

Juin 2016
volume n° 6 / numéro n° 1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

Regards agronomiques sur les relations entre
agriculture et ressources naturelles

ASSOCIATION FRANÇAISE
AGRONOMIE

Agronomie, Environnement & Sociétés

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

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

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

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

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

Objectif

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

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



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

Directeur de la publication

Marc BENOÎT, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

Rédacteur en chef

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

Membres du bureau éditorial

Pierre-Yves LE GAL, chercheur Cirad

Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du département Persyst, Cirad

Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra

- Valentin BEAUVAL, agriculteur

- Jacques CANEILL, directeur de recherches Inra

- Joël COTTART, agriculteur

- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech

- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie

- Yves FRANCOIS, agriculteur

- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole

- François KOCKMANN, chef du service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71

- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice

- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier

- Jean-Marie LARCHER, responsable du service Agronomie du groupe Axérial

- François LAURENT, chef du service Conduites et Systèmes de Culture à Arvalis-Institut du végétal

- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea

- Jean-Robert MORONVAL, enseignant d'agronomie au lycée agricole de Chambray, EPLEFPA de l'Eure

- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais

- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche

- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro

- Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en Ligne

- Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du Département Persyst, Cirad

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément (voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

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

Soutien à la revue

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

Instructions aux auteurs

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

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

À propos de l'Afa

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

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

Avant-propos

O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) et M. BENOÎT (Président de l'Afa)

Éditorial

B. DAVIRON, T. DORÉ, J.L. FORT, M.H. JEUFFROY et T. NESME (coordonnateurs du numéro)

Etat des lieux des ressources concernées

P13- Agriculture et ressources naturelles : de quoi parlons-nous ?

T. NESME, T. DORÉ, D. LEENHARDT, S. PELLERIN

P23- Agriculture et économie : du solaire au minier... et retour ?

B. DAVIRON

Contribution de l'agriculture à la raréfaction des ressources naturelles, évolution de l'activité agricole pour réduire cet impact, et solutions agronomiques pour faire face à cette raréfaction

P35- Une approche agronomique territoriale pour lutter contre le ruissellement et l'érosion des sols en Alsace

P. VAN DIJK, C. ROSENFELDER, O. SCHEURER, A. DUPARQUE, P. MARTIN, J. SAUTER

P49- Quelle(s) agriculture(s) pour une eau de qualité ?

S. FEUILLETTE, M. BENOIT

P59- Les bordures extérieures de champs en Beauce, des espaces à valoriser : ne laissons pas la biodiversité au bord du chemin

C. LE BRIS

P65- Vers des systèmes de grande culture moins dépendants des énergies fossiles

F. ANGEVIN, C. COLNENNE-DAVID, M.H. JEUFFROY, E. PELZER, T. DORÉ

P77- Avancées et perspectives sur l'amélioration de la disponibilité du phosphore dans les systèmes de culture

M.P. FAUCON, E. MICHEL, H. LAMBERS, D. HOUBEN

P87- Respect et valorisation des ressources naturelles et agriculture biologique : des principes forts se déclinant dans la conception et la gestion agronomique des systèmes de production

L. FOURRIÉ, B. LECLERC, A. CADILLON

P93- Agriculture biologique et ressources naturelles : pas si simple !

P. VIAUX

Organisation de la conception des solutions

P99- Le recyclage agricole des résidus organiques : une ressource naturelle pour en préserver d'autres

T. WASSENAAR, J. QUESTE, J.M. PAILLAT

P109- Entretien avec A. Gosselin : clés de réussite pour une urbanisation équilibrée et durable préservant au mieux la ressource sol

A. GOSSSELIN, T. DORÉ

P115-Regards croisés sur des démarches de protection de l'eau associant le monde agricole

F. BARATAUD, R. REAU, F. HELLEC

P127- Observatoire et tableau de bord pour un pilotage dynamique des pertes de nitrate dans une aire d'alimentation de captage

L. PAVARANO, L. PROST, R. REAU

P135- Biodiversité à l'échelle du paysage : plan d'aménagement dans l'AOC viticole Saumur-Champigny

G. PAIN, M. VAN HELDEN, J. PITHON

Notes de lecture

P145- Nature à vendre – Virginie Maris

T. DORÉ

P147- Concevoir l'écosystème, un nouveau défi pour les agronomes – Elsa Berthet

T. DORÉ

P149- Agriculture et cycles biogéochimiques globaux : analyse des transformations des cycles de l'azote et du phosphore à des échelles spatiales larges, du territoire à la planète – Thomas Nesme

T. DORÉ

Annexe

P151- Appel à contribution du numéro



Agriculture et économie : du solaire au minier... et retour ?

Benoit DAVIRON*

*Cirad - UMR Moisa - Courriel : benoit.daviron@cirad.fr

Résumé

Ce papier analyse, sur le temps long, les modalités de la croissance de la production et de la consommation de la biomasse agricoles en utilisant les notions d'économie solaire et d'économie minière inspirées des travaux de l'historien anglais Antony Wrigley. Ce qui caractérise une économie solaire, c'est-à-dire toutes les sociétés antérieures à la Révolution Industrielle, est la dépendance vis-à-vis de la biomasse non seulement pour la fourniture d'aliments et d'énergie mais aussi comme source quasi-unique de matières premières. Le propre d'une économie minière est de tirer l'essentiel de ses ressources de l'exploitation du sous-sol. Le basculement du solaire vers le minier se traduit du côté de la demande par une substitution des produits issus de la biomasse par des produits de synthèse ou dérivés de minerais. Du côté de l'offre, ce basculement se traduit dans un premier temps par une croissance horizontale, c'est-à-dire une extension des surfaces cultivées grâce à l'avancée des fronts pionniers, et dans un second temps par une croissance verticale caractérisée par la mobilisation des ressources du sous-sol sous la forme de carburants, d'engrais et de pesticides.

Mots-clés

Biomasse, énergie, fronts pionniers, charbon, pétrole, agriculture, production agricole.

Abstract

This paper analyzes the long history of agriculture using the concepts of organic and mineral economy proposed by the British historian Antony Wrigley. What characterizes an organic economy, that is to say all the societies previous to the Industrial Revolution, is its reliance on biomass not only for the supply of food and energy, but also as an almost unique source of raw materials. The mineral economy lives by exploiting the subsoil resources. The shift from organic to mineral transformed the agricultural demand and supply. On the demand side it generates a substitution process of biomass for synthetic and ore-extracted products. On the supply side, it gave birth first to a horizontal growth - i.e. an extension of cultivated areas through the advance of pioneer fronts, and then to a vertical growth - i.e. the mobilization of subsoil resources in the form of fuels, fertilizers and pesticides.

Introduction

Ce texte se propose d'analyser, sur le temps long, l'évolution de la relation de nos économies à un type particulier de ressource naturelle : la biomasse agricole. Pour ce faire, il s'appuie sur les notions d'économie solaire et d'économie minière inspirées des travaux de l'historien anglais Antony Wrigley pour comprendre le sens de la Révolution Industrielle¹.

Ce qui caractérise une économie solaire, en place dans toutes les sociétés antérieures à la Révolution Industrielle, est sa dépendance vis-à-vis de la biomasse non seulement pour la fourniture d'aliments et d'énergie (Wrigley, 1988 ; Wrigley, 2004 ; Wrigley, 2010) mais aussi comme source de matières premières quasi-unique : « Dans toutes les économies avant le XIXème, la terre était non seulement la source de toute nourriture, mais elle était aussi la source de pratiquement toutes matières premières nécessaires à tous les autres besoins humains » (Wrigley, 2004).

L'exploitation de la biomasse ne se limite donc pas à la fourniture de nourriture. Elle doit aussi apporter aux ménages le combustible, les fibres et les peaux pour s'habiller, une bonne partie des matériaux nécessaires pour se loger ou encore, via les animaux, l'essentiel de l'énergie mécanique. Elle joue aussi un rôle essentiel dans l'entretien de la fertilité des sols. Enfin, la biomasse fournit la majeure partie des matières premières et l'énergie thermique (sous forme de charbon de bois) nécessaires au travail de la plupart des artisans : menuisier, verrier, forgeron, cordonnier, brasseur, chapelier...

A l'inverse, le propre d'une économie minière, caractéristique de la Révolution Industrielle et de ses suites, est de tirer l'essentiel de ses ressources de l'exploitation du sous-sol. L'énergie est le domaine où le basculement est le plus manifeste. En quelques décennies, le charbon puis le pétrole et le gaz naturel (plus marginalement l'uranium) s'imposent comme la source quasi-unique d'énergie mécanique et thermique. Mais la fourniture des matériaux s'en trouve elle aussi bouleversée avec la substitution de produits issus de la biomasse par des produits de synthèse ou des dérivés de minerais que l'énergie abondante permet d'extraire et de traiter.

Ainsi dans le cadre de l'économie minière, là où la révolution industrielle a eu lieu, la demande de biomasse se trouve quasiment réduite à l'alimentation. La notion d'agro-alimentaire qui s'impose après la seconde guerre mondiale, en liant comme une évidence de manière quasi-exclusive l'agriculture et « son » aval alimentaire, témoigne de cette situation, exceptionnelle au regard de l'histoire de l'humanité. Le rapport aux animaux est sans doute le plus illustratif de cette transformation. Autrefois fournisseurs de travail, de fibre, de corne, de suif pour l'éclairage ou de fumier (et j'en oublie) les animaux ne sont plus désormais que

¹ En utilisant les termes de « solaire » et « minier » nous trahissons quelque peu les écrits d'Antony Wrigley qui parle lui de sociétés « organiques » et « minérales ». Plusieurs collègues nous ont fait remarquer que le charbon et le pétrole pouvaient être considérés comme étant du domaine de l'organique puisque issus de la transformation de biomasse. L'utilisation du terme « minier » pour caractériser des économies faisant massivement usage du charbon et du pétrole mais aussi de nombreux minéraux résout la question. Par ailleurs, l'usage du terme « solaire » au lieu de « d'organique » permet de rendre compte à la fois de l'importance de la biomasse, produit de manière directe ou indirecte par le rayonnement solaire, comme source de matière et d'énergie, et de l'utilisation du vent et des courants d'eau, produits indirects du rayonnement solaire, comme source d'énergie.

producteurs de viande et produits laitiers et, éventuellement, de compagnie.

L'entretien de la fertilité des sols, sujet fondamental pour cette revue, s'en trouve aussi radicalement transformé. Au XIX^{ème}, la fertilité est largement négligée parce que les réserves de terres semblent illimitées dans le cadre des formidables fronts pionniers que le chemin de fer ouvre partout sur la planète. Au XX^{ème}, elle est massivement assurée par l'exploitation de ressources minières (phosphore, potasse) ou d'énergie fossile (synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote atmosphérique).

Ce texte tente de rendre compte de cette histoire en se centrant sur l'Europe et une de ses extensions, les Etats-Unis². Il est organisé en cinq parties. La première revient sur la dimension énergétique du basculement de l'économie du solaire au minier. La seconde traite de la place de l'agriculture dans les économies solaires. La troisième partie s'intéresse à l'évolution longue de la demande de biomasse. Les modalités de croissance de l'offre agricole dans le cadre des économies minières sont ensuite abordées en distinguant deux temps. Le premier est celui de la croissance horizontale, qui caractérise le XIX^{ème} siècle, durant lequel la croissance repose essentiellement sur l'extension des surfaces permises par l'avancée des fronts pionniers. Le second temps est celui de la croissance verticale, qui démarre peu après la seconde guerre mondiale et dure jusqu'à nos jours, marquée par la mobilisation, directe ou indirecte, des ressources du sous-sol dans la production agricole.

L'énergie, maîtresse des économies

Le contraste entre économie solaire et économique minière trouve sa plus belle illustration dans l'évolution de la consommation énergétique. La formidable croissance économique que les pays dits « développés » ont connue depuis le XVIII^{ème} siècle a impliqué une croissance d'une ampleur équivalente de leur consommation énergétique. La figure 1 construite à partir des données de Paul Warde et Angus Madison rend compte de cette relation pour la Grande-Bretagne entre 1500 et 2000, pays historiquement pionnier dans le domaine de l'industrialisation et pays pour lequel les plus longues séries de données sont disponibles.

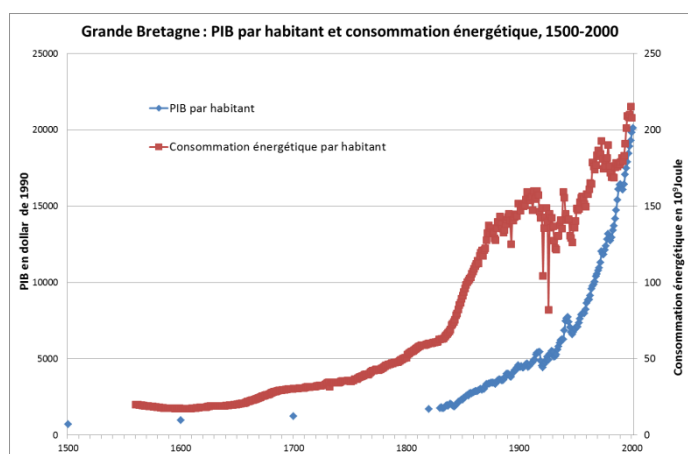


Figure 1 : Grande-Bretagne, PIB et consommation énergétique par habitant, 1500-2000
Source : d'après Maddison, 2001 et Warde, 2007

² Crosby (1973) parle de pays néo-européens pour désigner les pays qui ont à la fois accueilli l'essentiel de l'émigration européenne et joué un rôle de premier plan dans l'approvisionnement alimentaire de l'Europe avant la première guerre mondiale.

Sur la base de ces estimations, il apparaît que le revenu et la consommation énergétique par habitant ont été quasiment multipliés par dix en l'espace de trois siècles. Cet accroissement de la consommation énergétique s'est accompagné d'une transformation majeure de sa composition. Comme le montre la figure 2, construite également à partir des données de Paul Warde, au milieu du XVI^{ème} siècle, l'énergie tirée de la biomasse (travail animal, travail humain et bois) représente bien, et de loin, la plus grande part de l'énergie disponible : près de 90%. Mais très tôt, et c'est bien la particularité de la Grande-Bretagne, la part du charbon augmente. Le pays « bascule » ainsi dans l'économie minière dès le début du XVIII^{ème} siècle, époque à laquelle la part du charbon dépasse la barre des 50% de la consommation énergétique. A la fin du XIX^{ème} siècle, il en représente 95%. Ce n'est qu'après la deuxième guerre mondiale que la prédominance du charbon sera remise en cause, non pas au profit de la biomasse mais au profit de deux autres énergies fossiles, le pétrole et le gaz naturel.

Les autres pays dits « développés » ont tous connu, avec un retard variable, des évolutions similaires à la Grande-Bretagne, que cela soit l'accroissement de la consommation énergétique ou le remplacement de la biomasse d'abord par du charbon puis par du pétrole et du gaz (et un peu de nucléaire, autre énergie tirée du minier). Cette « grande transformation » de la base énergétique de nos économies a été lourde de conséquences pour la demande et l'offre de produits agricoles.

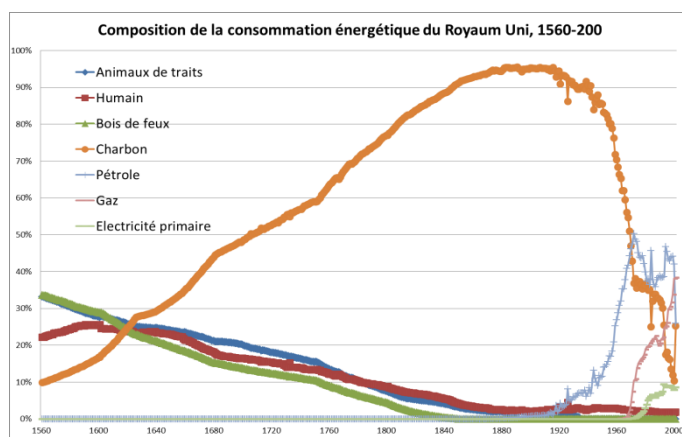


Figure 2 : Royaume-Uni : composition de la consommation énergétique, 1560-2000
Source : d'après Warde, 2007

L'agriculture au cœur des économies solaires européennes

Passée la révolution du néolithique, l'agriculture occupe une place centrale dans les économies solaires. Pour Rolf Peter Sieferle, l'agriculture peut être définie comme un « système énergétique solaire contrôlé » : « l'énergie solaire est stockée grâce à la photosynthèse par des plantes sélectionnées, multipliées et cultivées par les humains d'une façon telle qu'ils puissent en utiliser une large part de leur biomasse » (Sieferle, 2001). Ainsi « les plantes cultivées sont des convertisseurs d'énergie produits et reproduits par les humains » (op. cit.). L'agriculture lorsqu'elle repose entièrement sur le travail humain, se doit alors de produire, sous forme de biomasse, plus d'énergie que celle consommée pour la culture.

L'élevage est souvent une composante importante de ces agricultures car il fournit de multiples produits et de l'énergie mécanique. Il permet aussi de valoriser des ressources non consommables par les humains (pâturage, déchets...) et d'apporter certains nutriments. Il peut néanmoins devenir problématique si des surfaces cultivées doivent lui être dédiées car le rendement de conversion de biomasse végétale en biomasse animale est le plus souvent inférieur à 20%.

Trois espaces distincts – champ, pâturage, bois – fournissent trois sortes d'énergie différentes : métabolique, mécanique via les animaux de traits, et thermique. Un changement dans la distribution des espaces implique inévitablement un changement dans la composition de l'énergie disponible car, dans les sociétés préindustrielles, les possibilités de conversion entre les différentes formes d'énergie sont extrêmement limitées : « Dans un territoire donné, une surface spécifique doit être dédiée à la fourniture de chacune des formes d'énergie, dans le cadre d'un jeu à somme nulle : l'augmentation d'une forme d'énergie (métabolique, thermique, mécanique) n'est possible qu'au détriment des autres, puisque cela suppose une utilisation différente de l'espace disponible » (*op.cit.*).

Finalement l'énergie totale disponible pour une communauté donnée est déterminée par l'étendue de terres « qu'elle contrôle » pour la production de biomasse. Des importations de biomasse en provenance d'autres territoires/communautés sont possibles mais elles sont limitées par le fait que la production d'énergie mécanique nécessaire à ce transport repose sur le travail humain ou animal et donc, *in fine*, sur la consommation de biomasse.

La seule possibilité d'échapper à cette contrainte majeure est d'exploiter l'énergie du vent ou de l'eau. L'invention des moulins est ainsi considérée comme une rupture importante dans l'histoire de l'Europe (Debeir et al., 2013). Mais surtout l'eau et le vent, d'autant plus lorsqu'ils sont combinés, donnent la possibilité de transporter bien plus facilement des produits, y compris des pondéreux. L'histoire des grandes puissances peut ainsi se lire comme la capacité à utiliser vents et eaux pour mobiliser la biomasse lointaine : blé d'Égypte pour Rome, blé de la mer noire pour Venise, seigle de Pologne pour Amsterdam, etc.

Enfin l'innovation dans la production de biomasse, et en particulier dans la production agricole, est permanente. Elle est favorisée par la circulation des plantes à l'intérieur de l'Eurasie et, à partir du XVI^{ème} siècle en provenance de l'Amérique. Les innovations peuvent aussi concerner les techniques culturales. La « révolution agricole », selon l'expression consacrée, que connaît le nord-ouest de l'Europe, et en particulier l'Angleterre à partir du XVIII^{ème} siècle, est une illustration de la possibilité de changement, y compris sur un pas de temps court. D'un point de vue agronomique, le cœur de cette « révolution agricole » est l'accroissement de la quantité d'azote apportée au champ (Allen, 2008). L'adoption de la mise en culture périodique (tous les vingt ans) des pâturages (*convertible husbandry*), impliquant une remise en cause de la distinction entre terres cultivées et prairies permanentes, représente une première innovation allant dans ce sens. Mais c'est le développement de la culture des légumineuses, en remplacement de la jachère, d'abord aux Pays-Bas puis en Angleterre, qui a joué

un rôle déterminant (Ambrosoli, 1997). A la suite de cette innovation est peu à peu mise au point la rotation quadriennale de Norfolk (blé, navet, orge, trèfle) considérée comme décisive. A l'apport d'azote fixé par le trèfle s'ajoute un autre avantage vis-à-vis de la fertilité des sols. La culture du navet et des légumineuses permet d'augmenter la taille des troupeaux et leur maintien à l'étable ce qui accroît fortement la quantité de fumier disponible et son utilisation pour la fertilisation des champs.

L'histoire de l'agriculture a ainsi été ponctuée jusqu'au XVIII^{ème} de « révolutions » qui ont permis d'accroître sensiblement la productivité de la terre et du travail en biomasse (Mazoyer & Roudart, 1998). Mais aucune d'entre elles n'a remis en cause la fondamentale dépendance des sociétés humaines vis-à-vis de la biomasse et, indirectement, de l'énergie solaire. Telle est bien la rupture qu'introduit l'utilisation croissante du charbon.

Mutation et marginalisation de l'agriculture dans l'économie minière : comment l'agriculture est devenue l'agro-alimentaire

Au regard de l'histoire de l'humanité, la situation de l'agriculture et plus généralement des utilisations de la biomasse dans les économies minières du XX^{ème} siècle est exceptionnelle. Une seule demande – ou presque – lui est adressée : fournir des aliments. Ce recentrage de l'agriculture sur l'alimentation est rendu possible par le fait que les autres besoins humains (éclairage, chauffage, habillement, déplacement, entretien de la fertilité des sols ...) sont assurés de manière croissante par des produits de synthèse issus de manière plus ou moins directe du charbon et/ou - de plus de plus au cours du XX^{ème} siècle - du pétrole et du gaz. La notion d'agro-alimentaire est étroitement liée à cet épisode très particulier de l'histoire humaine.

Le développement de la chimie organique a joué ici un rôle essentiel. L'histoire commence avec les teintures dès le milieu du XIX^{ème} siècle. La mauvéine est synthétisée dès 1856 par oxydation de l'aniline, elle-même obtenue par distillation du goudron de houille. Bien d'autres teintures synthétiques suivront, et leur production donnera naissance à la puissance industrie chimique et à ses géants (Bayer, BASF, etc.). Après les teintures, viendront les matières plastiques, les fibres textiles, le caoutchouc, etc., toujours dans une logique de substitution de ressources naturelles considérées comme trop chères ou dont l'approvisionnement est incertain.

Le secteur des matières grasses est particulièrement illustratif de ce déplacement de la demande (Daviron, 2014). Au début du XIX^{ème} siècle, l'essentiel des usages des matières grasses est non alimentaire : bougies, lessives et lubrification. La consommation alimentaire de ces produits est rare ; en Europe du Nord, elle est principalement portée sur les graisses animales, et en Europe du Sud sur l'huile d'olive. L'arrivée du pétrole bouleverse le paysage. La lampe à huile, la chandelle et la bougie sont remplacées par la lampe à pétrole puis par l'électricité (elle-même produite dans des centrales thermiques). La lubrification repose quant à elle de plus en plus sur des huiles minérales, sauf créneaux très spécialisés. Et le savon est relayé par les détergents issus de la pétrochimie. Ainsi, au début des années 1990, avant

l'arrivée des biocarburants, le débouché non alimentaire ne représente plus que 5 à 8% de la consommation de matières grasses.

Le charbon, la machine à vapeur et les fronts pionniers

Du milieu du XIX^{ème} siècle jusqu'à 1914, l'Europe augmente de façon massive ses importations de biomasse. Le Royaume-Uni est l'avant-poste de cette évolution. Comme le montre le tableau 1 construit à partir des données réunies par Fridolin Krausmann et ses collègues³, les importations de biomasse rapportées au nombre d'habitants sont multipliées par près de trois entre le milieu du XIX^{ème} siècle et les années qui précèdent la première guerre mondiale alors que l'extraction locale diminue d'un tiers. En 1913, la part des importations dans l'offre de biomasse passe ainsi de 8% à 27%.

Contrairement à une idée répandue, ce sont principalement les produits alimentaires tempérés qui constituent le gros de ces augmentations des importations, et non pas les produits tropicaux. Il faut en outre souligner que les données de Krausmann *et al.* sous-estiment la part des produits alimentaires au profit de la part des matières premières dans cette croissance des importations. En effet, les matières grasses (7% des importations de biomasse) sont classées dans les matières premières alors même qu'en réalité, nous l'avons vu, elles changent progressivement de statut, passant de matières premières agricoles à produit alimentaire.

Comme le montre le tableau 1 le déclin de l'extraction locale de biomasse renvoie avant tout au déclin de la production issue des terres labourées (qui est divisée par deux) concurrencée par les importations, et des forêts devenue inutiles du fait de la substitution du bois par le charbon. La production issue des pâturages se maintient, elle, du fait d'un démarrage plus tardif – après la mise au point du transport de viandes réfrigérées ou congelées – des importations de viande.

On ne saurait trop insister sur le rôle fondamental joué par la machine à vapeur dans les transformations de l'offre de biomasse que nous venons de décrire à propos de la Grande-Bretagne⁴. Elle rend possible, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, la conversion d'énergie thermique en énergie mécanique. Le problème du transport s'en trouve totalement redéfini. La « tyrannie de la distance », selon l'expression de Geoffrey Blainey (Blainey, 1966), est vaincue. C'est particulièrement vrai pour le transport terrestre qui dépendait totalement de l'énergie fournie par les animaux ou les humains. Selon Paul Bairoch, dont les données sont présentées dans le tableau 2, le coût du transport terrestre est divisé par plus de six à huit avec le passage de la route au chemin de fer, alors que celui du transport maritime n'est divisé que par trois avec la substitution de la voile par la vapeur. Grâce à la machine à vapeur, le transport de lourde charge n'est plus limité aux fleuves et aux mers. L'intérieur des continents peut désormais être systématiquement

mobilisé pour approvisionner des marchés lointains.

L'effondrement des coûts de transport entraîne aussi les migrations massives permettant à des millions d'européens, mais aussi d'asiatiques (principalement chinois et indiens), de quitter leur pays pour aller « coloniser » des territoires lointains.

La machine à vapeur permet donc de relier à l'Europe des territoires précédemment vides (ou plutôt vidés de leurs populations indigènes⁵) même lorsqu'ils se situent à des milliers de kilomètres de celle-ci. Une multitude de fronts pionniers prennent alors naissance tant dans les « régions tempérées » que dans les régions tropicales : steppe du nord de la mer Noire, plaine de la Manchourie, prairie de l'Amérique du Nord, pampa de l'Argentine, *veld* de l'Afrique du Sud, *mata atlantica* brésilienne, forêt de Sumatra...

Le continent américain offre les meilleures illustrations de cette dynamique de migrations et de fronts pionniers. Comme il est bien connu, les populations qui y habitaient avant l'arrivée de Christophe Colomb ont quasiment disparu sous l'effet de la violence exercée par les colonisateurs et plus encore au contact de maladies infectieuses qu'elles ignoraient jusqu'alors (McNeill, 1989). La population totale sur le continent est ainsi passée de 80 millions en 1500 à 24 millions en 1800 et la densité de population de 1,9 à 0,6 habitant par km² alors qu'entre les mêmes dates elle augmentait de 14 à 29,2 en Europe (Sieferle, 2001). A partir du milieu du XIX^{ème} siècle et jusqu'en 1914, des millions d'Européens vont y émigrer- au total 55 à 58 millions - et pénétrer toujours plus à l'intérieur du continent pour y cultiver les produits destinés au marché européen. Résultat, entre 1850 et 1920, les surfaces cultivées sont multipliées par trois en Amérique du Nord et par 2,5 en Amérique du Sud (voir tableau 3). Les pays du continent américain construisent ainsi leur économie et leur prospérité sur l'approvisionnement de l'Europe en céréales, graines oléagineuses, viandes bovines, saindoux, café et autres produits alimentaires.

³ Fridolin Krausmann et ses collègues de l'Institut d'Ecologie Sociale de Vienne réalisent depuis plus de vingt ans un remarquable travail d'analyse historique du métabolisme du métabolisme socio-écologique des pays dit « développés ». Le présent article a été largement influencé par leurs travaux.

⁴ Comme il est bien connu, l'évolution des politiques commerciales, dans le cas anglais l'abolition des Corn Laws, a joué un rôle important dans cette croissance des importations. Cette question sort toutefois du cadre du présent article.

⁵ Le perfectionnement des armements européens – autre fruit de la Révolution industrielle – a aussi joué un rôle essentiel dans l'avancée des fronts pionniers. Elle a permis de vaincre sans coup férir la plupart des populations de chasseurs cueilleurs ou pasteurs qui habitent dans les prairies ou les forêts colonisées. De la pampa argentine à la Tasmanie, de la grande plaine nord-américaine à la steppe pontique, le front pionnier avance par la violence, comme en rend si bien compte Sven Lindqvist dans son livre « Exterminez toutes ces brutes » (Lindqvist, 1998).

	1852-54	1882-84	1911-13
Importations nettes (I-E)			
Produits alimentaires y compris nourriture pour les animaux	1.4	4.2	4.6
Bois	0.9	1.5	1.3
Matières premières agricoles	0.6	1.5	2.1
Total biomasse	2.9	7.3	8.0
Extractions locales			
Terres labourées	14.9	10.5	7.1
Pâturages	14.7	13.2	13.0
Forêt	2.0	1.2	1.1
Total biomasse	31.6	24.9	21.3

Tableau 1: Royaume-Uni : importations nettes et extractions locales de biomasse, 1852-1913 (GigaJoules par habitant), Source : d'après Krausmann et al., 2003

	1830	1850	1880	1910
Transport terrestre (\$/tonne/100 Km)				
Route	6.2	5.0	4.0	3.6
Rivière et canal	1.0	0.7	0.4	0.2
Train	-	1.5	1.1	0.8
Transport maritime transatlantique (\$/tonne)	9.5	9.0	8.5	3.3

Tableau 2 : coûts moyens de transport et prix moyen du blé pour les « pays développés »
Source : Bairoch, 1989

Continent/pays	1850	1920	Évolution
Europe	132	147	1
Russie	94	178	2
Amérique du Nord	50	179	3.5
Amérique Latine	18	45	2.5
Australie/Nouvelle-Zélande	6	19	3
Asie du Sud-Est	7	21	3
Asie du Sud	71	98	1.3
Afrique Tropicale	57	88	1.5

Tableau 3 : surfaces cultivées par continent/pays (en millions d'hectares), 1850-1920
Source : Williams, 2006

A peu près au même moment, plus loin de l'Europe, l'Australie et la Nouvelle-Zélande connaissent une évolution similaire. Plus près, la Russie aussi. Ses surfaces cultivées sont multipliées par deux, ce qui en fait un fournisseur décisif de l'Europe. Ainsi, entre 1909 et 1913, la Russie exporte sur le marché mondial, de fait principalement européen, en moyenne 11 millions de tonnes de céréales (blé, maïs, seigle, orge, avoine), contre 6 pour l'Argentine, 4 pour les Etats-Unis, 3 pour le Canada et 1,5 pour l'Australie (Stern, 1960).

Mais la dynamique d'expansion de la production dans les « nouveaux pays » n'est pas seulement pionnière, elle est aussi minière. Les espaces conquis voient très souvent leur production décliner après quelques décennies du fait de la baisse de la fertilité des sols et de la montée de la pression parasitaire. Ainsi, le maintien même du volume de production suppose la colonisation de nouveaux espaces où le même cycle d'expansion puis de déclin se reproduit. Les Etats-Unis représentent aussi sur ce plan un cas exemplaire. Les migrants européens y adoptent une forme d'agriculture itinérante, à l'égal de ce que pratiquaient les Indiens, avec abandon des terres cultivées au bout de quelques années et mise en culture de nouvelles, les anciennes étant destinées à retourner à la forêt ou devenir de maigres pâturages (Cunfer, 2004). Cunfer et Krausman proposent une illustration frappante de la logique minière en racontant l'histoire de George Thir, parti en 1884 de Theyren, village du Nord-Est de l'Autriche, pour arriver à Finley dans le Kansas à l'âge de 19 ans (Cunfer & Krausmann, 2009).

A Theyren, l'agriculture est pratiquée depuis des siècles, associée avec un important élevage qui permet de maintenir durablement la fertilité des sols (Krausmann, 2004). La densité y est élevée (42 personnes.km⁻²) et la taille moyenne des exploitations réduite (8 ha). Le système d'assolement triennal est encore en vigueur et les forêts, qui représentent un tiers de la surface du village, ont le statut de commun. Le rendement en céréales est d'environ 820 kg.ha⁻¹ ce qui, avec les produits animaux, fournit l'équivalent énergétique de 9 GJ par travailleur agricole et un rendement de 2,9 GJ par hectare.

Dans le canton de Finley, où la famille Thir s'installe, la densité est de 2 habitants par km² et l'exploitation qu'elle démarre mesure 65 ha. Trente plus tard, en 1915 elle en mesure 259. En 1895, dans la nouvelle ferme, le rendement en céréale atteint 1270 kg.ha⁻¹, soit 4.6 GJ.ha⁻¹, et la production énergétique par travailleur agricole 168 GJ, près de 20 fois celle obtenue en Autriche ! Mais la situation se dégrade rapidement. En moyenne sur le canton de Finley, le rendement chute de 1687 kg.ha⁻¹ à 1244 en 1915, 736 en 1925 et moins de 400 kg à la fin des années 1930. Les premières récoltes ont bénéficié de la mise en culture d'une terre en prairie où les nutriments se sont accumulés pendant plusieurs millénaires. Mais, en l'absence d'élevage, leur stock n'est pas renouvelé. Selon les auteurs, seulement 27% de l'azote exporté est restitué en 1895 et pas plus de 40% dans les années 1920.

La logique minière n'est pas le seul fait de l'agriculture de la Grande Plaine à grain. Elle est à la fois plus ancienne et largement présente au travers du continent. Elle a marqué l'histoire de la culture de la canne à sucre dans les Antilles avec successivement l'expansion puis le déclin dans les dif-

férentes îles de la région (Galloway, 1989). On la retrouve avec la culture du coton dans le Sud esclavagiste (Genovese, 1989). Elle s'exprime pleinement au Brésil, où la culture du café se fait par défrichage, mise en culture puis abandon des anciennes plantations et déplacement du cœur de la production de Rio de Janeiro vers Sao Paulo (Monbeig, 1952).⁶

La chimie et le passage de la croissance horizontale à la croissance verticale

Comme nous venons de le voir, durant la première phase de l'économie minière qui dure jusqu'en 1914, la croissance de l'offre de biomasse agricole destinée à l'Europe repose principalement sur l'extension des surfaces, principalement outre-mer. A ce titre elle peut être qualifiée de croissance horizontale. Après 1945, en revanche, la croissance agricole peut être qualifiée de verticale car, désormais, elle repose d'abord sur l'exploitation des ressources du sous-sol⁷.

Les oscillations longues du solde des échanges de biomasse des Etats-Unis (voir figure 3) rendent compte des transformations profondes que connaît l'agriculture au cours du XXème siècle. Ce solde est évidemment positif à la fin du XIXème siècle car comme nous l'avons vu, les Etats-Unis sont un de ces pays où le front pionnier a été particulièrement actif. Mais au tournant du siècle, l'essentiel des terres a été colonisé et le front arrive à sa fin (Turner, 1986). Le solde des échanges de biomasse entame alors une longue baisse qui l'amène dans des valeurs négatives après la première guerre mondiale. La compétitivité de l'agriculture américaine est alors mise à mal par l'épuisement du front pionnier, l'entrée en scène de pays où la croissance horizontale est encore possible (Australie, Philippines, Argentine...) et enfin la protection croissante que les pays européens accordent à leurs propres agricultures et à leurs colonies dans le cadre des stratégies d'autosuffisance adoptées lors de la première guerre mondiale.

Le déficit en biomasse des Etats-Unis persiste jusqu'au milieu des années 1950, date à laquelle la tendance s'inverse brutalement avec le retour à un excédent qui culmine au début des années 1980. Ramené au nombre d'habitants, l'excédent de la balance en biomasse des Etats-Unis atteint alors un niveau trois fois supérieur au maximum enregistré lors de la période de croissance horizontale.

⁶ Les effets de la logique minière sont d'ailleurs bien connus dès le milieu du XIXème siècle et leur dénonciation fait partie des thèmes favoris du père de la chimie de sols, Justus Liebig : « Les effets produits par cette culture du gaspillage ne sont peut-être nulle part plus sensibles qu'en Amérique. Là, les premiers colons qui vinrent dans l'Etat de New York, dans la Pennsylvanie, la Virginie, le Maryland, etc. trouvèrent de vastes étendues de terrain qui, après un seul labour et un seul ensemencement, leur donnaient pendant plusieurs années consécutives une série de récoltes en grain et en tabac, sans que le cultivateur eut seulement besoin de penser à rendre au sol ce que les récoltes lui avaient enlevé. Nous savons ce que sont devenus ces terrains si fertiles. En moins de deux générations, ces plaines productives ont été changées en de véritables déserts, et, dans plusieurs districts, elles se trouvent dans un tel état, qu'en restant même en friche pendant un siècle, elles ne pourraient pas encore, au terme de ce temps, donner une récolte passable de céréales » (Liebig, 1862).

⁷ William Catton (Catton, 1982) utilise, en anglais, l'opposition entre *elsewhere* et *elsewhen* pour distinguer ces deux périodes. Nous n'avons pas trouvé en français d'équivalent pour souligner ces deux formes d'« ailleurs », « ailleurs » toujours essentiels dans la croissance économique de l'Europe et de ses extensions.

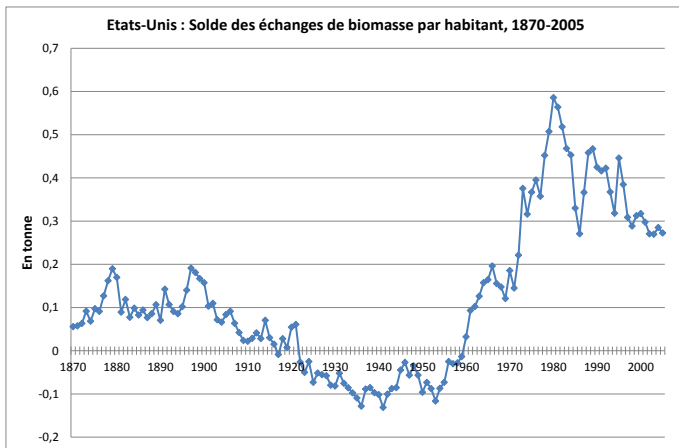


Figure 3 : Etats-Unis, solde des échanges de biomasse (tonne par habitant), 1870-2005
Source : d'après Gierlinger & Krausmann, 2012

De fait, l'agriculture américaine vit à partir de 1900 une longue crise - économique, écologique et sociale - qui culmine dans les années 1930. La résolution de cette crise reposera en grande partie sur la mobilisation dans la production agricole de ressources issues des énergies fossiles, et plus spécifiquement du pétrole⁸.

L'utilisation d'énergie fossile comme source d'énergie mécanique ne pénètre véritablement dans la production agricole qu'avec l'apparition du tracteur doté d'un moteur à combustion interne. Certes des machines à vapeur ont été utilisées avant, soit en poste au bord des champs soit en locomotion directement dans les champs, mais leur usage est resté marginal en raison de leur poids colossal. Ainsi, jusqu'à la première guerre mondiale aux Etats-Unis, mules et chevaux demeurent la source quasi-unique d'énergie pour entraîner la grande diversité d'équipements mécaniques mis au point au XIX^{ème} siècle. Ce n'est que durant la première décennie du siècle suivant que le moteur à explosion fait son apparition, d'abord en poste fixe et bientôt pour entraîner des engins à roues, très vite appelés « tracteurs » (White, 2008). Leur diffusion à grande échelle commence durant la première guerre mondiale avec l'apparition du premier tracteur de dimension et prix réduits, le Fordson. Le tracteur alors devient le symbole du projet de modernisation de l'agriculture que portent à partir des années 1920 les « dirigeants d'entreprises, représentants du gouvernements, professeurs des universités agricoles, vulgarisateurs et banquiers » (Fitzgerald, 2003). Chevaux et mules disparaissent des fermes, de même qu'ils disparaissent des villes suite à l'arrivée de la voiture. Les surfaces précédemment utilisées pour produire la nourriture des animaux de travail sont ainsi libérées, soit plus du quart de la surface cultivée en 1910 (Omstead & Rhode, 2001).

Avec la synthèse de l'ammoniac suivant le procédé Haber-Bosch, l'utilisation de l'énergie fossile dans l'agriculture prend une toute autre dimension. Comme le raconte Vaclac Smil, une étape décisive est franchie en 1908 lorsque Haber, qui travaille pour BASF, met au point le processus en laboratoire (Smil, 2001). La première usine est mise en route en septembre 1913, un peu moins d'un an avant le déclenchement de la première guerre mondiale. La mise au point du procédé Haber-Bosch est particulièrement opportune au

moment où l'Allemagne n'a plus accès, du fait du blocus, au nitrate de soude pour la fabrication des munitions. D'après Vaclac Smil la synthèse de l'ammoniac suivant le procédé Haber-Bosch représente 16% de la production mondiale d'engrais azotés (en équivalent azote) dès 1920, 62% en 1935 et 99% en 1980. Entretemps la quantité totale d'azote fixée sous forme d'engrais a été multipliée par dix.

Après le remplacement des animaux par les tracteurs pour la fourniture d'énergie mécanique, la production à grande échelle d'engrais azotés permet leur remplacement pour l'entretien de la fertilité des sols. Dès lors s'impose dans l'agriculture une désintégration complète de la production végétale et de l'élevage, autrement dit l'élimination de ce qui était le cœur de la « révolution agricole » anglaise du XVIII^{ème}.

La mise au point des pesticides et leur diffusion à grande échelle dans l'agriculture constitue la dernière innovation clairement liée aux énergies fossiles. L'industrie chimique joue à nouveau un rôle essentiel dans la mise au point et la diffusion de ce nouvel intrant. Comme le montre Edmund Russel, les insecticides sont un sous-produit direct de la première guerre mondiale, au cours de laquelle l'industrie chimique a été fortement sollicitée. Une transposition de la perspective de la guerre totale à la lutte contre les insectes s'opère à cette période, rendue plus urgente que jamais par la concentration des hommes sur les fronts de guerre et la découverte à cette époque du rôle majeur joué par les insectes dans la diffusion de maladies comme le typhus, qui déciment les troupes. Enfin, la guerre, qui réclame explosifs et gaz de combat, favorise le développement de la chimie organique qui fournit de nouvelles molécules qui vont se substituer aux composés minéraux utilisés jusqu'alors comme insecticides, comme l'arsenic ou le soufre. L'exemple le plus emblématique de ces nouvelles molécules est sans aucun doute le paradichlorobenzène. Celui-ci est initialement un sous-produit de la fabrication de l'acide picrique utilisé dans la fabrication d'explosifs. Disponible en grande quantité, le paradichlorobenzène est testé par les entomologistes américains en 1916 et 1917 et est vite commercialisé (Russel, 2001).

Ces trois éléments, auxquels il faut ajouter la sélection variétale, permettent à l'agriculture américaine de retrouver le chemin de la croissance à partir de la fin des années 1930. Comme le montre la figure 4, le moteur de la croissance n'est toutefois plus l'expansion des surfaces mais la consommation d'intrants produits à partir des énergies fossiles et plus particulièrement d'engrais azotés dont l'utilisation croît au rythme de la croissance de la production agricole.

⁸ Comme précédemment pour la Grande-Bretagne, l'évolution des politiques commerciale et agricole des Etats-Unis a joué aussi un rôle déterminant dans ces fluctuations mais son analyse sort du cadre de cet article.

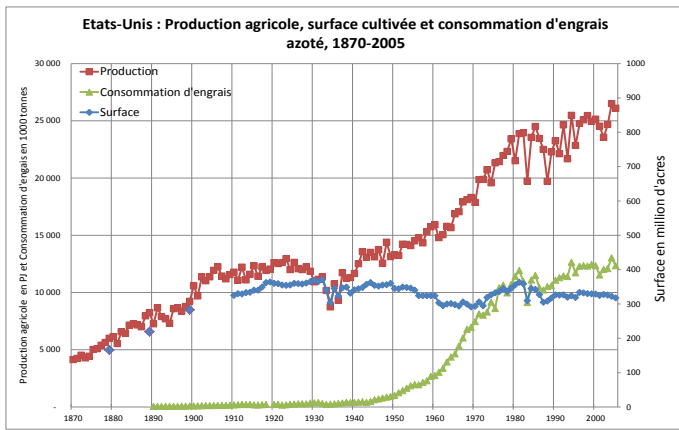


Figure 4 : Etats-Unis, production agricole (en PJoules), surface cultivée (en million d'acres) et consommation d'engrais azoté (en 1000 tonnes équivalent azote), 1870-2005
Source : d'après United States, Bureau of the Census., 1976, USDA diverses années et Gierlinger & Krausmann, 2012

Conclusion : vers un retour à la biomasse ?

La Révolution Industrielle se caractérise par un bouleversement de la relation des sociétés à la biomasse. Les ressources minières se substituent à cette dernière comme base de la vie matérielle, mettant ainsi fin aux économies solaires qui avaient cours précédemment. La demande et l'offre de produits agricoles s'en trouvent profondément altérées. La demande se cantonne désormais quasiment à l'alimentation. Après avoir reposé sur une forte extension des surfaces permise par l'avancée des fronts pionniers, la croissance agricole – et donc l'offre de biomasse – dépend de manière croissante de l'utilisation d'intrants issus de ressources minières.

Le basculement de l'économie solaire vers l'économie minière a permis une formidable amélioration des conditions de vie des humains en Europe et aux Etats-Unis et plus récemment dans les pays émergents. Elle a aussi permis, grâce à un accroissement spectaculaire de la production agricole, une explosion de la population mondiale et une réduction marquée de la malnutrition. Elle a enfin signifié une redistribution radicale des activités humaines - de l'agriculture vers l'industrie et les services et des campagnes vers les villes – sur la base d'une envolée de la productivité du travail agricole.

Ces performances remarquables ont toutefois un prix qu'on entrevoit peu à peu. Le rendement énergétique de l'agriculture autrefois fortement positif est devenu souvent inférieur à un. Selon des estimations déjà anciennes (mais il n'en existe pas de récentes à ma connaissance), le rendement énergétique de l'agriculture française est passé de 5 en 1800 à 0,7 en 1970 (Schulman, 1978). Ce chiffre révèle l'extrême dépendance de notre agriculture, et donc de notre alimentation, vis-à-vis des énergies fossiles.

La production d'engrais, et en particulier d'engrais azotés, représente la plus grande part de la consommation d'énergie fossile de l'agriculture. Mais le problème de l'azote ne se limite pas à la consommation d'énergie fossile. La pollution azotée est, à juste titre, l'objet de préoccupations croissantes (Sutton *et al.*, 2013). Selon le *Stockholm Resilience Centre*, elle constitue une des variables environnementales pour lesquelles la « frontière de durabilité » a été largement dépassée (Rosckström *et al.*, 2009). La pollution azotée est en effet cause de nombreux problèmes environnementaux, tant locaux (dégradation de la qualité de

l'air et des eaux continentales) que globaux (réchauffement climatique, déserts océaniques).

Au-delà de l'agriculture, c'est la logique même de l'économie minière qui est aujourd'hui questionnée par les divers problèmes environnementaux auxquels est confrontée l'humanité, à commencer par le réchauffement climatique. Une des pistes aujourd'hui explorées pour sortir du « minier » est un retour à la biomasse. Le développement des agro-carburants, malgré son absurdité en Europe si l'on considère leur rendement énergétique, a inauguré cette voie. Le débat autour de la bioéconomie, qui propose de substituer les ressources fossiles par de la biomasse, lui donne une toute autre dimension, et son issue sera essentielle pour l'avenir de l'agriculture. En effet, ce débat est le terrain d'expression de projets radicalement différents.

D'un côté, l'industrie chimique, qui, comme nous l'avons vu, a joué un rôle si important dans l'émergence du modèle agricole du XX^{ème} siècle, voit dans la biomasse une nouvelle source de matières premières à l'égal de ce qu'ont été le charbon et le pétrole, avec le risque d'y voir transposée la même logique minière. Cela ne peut que nous inquiéter. Les économies du XX^{ème} siècle, malgré leur croissance prodigieuse, n'ont exercé qu'une pression limitée - ou relativement limitée - sur les ressources du vivant du moins en tant que matière première. Les travaux menés en terme de « *Material Flow Accounting* » (Krausmann *et al.*, 2009), montrent que la consommation de biomasse par humain a plutôt eu tendance à diminuer entre 1930 et 1960 et est restée stable depuis cette dernière date. Cela n'a pas empêché la déforestation et une érosion de la biodiversité suffisante pour qu'il soit considéré que nous sommes à la veille de la sixième extinction de masse des espèces. A quoi faut-il s'attendre si l'énorme quantité d'énergie fossile aujourd'hui consommée est remplacée par de la biomasse ? A l'autre bout du spectre se trouvent des organisations de la société civile, ou des intellectuels comme René Passet qui invitent à subordonner l'économie « au respect des mécanismes régulateurs par lesquels la biosphère assure sa reproduction dans le temps » (Passet, 2012). Il ne s'agit pas ici de trouver un nouveau moteur de croissance mais de réfléchir aux limites de celle-ci en prenant pleinement en compte son coût énergétique et les déchets qu'elle génère. Dans un tel projet, l'agriculture ne peut qu'occuper une place centrale, mais cela ne pourra se faire suivant le modèle du XX^{ème} qui fait désormais partie du problème et non des solutions⁹.

Références

- Allen, R.C., 2008. The Nitrogen Hypothesis and the English Agricultural Revolution: A Biological Analysis. *Journal of Economic History*, 68 (1), 182-201.
- Ambrosoli, M., 1997. *The wild and the sown : botany and agriculture in Western Europe, 1350-1850*, Cambridge University Press, Cambridge ; New York, Past and present publications.

⁹ Le débat actuel met aussi pleinement à jour le fait que les modalités de la production et de l'usage de la biomasse agricole n'évoluent pas que sous la seule influence des besoins, de la pression démographique ou encore des prix relatifs. Ces modalités évoluent aussi sous l'effet des rapports de force entre projets concurrents et dépendent de la capacité d'un groupe ou d'un pays à imposer sa vision non seulement de l'agriculture mais aussi, comme nous l'avons vu, des échanges à longue distance. L'exposé de ces processus ne pouvait trouver sa place dans la lecture essentiellement descriptive que nous avons proposée dans ce papier.

- Bairoch, P., 1989. European Trade Policy, 1815-1914. In : . *The Cambridge Economic History of Europe Vol. VIII The Industrial Economies: The Development of Economic and Social Policies* (Mathias P., Pollard S., eds), Cambridge University Press, Cambridge, 1-160.
- Blainey G., 1966. *The tyranny of distance: how distance shaped Australia's history*.
- Catton, W.R., 1982. *Overshoot: The ecological basis of revolutionary change*, University of Illinois Press.
- Crosby, A.W., 1973. *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492*, Greenwood Press, Westport.
- Cunfer, G., 2004. Manure Matters on the Great Plains Frontier. *Journal of Interdisciplinary History*, 34 (4), 539-567.
- Cunfer, G., Krausmann, F., 2009. Sustaining Soil Fertility: Agricultural Practice in the Old and New Worlds. *Global Environment*, 4, 8-47.
- Daviron, B., 2014. Turning organic economies into mineral economies: Two centuries of oils and fats use and supply in France, In: *European Social Science History Conference*. Vienne, 36.
- Debeir, J.-C., Deléage, J.-P., Hémerly, D., 2013. *Une histoire de l'énergie*, Editions Flammarion.
- Fitzgerald, D., 2003. *Every Farm a Factory: The Industrial Ideal in American Agriculture*, Yale University Press, New Haven.
- Galloway, J.H., 1989. *The sugar cane industry: an historical geography from its origins to 1914*, Cambridge University Press, Cambridge, Cambridge studies in historical geography; v.12.
- Genovese, E.D., 1989. *The Political Economy of Slavery*, Wesleyan University Press, Hanover, 335.
- Gierlinger, S., Krausmann, F., 2012. The physical economy of the United States of America. *Journal of Industrial Ecology*, 16 (3), 365-377.
- Krausmann, F., 2004. Milk, Manure and Muscle Power, Livestock and the Transformation of Preindustrial Agriculture in Central Europe. *Human Ecology*, 32 (6), 735-772.
- Krausmann, F., Schandl, H., Schulz, N.B., 2003. *Long-term industrial transformation: a comparative study on the development of social metabolism and land use in Austria and the United Kingdom 1830-2000; final report of a study commissioned by the Breuninger Foundation*. Inst. of Social Ecology, Vienna, Social Ecology Working Paper 70.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68, 2696-2705.
- Liebig, J., 1862. *Lettres sur l'agriculture moderne*, Emile Tarlier Editeur, Bruxelles.
- Lindqvist, S., 1998. *Exterminez toutes ces brutes : L'odyssée d'un homme au coeur de la nuit et les origines du génocide européen*, Le Serpent à Plumes, Paris.
- Maddison, A., 2001. *The world economy : a millennial perspective*, Paris, France Development Centre of the Organisation for Economic Co-operation and Development, Development Centre studies.
- Mazoyer, M., Roudart, L., 1998. *Histoire des agricultures du monde : du néolithique à la crise contemporaine*, Edition du Seuil, Paris.
- McNeill, W.H., 1989. *Plagues and peoples*, Anchor Books, New York.
- Monbeig, P., 1952. *Pionniers et planteurs de São Paulo*, A. Colin, Paris, Cahiers de la Fondation nationale des sciences politiques ; 28.
- Omstead, A.L., Rhode, P.W., 2001. Reshaping the Landscape: The Impact and Diffusion of the Tractor in American Agriculture, 1910-1960. *Journal of Economic History*, 61 (3), 663-698.
- Passet, R., 2012. La bioéconomie, un monde à réinventer. *Ecologie & politique*, 45 (2), 83-91.
- Rosckström, J., Steffen, W., Noone, K., 2009. Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14 (2).
- Schulman, J.P., 1978. *Analyse énergétique de l'agriculture française* Paris I, Paris, 67.
- Sieferle, R.P., 2001. *Subterranean forest: Energy system and the industrial revolution*, White Horse Press, Cambridge.
- Smil, V., 2001. *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production*, MIT Press, Cambridge, Mass. ; London.
- Stern, R.M., 1960. A century of food exports. *Kyklos*, 13, 44-64.
- Sutton, M.A., Bleeker, A., Howard, C., Bekunda, M., Grizzetti, B., Vries, W.D., Van Grinsven, H., Abrol, Y., Adhya, T., Billen, G., 2013. *Our Nutrient World: the challenge to produce more food and energy with less pollution*, Centre for Ecology and Hydrology (CEH).
- Turner, F.J., 1986. The Significance of the Frontier in American History. In : . *Frederick Jackson Turner: Wisconsin's Historian of the Frontier* (Ridge M., ed^eds), State Historical Society of Wisconsin, Madison.
- United States. Bureau of the Census., 1976. *The statistical history of the United States, from colonial times to the present = Historical statistics of the United States, colonial times to 1970*, Basic Books, New York.
- Warde, P., 2007. *Energy Consumption in England & Wales, 1560-2000*, Consiglio nazionale delle ricerche, Napoli, 138.
- White, W., 2008. *Economic History of Tractors EH*. *Net Encyclopedia*.
- Williams, M., 2006. *Deforesting the earth: from prehistory to global crisis : an abridgment*, University of Chicago Press, Chicago.
- Wrigley, E.A., 1988. *Continuity, Chance & Change : The character of the industrial revolution in England*, Cambridge University Press, Cambridge.

Wrigley, E.A., 2004. *Poverty, Progress, and Population*, Cambridge University Press, Cambridge.

Wrigley, E.A., 2010. *Energy and the English Industrial Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge.