, «Urbs in Rure? Urban Manure and Fertiliser Improvement in 18th-Century Flemish Farming», thèse de doctorat en histoire, Universiteit Antwerpen, 2016.
- , «Food from Country to City, Waste from City to Country: An Environmental Symbiosis? Fertiliser Improvement in Eighteenth-Century Flanders», *Journal for the History of Environment and Society*, vol. 2, 2017, p. 25-61.
- DISER, Lyvia, «Laboratory versus Farm: The Triumph of Laboratory Science in Belgian Agriculture at the End of the Nineteenth Century», *Agricultural History*, vol. 86, n° 1, 2012, p. 31-54.
- DIXON, Marion W., «Chemical Fertilizer in Transformations in World Agriculture and the State System, 1870 to Interwar Period», *Journal of Agrarian Change*, vol. 18, n° 4, 2018, p. 768-786.
- DOUGUI, Nouredine, *La Compagnie des phosphates et du chemin de fer de Gafsa 1897-1930 : histoire d'une grande entreprise coloniale*, Tunis, Publications de la faculté des lettres de la Manouba, 1995.
- FACCHINELLI, Aurelio, SACCHI, Elisa & MALLIN, Luca, «Multivariate Statistical and GIS-Based Approach to Identify Heavy Metal Sources in Soils», *Environmental Pollution*, vol. 114, n° 3, 2001, p. 313-324.
- FERLEGER, Lou, «Uplifting American Agriculture: Experiment Station Scientists and the Office of Experiment Stations in the Early Years after the Hatch Act», *Agricultural History*, vol. 64, n° 2, 1990, p. 5-23.

- FINLAY, Mark R., « The German Agricultural Experiment Stations and the Beginnings of American Agriculture Research », *Agricultural History*, vol. 62, n° 2, 1988, p. 41-50.
- FOTSOH, Armel, Sallaberry, Christian & LE PARC-LACAYRELLE, Annig, « Calcul de similarité entre événements sociaux », in *Actes de l'atelier EXCES (Extraction de connaissances à partir de données spatialisées), conférence Sagéo des 6-9 novembre 2017*, Rouen, 2017. URL : sageo2017.sciencesconf.org/data/pages/presentation_exces_2017_fotsoh.pdf
- GIERLINGER, Sylvia, HAIDVOGL, Gertrud, GINGRICH, Simone & KRAUSMANN, Fridolin, « Feeding and Cleaning the City: The Role of the Urban Waterscape in Provision and Disposal in Vienna During the Industrial Transformation », *Water History*, vol. 5, n° 2, 2013, p. 219-239.
- GORMAN, Hugh S., *The Story of N: A Social History of the Nitrogen Cycle and the Challenge of Sustainability*, New Brunswick, New Jersey et Londres, Rutgers University Press, 2013.
- GRANTHAM, George, « Agricultural Supply During the Industrial Revolution: French Evidence and European Implications », *The Journal of Economic History*, vol. 49, n° 1, 1989, p. 43-72.
- GRAY, Marion W., « Urban Sewage and Green Meadows: Berlin's Expansion to the South 1870-1920 », *Central European History*, vol. 47, n° 2, 2014, p. 275-306.
- GREENHILL, Robert G. & MILLER, Rory M., « The Peruvian Government and the Nitrate Trade, 1873-1879 », *Journal of Latin American Studies*, vol. 5, n° 1, 1973, p. 107-131.
- HAMLIN, Christopher, « Recycling as a Goal of Sewage Treatment in Mid-Victorian Britain », in Donald HOKE, *The History and Sociology of Technology*, Milwaukee, Milwaukee Public Museum, 1982.
- , « Environmental Sensibility in Edinburgh, 1839-1840: The Fetid Irrigation Controversy », *Journal of Urban History*, vol. 20, n° 3, 1994, p. 311-339.
- HELMS, Douglas, « Soil and Southern History », *Agricultural History*, vol. 74, n° 4, 2000, p. 723-758.
- HERMENT, Laurent, « Vidanges et fertilisants. Le cas de la poudrette parisienne au milieu du dix-neuvième siècle », *Journal for the History of Environment and Society*, vol. 2, 2017, p. 95-126.
- HERMENT, Laurent & LE ROUX, Thomas, « Introduction. Recycling: The industrial city and its surrounding countryside, 1750-1940 », *Journal for the History of Environment and Society*, vol. 2, 2017, p. 1-24.
- HOLATA, Lukáš, « Settlement Patterns in Drahaný Uplands (Czech Republic): GIS and Quantitative Methods Based Approach », in Graeme EARL, Tim SLY, Angeliki CHRYSANTHI, Patricia MURRIETA-FLORES, Constantinos PAPADOPOULOS, Iza ROMANOWSKA & David WHEATLEY (dir.), *Archeology in Digital Era*, vol. 2 : *e-Papers from the 40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton 26-30 March 2012*, Amsterdam, Amsterdam University Press, 2012.
- JACKSON, Simon, « The Phosphate Archipelago: Imperial Mining and Global Agriculture in French North Africa », *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte / Economic History Yearbook*, vol. 57, n° 1, 2016, p. 187-214.
- JACOBS, Brent, CORDELL, Dana, CHIN, Jason & ROWE, Helen, « Towards Phosphorus Sustainability in North America: A Model for Transformational Change », *Environmental Science & Policy*, vol. 77, 2017, p. 151-159.

- JAS, Nathalie, « Les enjeux scientifiques, techniques et commerciaux du contrôle de la qualité des engrais au XIX^e siècle », *Réseaux*, n° 102, 2000, p. 165-194.
- , « Au carrefour de la chimie et de l'agriculture. Les sciences agronomiques en France et en Allemagne, 1840-1914 », *Revue d'histoire des sciences*, vol. 57, n° 1, 2004, p. 216-218.
- JORDAN, Weymouth T., « The Peruvian Guano Gospel in the Old South », *Agricultural History*, vol. 24, n° 4, 1950, p. 211-221.
- KJÆGAARD, Thorkild, *The Danish Revolution 1500-1800: An Ecohistorical Interpretation*, Cambridge, Cambridge University press, 1994.
- KAH, Estelle & PRUVOT, Michel, « L'analyse log-linéaire de tableaux de contingence et le modèle logit I : principe, usage, intérêt et limites », *Cybergeo : European Journal of Geography*, n° 231, 2003.
URL : <https://journals-openedition-org-s.sargasses.biblio.msh-paris.fr/cybergeo/2381>, consulté le 26 octobre 2018.
- KNIBBE, Merijn T., « Feed, Fertilizer, and Agricultural Productivity in the Netherlands, 1880-1930 », *Agricultural History*, vol. 74, n° 1, 2000, p. 39-57.
- MÄRALD, Erland, « Everything Circulates: Agricultural Chemistry and Recycling Theories in the Second Half of the Nineteenth Century », *Environment and History*, vol. 8, n° 1, 2002, p. 6-84.
- MARCUS, Alan I., « Setting the Standard: Fertilizers, State Chemists, and Early National Commercial Regulation, 1880-1887 », *Agricultural History*, vol. 61, n° 1, 1987, p. 47-73.
- MARTIN, Philippe, « La production de guano artificiel, une étape dans la professionnalisation des fabricants d'engrais : l'exemple d'Édouard Derrien à Nantes (1840-1860) », *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, vol. 122, n° 1, 2015, p. 161-190.
- , « Histoire de l'industrie des engrais dans l'estuaire de la Loire à l'époque contemporaine », thèse de doctorat, Université de Nantes.
- MATHEW, William M., « The Imperialism of Free Trade: Peru, 1820-1870 », *Economic History Review*, vol. 21, n° 3, 1968, p. 562-579.
- , « Peru and the British Guano Market, 1840-1870 », *Economic History Review*, vol. 23, n° 1, 1970, p. 112-128.
- , « Contractors and the Peruvian Government at the Outset of the Chilean Trade », *Hispanic American Historical Review*, vol. 52, 1972, p. 598-620.
- , *The House of Gibbs and the Peruvian Guano Monopoly*, Londres, Swift Printers Ltd (Royal Historical Society, 25), 1981.
- MELILLO, Edward D., « The First Green Revolution: Debt Peonage and the Making of the Nitrogen Fertilizer Trade, 1840-1930 », *The American Historical Review*, vol. 117, n° 4, 2012, p. 1028-1060.
- MIGNEMI, Niccolò, « L'enquête de l'Institut international d'agriculture sur la réutilisation des déchets et des résidus (1920-1922) ou qui gouverne l'agriculture ? », *Journal for the History of Environment and Society*, vol. 2, 2017, p. 127-153.
- MILLER, Rory & GREENHILL, Robert, « The Fertilizer Commodity Chains: Guano and Nitrate, 1840-1930 », in Steven TOPIK, Carlos MARICHALN & Frank ZEPHYR (dir.), *From Silver to Cocaine. Latin Commodity Chains and the Building of the World Economy, 1500-2000*, Durham (N.C.) et Londres, Duke University Press, 2006.
- MONTEÓN, Michael, « The Enganche in the Chilean Nitrate Sector, 1880-1930 », *Latin American Perspectives*, vol. 6, n° 3, 1979, p. 66-79.

- , « John T. North, the Nitrate King, and Chile's Lost Future », *Latin American Perspectives*, vol. 30, n° 6, 2003, p. 69-90.
- MOSER, Peter & VARLEY, Tony, « The State and Agricultural Modernisation in the Nineteenth and Twentieth Centuries in Europe », in *Integration through Subordination*, Turnhout, Brepols Publishers (Rural History in Europe, 8), 2013.
- MUNDIA, Charles N. & ANIYA, Masamu, « Analysis of Land Use/Cover Changes and Urban Expansion of Nairobi City Using Remote Sensing and GIS », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, n° 13, 2005, p. 2831-2849.
- NESET, Tina-Simone S. & CORDELL, Dana, « Global Phosphorus Scarcity: Identifying Synergies for a Sustainable Future », *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 92, n° 1, 2011, p. 2-6.
- O'BRIEN, Thomas F., « The Antofagasta Company: A Case Study of Peripheral Capitalism », *Hispanic American Historical Review*, vol. 60, n° 1, 1980, p. 1-31.
- O'DONNELL, Dan, « The Nineteenth Century Pacific Guano Trade », *Bulletin of the Australian Institute for Maritime Archaeology*, vol. 19, n° 2, 1995, p. 27-32.
- PAGE, Arnaud, « "The Greatest Victory which the Chemist Has Won in the Fight [...] against Nature": Nitrogenous Fertilizers in Great Britain and the British Empire, 1910s-1950s », *History of Science*, vol. 54, n° 4, 2016, p. 383-398.
- PUMAIN, Denise & SAINT-JULIEN, Thérèse, *L'analyse spatiale : les localisations dans l'espace*, Paris, Armand Colin, 1999.
- SECADA, C. Alexander G. de, « Arms, Guano, and Shipping: The W. R. Grace Interests in Peru, 1865-1885 », *Business History Review*, vol. 59, n° 4, 1985, p. 597-621.
- SHEAIL, John, « Town Wastes, Agricultural Sustainability and Victorian Sewage », *Urban History*, vol. 23, n° 2, 1996, p. 189-210.
- SHIEL, Robert S., « Improving soil productivity in the pre-fertilizer era », in Bruce M. S. CAMPBELL & Mark OVERTON (dir.), *Land, labour and livestock. Historical Studies in European Agriculture Productivity*, Manchester, Manchester University Press, 1991, p. 51-77.
- , « Nutrient Flows in Pre-Modern Agriculture in Europe », in John R. McNEILL & Verena WINIWARTER (dir.), *Soils and Societies. Perspectives from Environmental History*, Cambridge, The White Horse Press, 2006.
- SIMMONS, Dana, « Waste Not, Want Not: Excrement and Economy in Nineteenth-Century France », *Representations*, vol. 96, n° 1, 2006, p. 73-98.
- SKAGGS, Jimmy M., *The Great Guano Rush: Entrepreneurs and American Overseas Expansion*, New York, Palgrave MacMillan, 1994.
- SMIL, Vaclav, *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production*, Cambridge (Mass.), MIT Press, 2001.
URL : <https://mitpress.mit.edu/books/enriching-earth>, consulté le 24 juillet 2018.
- SNYDERS, Hendrik, « "Stinky and Smelly – but Profitable": The Cape Guano Trade, c. 1843-1910 », thèse de doctorat en histoire, Stellenbosch University, 2011.
- TARR, Joel A., « From City to Farm: Urban Wastes and the American Farmer », *Agricultural History*, vol. 49, n° 4, 1975, p. 598-612.
- TELLO, Enric, MARTINEZ, Jose Luis, JOVER-AVELLÀ, Gabriel, OLARIETA, Jose Ramon, GARCÍA-RUIZ, Roberto, MOLINA, Manuel González DE, BADIA-MIRÓ, Marc, WINIWARTER, Verena & KOEPKE, Nikola, « The Onset of the English Agricultural Revolution:

- Climate Factors and Soil Nutrients», *Journal of Interdisciplinary History*, vol. 47, n° 4, 2017, p.445-474.
- THOMPSON, F. M. L., «The Second Agricultural Revolution, 1815-1880», *Economic History Review*, vol. 21, n° 1, 1968, p.46-77.
- TOMIC, Sacha, «La “science des engrais” et le monde agricole en France au dix-neuvième siècle», *Journal for the History of Environment and Society*, vol. 2, 2017, p. 63-93.
- TUKEY, John W., *Exploratory Data Analysis*, Reading (Mass.) et Londres, Addison-Wesley, 1977.
- UEKÖETTER, Frank, «Know Your Soil: Transitions in Farmers’ and Scientists’ knowledge in Germany», in John R. MC NEILL & Verena WINIWARTER (dir.), *Soil and Societies. Perspectives from Environmental History*, Cambridge, The White Horse Press, 2006, p. 322-340.
- , «City Meets Country: Recycling Ideas and Realities on German Sewage Farms», *Journal for the History of Environment and Society*, vol. 1, 2016, p. 89-107.
- VIZCARRA, Catalina, «Guano, Credible Commitments, and Sovereign Debt Repayment in Nineteenth-Century Peru», *Journal of Economic History*, vol. 69, n° 2, 2009, p.358-387.
- WINES, Richard A., *Fertilizer in America: From Waste Recycling to Resource Exploitation*, Philadelphie, Temple University Press, 1985.
- VAN ZANDEN, Jan Luiten, «The First Green Revolution: The Growth of Production and Productivity in European Agriculture, 1870-1914», *Economic History Review*, vol. 44, n° 2, 1991, p.215-239.