



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Les déterminants de l'innovation en agriculture à travers la littérature sur le machinisme et les engrais

P. BYÉ
J.-J. CHANARON
J. PERRIN

Dans la littérature économique relative au développement, on accorde en général une importance primordiale au rôle joué par l'industrie dans la modification des techniques et dans la croissance de l'agriculture. Ceci est particulièrement vrai dans les modèles multisectoriels de développement ; or ces modèles demeurent très discrets sur l'origine et les conditions de cette dynamique. Si cette vision "industrio-centriste" peut être critiquée, c'est autant pour le manque d'arguments dont font montre les auteurs que pour son caractère réducteur. En effet, elle ne décrit pas - ou trop peu - les conditions d'émergence des innovations dans l'industrie, pas plus que les modalités du choix des techniques diffusées dans l'agriculture.

Pour approfondir l'analyse des déterminants de l'innovation en agriculture, il convient donc de quitter le terrain de ces analyses macroéconomiques pour celui des analyses spécialisées. La littérature portant sur ce sujet est extrêmement vaste ; très schématiquement, les auteurs qui abordent, directement ou indirectement, la question de l'innovation en agriculture dans ses rapports avec les industries qui lui sont liées, peuvent être rattachés à deux grandes tendances. Si les uns sont "industrio-centristes", les autres sont "agro-centristes", au sens où, pour eux, les industries ne font — et ne peuvent — que se soumettre aux impératifs de la demande agricole. Le parti que nous avons pris ici a été de nous limiter à la littérature qui traite de la mécanisation agricole et des engrais chimiques, car le choix de ces activités — à la fois par leurs différences et parce qu'elles résument à elles deux une grande part du progrès technique qu'a connu l'agriculture sur la longue période — permet d'analyser le rôle des industries de l'agro-fourriture dans l'orientation des techniques agricoles. Ces deux activités, liées respectivement aux branches de la construction mécanique et des industries chimiques et pétrochimiques, ont largement contribué à la croissance économique des pays industrialisés. Elles ont aussi participé aux mouvements de substitution du capital au travail qui marquent la croissance agricole de ces mêmes pays. Moins déterminantes aujourd'hui dans l'orientation des techniques agricoles que dans les périodes antérieures, elles conditionnent encore largement, cependant, les changements techniques actuels et les relations agriculture-industrie.

La présente recension repose sur des travaux aussi bien historiques qu'économiques et sociologiques ⁽¹⁾. Malgré l'hétérogénéité des disciplines et des approches disciplinaires, on a mis l'accent sur les travaux réalisés sur des zones géographiques et des périodes historiques qui témoignent de ruptures en matière de production agricole et industrielle. C'est la raison pour laquelle on a donné une importance particulière à l'analyse de trois pays développés : la France, l'Angleterre et les Etats-Unis à des moments précis de leur croissance économique : la Révolution industrielle, les périodes d'après-guerre, la crise des années 1970.

La majorité des auteurs insistent sur les conditions de diffusion des nouvelles techniques. Si l'on trouve chez eux, implicites ou non, tant des conceptions "agro-centristes" qu'"industrio-centristes", il en est d'autres dont les

(1) Pour partie, les auteurs ont réalisé ce travail lors d'un stage dans des centres de recherche britanniques et en mettant à profit leur documentation : le PREST de l'Université de Manchester pour J.J. Chanaron et le SPRU de l'Université du Sussex pour J. Perrin.

thèses sont plutôt "économistes" ou globalisantes au sens où la substitution à une technique endogène (agricole) d'une technique exogène (née dans l'industrie) ne dépend ni de l'agriculture ni de l'industrie mais de la modification des rapports de prix et des rapports de production qui découle à son tour de la croissance économique générale. Ce seront plutôt les approches "industriocentristes" qui seront privilégiées ici, car elles prennent en compte à la fois la genèse des innovations et leur diffusion dans l'agriculture. On peut regrouper la littérature correspondante autour des trois thèses suivantes :

1. La genèse et l'évolution des techniques mécaniques et chimiques utilisées dans l'agriculture dépendent plus de l'évolution de sciences et de techniques extérieures à la sphère agro-alimentaire que des découvertes effectuées à l'intérieur de cette sphère. Les industries du machinisme agricole et des engrais ont su, cependant, combiner dans certaines circonstances les savoirs scientifiques nés dans d'autres activités et les savoirs empiriques de l'agriculture.

2. Le transfert et la diffusion des produits et des techniques d'origine industrielle se sont effectués progressivement mais l'offre industrielle a toujours dominé la demande agricole . En adoptant d'abord un produit, puis un ensemble de produits, l'agriculture a modifié ses propres techniques et augmenté sa dépendance à l'égard de l'industrie. Certaines industries ont su utiliser et renforcer à leur profit cette relative inélasticité et ce caractère captif de la demande.

3. Il reste que les offreurs industriels n'ont pu échapper à leur tour aux contraintes de l'environnement économique général. Même s'ils dominent certains segments industriels ou certains marchés, ils ne contrôlent, par exemple, ni les rapports de prix entre les différents intrants agricoles ni l'évolution des prix ou des revenus agricoles. Leur domination sur l'agriculture ne s'exerce donc que s'ils sont capables de s'adapter ou d'anticiper ces changements en modifiant leurs stratégies commerciales et industrielles.

DETERMINANTS DE LA GENESE ET DE LA DIFFUSION DES TECHNIQUES

Les auteurs qui se sont penchés sur la question de la genèse et de la diffusion des techniques ont apporté des réponses variées, qui ne sont pas forcément exclusives. Pour notre propos, il faut recourir tant à des auteurs "généralistes" qu'à des "spécialistes" qui ont travaillé sur les techniques intervenant dans l'agriculture. Il faut donc se situer par rapport aux divers types d'analyses existants. Les travaux, tant généraux que spécialisés, étant nombreux, souvent fragmentaires et difficiles à unifier, c'est un aperçu que l'on se contentera de donner dans cette section, plutôt qu'une vision plus complète de la littérature, où l'on pourrait amonceler plus de matériaux sans en dégager forcément plus d'ordonnance.

Une filiation scientifique des techniques

L'hypothèse d'une filiation directe, ordonnée mécaniquement, des idées techniques à partir des progrès des connaissances scientifiques et théoriques est défendue par une école de pensée largement représentée dans l'histoire

des sciences et des techniques. Pour se limiter à l'exemple de la fertilisation chimique, certains auteurs, tel Boulaïne (1986) la font découler des progrès de la science, des "Vingt-Quatre Glorieuses de la physiologie végétale" (Boulaïne), de 1776 à 1800, et des découvertes de Lavoisier, Saussure, Liebig et Boussingault en chimie. Cette amélioration se réalise sans référence particulière aux techniques traditionnelles d'assolement mais précède largement dans le temps le développement des techniques industrielles de production des engrais. De même, pour des auteurs tels que Musson et Robinson (1969), les technologies mécaniques, au cœur de la Révolution industrielle, sont issues en ligne directe des progrès réalisés alors en mathématiques et dans les sciences expérimentales et n'auraient pu émerger sans eux.

L'hypothèse de cette dépendance des techniques par rapport à l'enrichissement des connaissances scientifiques n'est pas partagée par tous les auteurs. En fait, la progression de la mécanisation et de la fertilisation chimique en agriculture précèdera celle des connaissances physiologiques ou agronomiques (Reboul, 1986). Montalescot (1986) le confirme dans le domaine de la traite mécanique dont la diffusion est antérieure à la maîtrise physiologique de l'éjection du lait. Laurent (1986) le montre aussi en signalant que les techniques du froid progressent plus rapidement que les connaissances théoriques des processus de réfrigération et de congélation. Kloppenburg et Kleinman (1987) signalent, enfin, que la véritable "chasse internationale aux nouvelles variétés" pratiquée par les Etats-Unis dans les années 1850 est mise en œuvre bien avant que ne se développe une véritable maîtrise technique de la production des semences. Dans ces différents exemples, la progression des connaissances scientifiques ou empiriques ne constitue cependant pas un obstacle à la poursuite de la croissance industrielle.

Le mouvement autonome des techniques

La conception d'un mouvement autonome de la genèse et de la diffusion des techniques se trouve dans les approches en termes de rupture technologique, de système technique ou chez les auteurs qui mettent en avant le rôle des ingénieurs et des sociétés savantes.

Les approches en termes de rupture technologique se sont multipliées tant dans la littérature historique qu'économique depuis le début des années soixante-dix. Elles procèdent principalement des théories schumpétériennes de l'innovation, de la fonction d'entrepreneur et des cycles longs (Schumpeter, 1939, 1961). Les analyses portant sur le rôle fondamental des innovations de rupture dans la dynamique du système capitaliste ont peu à peu gagné droit de cité pour devenir dominantes aussi bien dans des publications à caractère scientifique que dans les discours politiques contemporains.

Ces approches trouvent dans l'agriculture de nombreuses illustrations à l'exemple de celles de Rasmussen (1967) qui considère le modèle agricole mécanique et chimique comme "révolutionnaire", par rapport au modèle précédent homme-animal. C'est également le cas de celles d'un nombre important d'historiens qui "bornent" les grandes périodes de l'histoire agricole par la diffusion d'une technique ou d'un produit dominant : la moissonneuse, le tracteur, les hybrides de maïs, etc... Ils rejoignent en cela White

(1978) qui spécifie l'ouverture de l'ère mécanicienne par l'invention, jugée fondamentale, de la bielle qui permet la transformation du mouvement alternatif en mouvement rotatif.

A la notion de rupture scientifique et technologique se rattache celle de technique dominante. Pour Gille (cf. *Histoire des Techniques*, 1978), il s'agit d'une notion tout à fait cohérente avec celle de système technique, qui lui permet de scander l'histoire des techniques en phases ayant leur correspondance en termes de niveaux de développement économique. Pour le CESTA (1987), par exemple, l'irruption des biotechnologies dans la production agro-alimentaire ne peut demeurer au stade d'innovations ponctuelles. Elle implique une remise en cause des techniques actuelles et une restructuration du complexe agro-industriel.

L'analyse attribuant certains blocages à l'insuffisance des connaissances scientifiques et techniques, et faisant de ces blocages les responsables de retards ou d'abandons, relève de la même école d'interprétation. Elle explique ainsi l'échec de certaines machines de récolte mécanique utilisant des modules électroniques, mais pas ou peu adaptées aux conditions de travail de plein champ d'aujourd'hui (Friedland, Barton, 1978) ; de même, elle propose de rendre compte de l'horizon encore lointain de l'application de la robotique en agriculture ou des décalages existant entre les progrès enregistrés en matière d'intelligence artificielle et d'automatisme et l'état du machinisme pour la mise au point de robots agricoles de collecte ou de traite (Byé, Chanaaron, 1984, 1986).

Le rôle essentiel des ingénieurs dans la promotion des nouvelles techniques est souvent évoqué. Musson et Robinson (1969) mettent l'accent sur celui des écoles d'ingénieurs et des sociétés savantes dans la mise au point et la diffusion des techniques mécaniques, en particulier en agriculture. Les sociétés savantes nationales, régionales ou locales se posent également en promoteurs du progrès technique, présenté comme un processus inéluctable. Pour les auteurs qui les mettent en avant, écoles d'ingénieurs et sociétés savantes relèvent d'un "monde spécifique", dont le fonctionnement ne dépend pas de facteurs économiques mais d'une logique propre aux sciences et aux techniques. Musson et Robinson retracent ainsi l'histoire étonnante de Yeoman (1704-1781), ingénieur civil (c'est à dire préoccupé de techniques non-militaires), qui met au point de nouvelles machines agricoles destinées à l'irrigation, à la transformation des produits agricoles (coton, blé, pâte à papier, etc...) et à la pesée ou à la ventilation. Cet ingénieur modèle est un scientifique. Il donne des conférences à la Société de Philosophie de Northampton sur de nombreux domaines. Plus généralement l'enthousiasme et l'éclectisme des ingénieurs de la Révolution industrielle sont fréquemment soulignés. Les institutions savantes propagent une véritable morale du progrès, une éthique de l'ingénieur quant au rôle et aux fonctions qu'il est censé assumer (Thring, 1980).

De telles approches privilégient le primat du progrès technologique et scientifique. Elles proposent une origine des technologies totalement exogène tant au milieu de leur production manufacturière qu'à celui de leur utilisation-consommation. Elles présupposent un système scientifique et

technique autonome et n'entretenant avec le reste de la société que des rapports à sens unique. Ce n'est pas le cas des approches examinées dans le paragraphe suivant.

Concurrence ou complémentarité entre techniques empiriques et industrielles

Le milieu agricole, comme le notent des auteurs tels que Weber (1983), Wiser (1976) ou Braudel (1986), joue pendant de longues années un rôle essentiel dans la mise au point et le perfectionnement des techniques mécaniques et chimiques. On peut parler dès lors de véritables complémentarités entre techniques empiriques issues de l'agriculture et techniques industrielles en particulier dans le domaine du machinisme agricole.

Les progrès de l'agriculture en Europe jusqu'en 1850 sont avant tout assurés par le perfectionnement des techniques d'assolement. C'est ce processus qui orientera la mécanisation à ses débuts et qui explique encore aujourd'hui la spécificité de **l'industrie du machinisme agricole en Europe**.

Comme le souligne Scorraïlle (1986), on continue de perfectionner, jusqu'en 1850, les assolements biennaux dans le Sud, triennaux dans le Nord, ce qui permettra une véritable association de la culture et de l'élevage. Les fumiers et les légumineuses viendront accroître la productivité, ce qui permettra à son tour l'augmentation d'un cheptel utilisé notamment pour la traction animale (Poitout, Leclant 1986). On peut donc en déduire qu'il n'y aurait pas eu développement de la mécanisation dans l'agriculture sans les progrès réalisés dans la maîtrise des techniques biologiques. Dans les agricultures européennes du XIX^{ème} siècle, l'une et l'autre se développent en parallèle, les progrès en matière d'intensification des cultures délimitant et orientant les choix opérés dans les gammes de machines fabriquées par le machinisme agricole. Il y aurait en ce sens complémentarité entre techniques et progression de l'intensification.

La substitution du tracteur à la traction animale rompt cependant cette complémentarité. Elle en crée d'autres comme la soumission des techniques semencières ou chimiques aux normes d'une tractorisation de plus en plus affirmée. Elle favorise en définitive la substitution de techniques endogènes à la production agricole (la fertilisation organique, les assolements ...) par des techniques industrielles ou exogènes à cette production.

Par opposition à la tractorisation, les spécificités de l'industrie du machinisme agricole en Europe sont fondées sur l'étroite insertion de cette industrie dans le milieu rural. Cette insertion se caractérise par la petite taille des entreprises, la diversité des spécialités, leur rôle dans le perfectionnement, l'adaptation, la maintenance des machines (Barlet, 1981). Ces caractères vont peu à peu s'estomper, du fait en particulier de la spécialisation croissante de l'agriculture. Wade (1981) le souligne bien quand il signale que la traite ou la récolte mécanique du foin se généralisent au Danemark lors de l'ouverture du marché anglais à la fin du XIX^{ème} siècle et permettent ainsi à l'agriculture danoise de se spécialiser. L'industrie peut alors fabriquer en série des machines standard et se substituer à l'artisanat. Scott (1970) et Shannon (1973) le rappellent en évoquant la mise en culture de la Prairie américaine et le développement des grandes unités du machinisme agricole.

Quoique différent dans son déroulement, ce phénomène affecte aussi **l'industrie des fertilisants chimiques**. Concurrente de la fertilisation organique, elle ne peut réellement se développer qu'au moment où les cultures se standardisent et où les systèmes de polyculture-élevage s'affaiblissent. C'est en ce sens qu'il y a une complémentarité étroite entre industrie du tracteur agricole et industrie de la fertilisation chimique (Byé, 1986).

La concurrence ou plutôt l'opposition entre techniques industrielles et techniques agricoles serait à l'origine des problèmes actuels des industries de l'agro-fourriture. Byé et Chanaron (1986) montrent qu'un des fondements actuels des difficultés économiques rencontrées par l'industrie du machinisme agricole trouve son origine dans la négation, via les techniques mécaniques retenues, de la complexité des relations plante-sol. Il en irait de même, selon Rives (1986) et Branlard et Autran (1986), pour l'industrie des engrais chimiques. Les stratégies commerciales qui ont fondé alors la plupart des innovations-produits semblent aujourd'hui insuffisantes pour sortir ces industries du marasme.

Pour de nombreux auteurs, les désajustements croissants entre les exigences agricoles et les capacités techniques de l'industrie pour y répondre précipitent les mutations industrielles au sein de l'agro-fourriture. De nouvelles activités supplanteraient les activités héritées de la première révolution industrielle (Ayres, 1983). Dans l'agro-fourriture, elles seraient à même, sur la base d'une meilleure connaissance des mécanismes du vivant et grâce à l'avancée des biotechnologies et de l'informatique, de renouveler et d'enrichir les techniques mécaniques et chimiques (Kloppenburger, 1985). Leur développement ne serait pas dû à une simple amélioration des connaissances scientifiques mais à une relation beaucoup plus étroite au sein d'une même unité de production et de décision entre recherche et application de la recherche (OTA, 1985). Ainsi, les industries de la chimie fine et de la pharmacie pourraient-elles à terme redéfinir les techniques de la fertilisation ; ainsi, les industries de l'électronique et de l'intelligence artificielle auraient-elles la capacité de renouveler et d'élargir les domaines réservés jusqu'à présent au machinisme agricole (Davis, 1985).

Les agents du changement technique

Il existe une première famille d'auteurs pour qui chaque innovation majeure est la somme ou la résultante d'inventions isolées et distinctes ; la logique du mouvement est en quelque sorte inscrite dans le système technique lui-même.

Cette famille regroupe les auteurs préoccupés d'une analyse globalisante du changement technique. A l'aide de nombreux exemples (photographies et croquis à l'appui), Wright (1967) développe l'hypothèse d'une technologie — en l'occurrence le tracteur agricole — comme résultat d'une multitude d'innovations de perfectionnement qui ont abouti peu à peu à une technologie stabilisée. Usher (1954), de son côté, estime que toute nouveauté technique cristallise en elle une série d'événements successifs qui en constituent la genèse. C'est aussi cette hypothèse que soutient Simondon (1969) quand il admet l'existence d'un "commencement absolu" aux objets techniques et la

création d'une "essence technique", cœur stabilisé d'une lignée d'objets techniques qui se perfectionnent en permanence tout en conservant leur appartenance à ce noyau initial. Les "êtres techniques" évoluent par convergence et adaptation sur la base d'un processus de mise en cohérence et de simplification technique. Ainsi, il est possible de repérer différentes générations — de tracteurs agricoles, par exemple — au sein d'une même lignée, d'une même filière technologique. Mais s'il y a si peu de différences entre types de voitures ou de tracteurs, c'est, selon Simondon, parce que les objets techniques évoluent vers un petit nombre de types spécifiques, en vertu d'une nécessité interne et non pas par suite d'influences économiques ou d'exigences pratiques.

En poussant à son extrême limite une telle vision des choses, on pourrait dire que les divers agents économiques concernés ne sont que le support — ou l'occasion — de la mise en œuvre de la logique du système technicien. Mais, dans la littérature relative à notre sujet, nombreux sont les auteurs qui soulignent au contraire le rôle essentiel des acteurs — ici entrepreneurs, artisans et pouvoirs publics — dans la mise au point et le perfectionnement des innovations.

L'apport des entrepreneurs de l'industrie

De nombreux historiens de l'industrie et biographes d'industriels, mettent plutôt en relief quant à eux le rôle essentiel de la fonction d'entrepreneur-inventeur-innovateur dans le processus de genèse et de diffusion des techniques. Ces auteurs centrent leur attention sur une seule question : "Qui a inventé et produit telle ou telle technologie ?". Pour eux, le fait de disposer d'un nom, d'une date et d'un lieu est souvent suffisant pour expliquer la genèse d'un objet technique. Or, comme le souligne Rosenberg (1969), bien que la disponibilité d'un nom et d'une date puisse faciliter l'écriture d'histoires élémentaires, cela n'ajoute rien pour comprendre la nature du progrès technique et les conséquences économiques d'une invention. L'histoire événementielle de l'invention n'est que rarement une histoire économique du changement des techniques.

On trouvait déjà cette démarche et les réserves qu'elle appelle chez Hutchinson (1935). Après une longue présentation de la vie de Cyrus Hall McCormick, inventeur de la faucheuse mécanique, et, par là même, promoteur de l'agriculture mécanisée, l'auteur en venait à analyser le caractère évolutionniste du processus d'invention-innovation. Il le fondait en particulier sur les longs démêlés judiciaires de cet inventeur en matière de brevets industriels. Cette réflexion amenait l'auteur à se poser la question des difficultés, voire de l'intérêt, d'isoler une invention, donc un inventeur au sein d'un long processus de mise au point technologique dans lequel intervient de fait un grand nombre d'artisans et d'industriels, à la fois inventeurs et imitateurs.

De même, Broehl et Wayne (1984), dans leur histoire de la société John Deere, un des grands fabricants de machines et tracteurs agricoles, se contentent de dater et localiser les réalisations du créateur de la firme. Ils mettent surtout en avant l'ingéniosité de cet artisan-inventeur et la capacité de la firme à améliorer de période en période ses techniques et ses fabrications.

Le rôle des artisans

A côté du rôle joué par les industriels, de nombreux auteurs insistent sur la place des artisans — forgerons ou pharmaciens de village — non seulement dans l'adaptation aux réels besoins locaux des objets techniques fournis avec des spécifications standardisées par les firmes industrielles mais aussi dans le processus de création de nouvelles techniques. L'histoire des outils agricoles de Partridge (1973) et l'histoire du tracteur agricole de Wright (1967) sont édifiantes à ce titre. Elles montrent l'importance des artisans qui ont contribué au développement des outils tractés ou poussés tels que les charrues, les moissonneuses, les faucheuses, les herses. Maîtres d'écoles, propriétaires terriens et agriculteurs, "bricolant" dans un hangar, sont à associer à ce mouvement. Ashton (1947), dans son histoire de la Révolution industrielle, constate l'importance de quelques individualités extérieures au monde paysan proprement dit dans les rares progrès technologiques qui caractérisent, selon lui, la période 1760-1830 dans les domaines du drainage, de l'amélioration de l'espèce bovine, des charrues métalliques.

Les artisans-constructeurs locaux, dont le rôle a été important dans la phase initiale de mécanisation, ont été relayés par la suite par les artisans-revendeurs (Byé, Chanaron, 1982). Dans la phase de diffusion du modèle de mécanisation lourde dans la polyculture, le rôle des revendeurs et des agents de développement a été, et reste aujourd'hui, essentiel pour adapter les machines et les produits chimiques à la demande précise des agriculteurs de leur zone d'influence. Ce rôle est aujourd'hui explicitement intégré dans les stratégies industrielles et commerciales des grands groupes du machinisme agricole et de la fertilisation chimique.

Le rôle des pouvoirs publics

Si foires et expositions sont des lieux privilégiés de diffusion des nouvelles techniques (Partridge, 1973 ; Wright, 1967), les Etats, tant par le système d'enseignement pour ingénieurs agronomes que par les fermes modèles, ont également exercé une forte influence sur la direction et le rythme du progrès technique. Le rôle des fermes modèles dans le processus de genèse des techniques est noté avec insistance par Derry et Williams (1961) mais surtout par Hayami et Ruttan (1971).

Dans leur comparaison des systèmes agricoles américains et japonais, Hayami et Ruttan estiment que le soutien public à l'éducation et à la recherche expérimentale a joué un rôle majeur tant aux Etats-Unis qu'au Japon, mais aussi en Allemagne. Les stations expérimentales fédérales et des Etats aux Etats-Unis, les fermes modèles nationales ou préfectorales au Japon ont été des sources importantes de production de connaissances en mécanique et en chimie. Elles ont contribué à la croissance de la productivité des agricultures américaine et japonaise.

Développant leur analyse, Hayami et Ruttan formulent l'hypothèse d'une interaction efficace entre agriculteurs, chercheurs et industriels (de la mécanique et de la chimie), interaction orchestrée explicitement par les autorités administratives locales et nationales dans le cas précis de l'agriculture. Elargissant l'analyse à un modèle de production agricole, les auteurs sont amenés

à ne pas tenter de repérer une technologie particulière comme pouvant symboliser une période ou un mode de production mais à englober la production de techniques — certains engrais chimiques et les motoculteurs au Japon, par exemple — dans une approche qui privilégie les acteurs du processus plutôt que ses résultats, c'est à dire les objets techniques.

De même Pickering (1974), soulignant le rôle des ingénieurs agronomes officiels de la Russie tsariste dans l'adoption et en même temps l'adaptation aux contraintes locales des techniques mécaniques et de fertilisation américaines et européennes, propose une analyse privilégiant également les acteurs sociaux, paysans, conseillers agricoles, représentants des multinationales (McCormick dans le cas précis) dans le processus de concurrence entre les techniques issues du modèle américain et celles alors en vigueur en Russie.

TRANSFERTS DES TECHNIQUES ET DIFFUSION DES PRODUITS INDUSTRIELS DANS L'AGRICULTURE

A travers l'analyse des déterminants scientifiques et techniques de l'évolution des industries du machinisme agricole et des engrais, les travaux recensés dans la partie précédente ont essentiellement mis l'accent sur l'offre des technologies industrielles comme facteur prépondérant des changements technologiques enregistrés dans l'agriculture depuis 1850. Il faut se souvenir que l'introduction de ces technologies industrielles s'est réalisée durant une période de forte croissance de la production agricole. Comme le rappelle Hobsbawm (1968), pour l'ensemble du monde accessible à la statistique, entre 1840 et 1880, la zone consacrée à l'agriculture est passée de 500 à 700 millions d'acres. Pour moitié, cette extension se fit en Amérique où la surface cultivée tripla durant cette période. En Europe, l'extension se fit principalement par la suppression des jachères, l'assainissement des terrains marécageux et le déboisement.

Deux facteurs principaux auraient été à l'origine de cette croissance de l'agriculture au XIX^{ème} siècle : la demande sans cesse croissante de nourriture par les centres urbains et industriels, d'une part, et le développement des transports et en particulier des chemins de fer, grâce auxquels il a été possible de transporter des produits volumineux sur de longues distances (Hobsbawm, 1968 ; Hays, 1957). Egalement, mais dans une moindre mesure, la mise au point des techniques de réfrigération (avec l'ammoniac) et de conservation, en permettant le transport et le stockage de la viande, a participé à cette phase de croissance de la production agricole (Borgstrom, 1967). Les industries mécaniques — à travers le développement des infrastructures, des moyens de transports et des industries de la conserverie — et les industries chimiques — à travers les installations de réfrigération — ont participé indirectement à cette forte croissance de la demande agricole, préparant ainsi les conditions d'une pénétration plus directe dans l'agriculture.

La plupart des auteurs qui mettent l'accent sur l'offre de technologie pour expliquer les déterminants des innovations dans les industries du machinisme agricole et des engrais ont privilégié l'une ou l'autre des approches suivantes :

1. L'offre de technologie n'aboutit pas à réaliser un transfert immédiat et rigoureusement mimétique des techniques industrielles dans l'agriculture. Le transfert s'effectue progressivement, prenant d'abord la forme de substitution simple (remplacement de matériaux d'origine agricole par des produits industriels) pour se poursuivre par des substitutions plus complexes aboutissant à modifier en profondeur les processus de production agricole. S'il y a progressivité dans ces substitutions, il n'y a pas cependant de linéarité dans les mécanismes de transfert.

2. L'offre de technologie est étroitement liée aux stratégies industrielles et commerciales des offreurs. Les débouchés des industries du machinisme agricole ou des engrais dépendent de leurs capacités à ouvrir, à amplifier puis à conserver leurs marchés. Les formes du changement technique observées dans l'agriculture portent ainsi la marque de la concurrence que se livrent les offreurs de produits industriels mais aussi la marque de leurs capacités à maîtriser les contraintes de prix et de marché.

Techniques nouvelles ou nouveau système ?

Substitution des machines à l'homme, substitution des sources d'énergie inanimées aux sources animées, substitution des substances minérales aux substances végétales ou animales, c'est par ces trois changements fondamentaux que Landes (1975) définit la Révolution industrielle. L'auteur complète cette définition en affirmant que les machines et les techniques nouvelles ne font pas à elles seules cette révolution et que celle-ci est autant une métamorphose des moyens de production que de l'organisation de l'industrie qui s'est concrétisée dans le "*factory system*".

De nombreux auteurs (M. Bloch, 1941 ; Augé-Laribé, 1955 ; Mingay, 1977 ; etc.) ont utilisé l'expression de Révolution agricole pour rendre compte des profonds bouleversements qui, du XVII^{ème} au XIX^{ème} siècle, ont abouti en Europe à l'agriculture moderne. Pour Marc Bloch (1941), "le terme est commode" et "évoque un parallélisme avec la Révolution industrielle" ; s'il lui accorde "droit de cité dans le vocabulaire historique", c'est pour retenir le caractère profond des changements, mais non leur rapidité — les évolutions agraires sont lentes — ni leur nouveauté ; en effet, écrit-il, "l'histoire rurale toute entière, dès les premiers âges, fut un perpétuel mouvement : pour nous en tenir à la pure technique, y eut-il jamais transformation plus décisive que l'invention de la charrue à roues, la substitution des assolements réglés à la culture temporaire, la lutte dramatique des défricheurs (...)."

Plus récemment, et en référence en particulier à la mutation technique très rapide enregistrée dans l'agriculture française des années 1960, le terme d'industrialisation a été utilisé simultanément pour décrire l'augmentation des achats de produits d'origine industrielle, la substitution du capital au travail, le recul des techniques artisanales et le recours accru aux techniques et aux normes non agricoles, et enfin la modification du contenu et de la qualification du travail paysan. Ce mouvement inachevé et complexe d'industrialisation de l'agriculture, se réfère de fait à une multitude d'effets de substitu-

tion, tantôt organisés par les acteurs industriels, tantôt au contraire subis par eux mais aboutissant à une intégration (Goldberg, 1957) croissante de l'agriculture à l'industrie.

Substitution en termes d'inputs utilisés

C'est la forme de substitution la plus fréquemment évoquée dans les monographies. Tel est le cas pour le remplacement des socs en fonte par des socs en acier (Bridgen, 1981) qui, introduits aux Etats-Unis par John Deere en 1837 (Broehl et Wayne, 1984), ont contribué à la mise en valeur des sols lourds et argileux des plaines du Middle West nord-américain (Borgstrom, 1967). Il en va de même à l'origine pour les engrais azotés fabriqués par l'industrie chimique. A la fin du XIX^{ème} siècle, ils commencent à compléter les fumures naturelles et surtout à remplacer les importations de guanos du Pérou et de minerais de nitrate de sodium du Chili, les produits organiques de synthèse (azote) se substituant ainsi aux produits minéraux.

Comme pour les nouvelles variétés de plantes (Kloppenburger, 1985), les engrais chimiques permettent d'augmenter la production agricole sans changer fondamentalement la façon de produire. Il n'en va pas de même quand on examine la substitution des sources énergétiques. Celle-ci a, en effet, une autre portée. Même si, à l'origine, les substitutions se réalisent sous une forme relativement simple (remplacement de la traction animale par la traction motorisée), elles sont vectrices de profonds changements. Pour Wik (1967), l'histoire des technologies agricoles dépend très étroitement des **sources d'énergie** disponibles. Selon Parker (1972), la substitution du moteur à essence à la traction animale aurait libéré près d'un tiers des superficies cultivables aux Etats-Unis entre 1910 et 1940. L'électrification rurale est un élément important du développement de l'intensification des cultures et de l'élevage hors-sol (Carillon, 1986). Le développement de l'industrie pétrolière et de la pétrochimie explique la percée des engrais azotés (Hohenberg, 1967). A contrario, le renchérissement du prix du pétrole amène à redéfinir les techniques d'irrigation (Engelbert, Scheuring, 1982 ; OTA, 1983) et ouvre, dans ce domaine précis (Byé, Chanaron, 1986), un champ d'application important aux automatismes et à l'informatique en matière de gestion des systèmes d'irrigation.

Substitution en termes de procédés

Comme dans l'industrie, la mécanisation de la production dans l'agriculture s'est faite à partir d'une décomposition du travail, des gestes opérés par les agriculteurs. Parfois, pour mécaniser, l'industrie a dû faire un retour en arrière vers des formes de travail moins complexes. Ce fut le cas, notamment, pour la construction des premières moissonneuses tirées par des chevaux, que beaucoup d'historiens de l'économie considèrent comme l'innovation la plus importante pour la production américaine du XIX^{ème} siècle (David, 1986). Les formes prises non par la mécanisation mais par une mécanisation asservie, notamment avec la motorisation, marquent toujours fortement les options techniques adoptées par l'agriculture des pays indus-

trialisés (Bourdon, 1975). Le modèle de mécanisation lourde a conduit progressivement à réduire le nombre des assolements, à agrandir les parcelles, à spécialiser les exploitations et à sélectionner les variétés les plus aptes à résister aux nouvelles façons culturales.

La mécanisation a exercé ainsi un rôle prééminent dans l'orientation des techniques agricoles (Barlet, 1981). Il n'en a pas été de même pour la chimie des engrais menacée non seulement par la hausse des prix de l'énergie (DAFSA, 1985), mais aussi par l'introduction de nouvelles techniques promues par d'autres acteurs industriels (World Bank, 1985) et visant à réduire voire à supprimer l'utilisation des engrais azotés.

Substitution en termes de fonctions

On observe dans les industries de l'agro-fourriture les mêmes tendances que dans d'autres industries à intégrer la prestation de services dans la vente de matériels ou de produits consommables que celles analysées précédemment dans d'autres industries, en particulier dans les industries de biens d'équipements (Perrin, 1977). C'est ainsi que, par exemple, les constructeurs de matériels pour le traitement des eaux ne vendent plus des machines mais la fonction épuration qui intègre la fourniture des matériels, la construction des bâtiments, la fourniture des produits consommables, les services de maintenance et de gestion des stations d'épuration.

Cette évolution modifie non seulement les relations entre l'agriculture et l'industrie mais aussi les relations entre les industries elles-mêmes. Mise en œuvre depuis peu par l'agro-chimie, la vente de *packages* techniques ne vise pas uniquement à "fidéliser" une clientèle en lui assurant simultanément la mise à disposition d'un produit et de son mode d'emploi ; elle redéfinit un ensemble de fonctions de la chimie dans la production agro-alimentaire. Les différentes activités chimiques n'agiraient pas en ordre dispersé dans la fertilisation, dans le traitement des plantes ou la médecine vétérinaire. Elles agiraient de concert pour promouvoir de nouvelles façons culturales et de nouvelles productions (Cohendet, 1984 et 1988).

Le développement des biotechnologies, l'introduction de nouvelles contraintes liées à la protection de l'environnement (OCDE, 1979) et du consommateur et à la recherche d'une nouvelle compétitivité agricole (OTA, 1983) favorisent ces évolutions. Elles se traduisent par une restructuration dans les industries de l'agro-fourriture : restructuration classique dans l'industrie du machinisme agricole qui continue à se concentrer pour rationaliser ses productions, relocalisation de la chimie qui investit de nouveaux domaines d'activités, par exemple celui des semences (Joly, Ducos, 1986) pour mettre en œuvre ces nouvelles stratégies de fonction. De nombreux professionnels et opérateurs industriels ont ainsi pu parler de "chimie de fonction", de chimie de services.

Les premières analyses concernant le rôle de l'industrie dans la modification des techniques agricoles mettent l'accent sur le transfert pur et simple de l'organisation de la production et du travail. Drache (1977) rappelle ainsi que Thomas Campbell, pionnier de la mise en valeur des territoires indiens était fasciné par l'image d'une agriculture à grande échelle utilisant de l'éner-

gie mécanique, de grosses machines, de la main-d'œuvre temporaire et des capitaux empruntés. Son objectif était de prouver que les grandes fermes utilisant de la main-d'œuvre temporaire et des techniques de management adéquates étaient plus compétitives que les fermes familiales. En 1926, Henri Ford applique à sa ferme de Dearborn (Michigan), sur plusieurs milliers d'hectares, sa méthode de management pour la production industrielle. Ces visions industrialistes qui se proposent de mettre la production agricole au gabarit des normes industrielles et de faire passer l'agriculture sous les "verrières des usines" (Mounier, 1969) seront, cependant, fortement tempérées par les analyses ultérieures.

Stratégies industrielles envers les débouchés agricoles

Si, à certaines périodes et dans certains lieux bien spécifiques, tels que les grandes plaines du Middle West américain, le modèle de production industrielle semble avoir été appliqué à l'agriculture d'une manière mimétique, dans de nombreux autres cas, sa diffusion s'est faite d'une manière progressive et en prenant en compte les spécificités des productions agricoles et des agriculteurs. Cette diffusion s'est appuyée notamment sur des politiques industrielles visant à diversifier ou à modifier les matériels pour conquérir de nouveaux marchés (Byé, 1979), des politiques commerciales et financières tendant à "fidéliser" la clientèle en multipliant les services liés à l'achat des produits (Scoraille, 1986), des politiques techniques conduisant à lier l'utilisation des produits industriels entre eux (Byerlee, Hesse de Polanco, 1986) et à renforcer ainsi les relations de dépendance entre l'agriculture et l'industrie.

Dans son travail sur l'histoire du tracteur, Sahal (1981) rappelle qu'à l'origine, les tracteurs à essence étaient des machines lourdes et encombrantes, conçues sur le modèle des tracteurs à vapeur. Pour s'adapter à la demande agricole et élargir leurs débouchés, les constructeurs ont transformé le tracteur, conçu au départ comme moyen de traction des outils agricoles, en une machine aux multiples utilisations. Cette transformation est le résultat d'une accumulation d'expériences au sein des firmes, à travers notamment les relations permanentes qu'elles ont organisées avec les agriculteurs. Des associations professionnelles, telles que l'American Society of Agricultural Engineers (ASAE), ont joué un rôle important dans la diffusion du modèle de production industrielle et, en particulier, pour la standardisation des matériels (Stewart, 1979).

Après la Deuxième Guerre mondiale, les principales innovations pour perfectionner l'outil de traction et la relation tracteur-machine ayant été réalisées, l'objectif des grands fabricants a été de miniaturiser les tracteurs pour les adapter au système de polyculture-élevage européen (Bourdon, 1975 ; Bartlet, 1981). La sophistication croissante des machines tractées, le passage aux automotrices spécialisées ont conduit peu à peu à mesurer les limites d'innovations uniquement mécaniques. L'introduction des automatismes et de l'électronique dans les machines de récolte, a facilité alors l'ouverture de nouveaux débouchés dans des productions agricoles peu ou pas mécanisées (élevage, arboriculture...) - et a permis de lutter en définitive contre une concurrence accrue entre les constructeurs des matériels banalisés (tracteurs...) (Thompson, Scheuring, 1977).

Dans l'industrie des **engrais**, les stratégies des firmes ont été différentes. Dès le début, la production des engrais a été réalisée par un nombre restreint d'entreprises, favorisant ainsi la formation d'associations et d'ententes. En Angleterre, par exemple, la première association de producteurs d'engrais (Fertilizer Manufacturer Association) a été créée en 1875 et la "Sulfate Ammonia Federation" dix ans plus tard. Un des principaux rôles de ces deux groupements de producteurs a été de lancer des campagnes de publicité auprès des agriculteurs pour promouvoir la vente de leurs engrais (Haber, 1958). Pour mieux convaincre les agriculteurs, des associations de producteurs, telles que celle des producteurs allemands de potasse, embauchèrent en 1907 une cinquantaine d'agronomes (Hohenberg, 1967).

Dès les années 1920 et après avoir démarré la production de son usine d'engrais azotés de Billingham, Imperial Chemical Industries (ICI) a dû se doter de deux fermes pilotes et lancer une campagne de propagande pour essayer de convaincre les agriculteurs d'acheter des engrais (Reader, 1985). A l'époque, la vente d'engrais aux agriculteurs étant principalement assurée par les marchands de blé, ICI envisagea un moment de se lancer dans le commerce du blé pour vendre plus aisément sa production d'engrais.

Après la Première Guerre mondiale, l'existence de surcapacités de production et la faible croissance de la demande ont impulsé la formation de plusieurs cartels de production nationaux et internationaux dont le principal objectif fut de lutter contre l'effondrement des prix des engrais (Haber, 1971). La forte croissance agricole qui suivit la Deuxième Guerre mondiale permit la diffusion des engrais sans grand effort commercial et sans grande innovation en termes de produit. Les ventes d'engrais augmentèrent régulièrement jusqu'aux années 1975 où le brutal renchérissement du prix du pétrole contribua à l'augmentation des charges liées à la fertilisation azotée. La demande fléchit sans provoquer de réaction immédiate chez les producteurs. Ils ont, cependant, tenté de maintenir leurs positions en renouvelant leurs stratégies commerciales : vente en vrac, en *bulk-blending*, en solution, en "rendu racine" (DAFSA, 1985). Aujourd'hui, les conséquences majeures de cette mévente relative des engrais ne se situent pas au niveau commercial mais au niveau structurel : l'industrie des engrais doit se concentrer.

Les nouvelles stratégies des firmes de l'agro-chimie produisant des engrais azotés semblent ainsi intégrer peu à peu les observations faites par Colombo (1980) à propos des principaux facteurs pouvant, pour les années à venir, stimuler l'innovation dans l'industrie chimique :

- délocalisation géographique d'une partie de l'industrie vers les pays en voie de développement ;
- changement dans le long terme des sources de matières premières : charbon, produits agricoles (également Heraud et Ledoux, 1982). Pour Rossiter (1986), président du comité Chemrawn (*Chemical Research Applied to World Needs*) de l'IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), serait nécessaire une accélération des recherches sur les alternatives possibles au pétrole comme matières premières pour l'industrie chimique ;
- contraintes de pollution, de qualité et de toxicologie ;
- introduction des technologies de l'information dans les processus de l'industrie chimique (également Trofimoff, 1982).

Dans un travail plus récent, Colombo (1982) suggère une vision du changement technologique dérivant d'une nouvelle restructuration industrielle. L'industrie chimique "tendra à se dissoudre et à se recomposer suivant des champs d'activités, des problèmes, des besoins exprimés par le marché et par la société, et dans cette opération, elle s'intégrera à des industries qui traditionnellement achetaient ses produits ou au contraire fournissaient des matières premières". Dans le cadre de ces nouvelles structures industrielles, la recherche chimique "sera fécondée par les interactions avec des recherches menées dans des disciplines telles que les sciences physiques, biologiques et les nouvelles techniques de l'information". Elle changera en définitive le cadre, les objectifs et les ambitions des grands groupes de la chimie à l'égard de l'agriculture.

DYNAMIQUES INDUSTRIELLES ET ENVIRONNEMENT TECHNICO-ECONOMIQUE

Cette troisième partie est consacrée à la présentation des travaux qui inscrivent la croissance des industries du machinisme agricole et des engrais dans un contexte macro-économique et commercial. Ils accordent une importance particulière aux capacités de ces industries à intégrer dans leur dynamique industrielle les variables issues par exemple de l'évolution générale des prix et des revenus agricoles et de l'élargissement des marchés.

Evolution des prix et modification des caractères de l'offre et de la demande industrielle

La présentation du rôle joué par les prix dans cette évolution ne recouvre pas nécessairement l'intégralité de la thèse des auteurs cités en référence mais constitue à un moment donné une partie de leur argumentation. Les références aux évolutions des prix sont cependant rarement comparables. Les économistes ou les historiens se spécialisent, en effet, sur une période, un pays, voire sur une machine (Mutch, 1981), un produit (Daniel, 1985), un système de production, ils n'ont en général recours qu'à des données partielles, hétérogènes et par essence peu comparables.

Les analyses de longue période demeurent l'exception. Les prix — à l'exception de quelques auteurs qui en font véritablement la "clé de lecture" du changement des techniques (Hayami, Ruttan, 1971) — ne sont évoqués que comme un facteur explicatif parmi d'autres de l'évolution industrielle.

Les analyses peuvent être, cependant, regroupées en fonction des évolutions de prix que l'on privilégie, prix agricoles, prix industriels, rapport de prix.

L'évolution des prix agricoles est déterminante pour expliquer la croissance industrielle

L'augmentation des prix agricoles est assimilée implicitement à une augmentation du revenu agricole et par conséquent à une capacité à acheter

et à investir. Les périodes de hausse de prix — 1820-1870 en Europe, 1860-1880 et 1940-1950 aux Etats-Unis (Wiser, 1976) — expliquent le *take-off* des industries du machinisme agricole. Les périodes de baisse de prix, au contraire, sont à l'origine de leurs difficultés. Il en va ainsi pour la période des guerres napoléoniennes en Grande-Bretagne (Mingay, 1977), pour celle qui va de 1870 à 1920 en Europe ou pour la période actuelle où la crise économique se conjugue avec un endettement croissant du secteur agricole (Fite, 1981). Pour ces auteurs, l'augmentation des prix agricoles est le facteur explicatif essentiel de la croissance de l'agro-fourmiture. L'endettement peut artificiellement maintenir le niveau de revenu et soutenir temporairement les achats. A terme, cependant, la baisse du revenu diminue les débouchés et les oblige à une reconversion industrielle. La baisse des prix des produits industriels ne suffit pas à relancer durablement la demande en période d'anticipation d'une baisse des prix des produits agricoles. Les fabricants de biens d'équipement sont plus directement frappés par la baisse des prix agricoles que les fabricants de consommations intermédiaires qui bénéficient d'une certaine inélasticité de la demande par rapport aux prix (Byé, Chanaron, 1984).

Plusieurs auteurs notent, cependant, que l'augmentation des prix agricoles ne se traduit pas nécessairement par un accroissement de la demande à l'industrie mais que d'autres investissements peuvent être privilégiés : l'achat de terre par exemple dans la France de Méline (Braudel, 1986), le drainage dans l'Angleterre des années 1850 (Sheail, 1977), l'irrigation dans les Etats du Sud des Etats-Unis (Daniel, 1985) dans les années 1920.

Disponibilité et coût de la main-d'œuvre industrielle

Plusieurs historiens de l'industrie et historiens économistes ont émis l'hypothèse d'une incitation au changement des techniques ou à l'immobilisme technologique du fait soit de la structure des qualifications de la main-d'œuvre disponible, soit de son coût relatif.

C'est ainsi que Hounshell (1984) justifie la standardisation des composants et des fabrications de McCormick et l'adoption concomitante de la production en série par les difficultés rencontrées alors pour recruter la main-d'œuvre qualifiée d'origine artisanale qu'il avait coutume d'employer pour produire des machines à l'unité et sur mesure. Cette analyse reprend en les systématisant des remarques formulées presque incidemment par Hutchinson en 1935 dans sa monumentale biographie de Cyrus Hall McCormick. Ce sont, par exemple, des grèves longues et répétées qui ont amené McCormick à modifier ses méthodes de production et à investir dans des fonderies mécanisées.

Les références à l'évolution des prix des inputs industriels sont rares

Elles sont, dans l'ensemble, moins nombreuses et plus récentes que celles concernant les produits agricoles. On note (Braudel, 1986 ; Boorstin, 1965) que ces prix sur longue période ont incontestablement baissé. Shannon (1973) le précise pour l'industrie du machinisme agricole aux Etats-Unis. Les

analystes de l'industrie des engrais (Hohenberg, 1967 ; Lamer, 1957), le confirment en montrant que la substitution des engrais naturels aux engrais chimiques, comme l'agrandissement des capacités industrielles pendant la Deuxième Guerre mondiale, conduisent à une diminution du prix des fertilisants. Ils signalent qu'à certains moments de l'histoire, certains verrous — le prix de l'acier en Grande-Bretagne au début du XIX^{ème} siècle (Jones, 1974) ; celui de la main-d'œuvre spécialisée aux Etats-Unis dans les années 1860 (Howard, Gregor 1982) ; le coût croissant du crédit à partir de 1975 ; ou l'impossibilité de jouer des économies d'échelle du fait du fléchissement de la demande agricole à la même date — empêchent ou freinent la tendance naturelle à la baisse des prix des produits industriels nécessaires à l'agriculture. Peu d'auteurs s'attachent, cependant, à décrire le rôle des oligopoles ou des monopoles sur le niveau des prix. Il y est fait explicitement mention dans les monographies des grands groupes mécaniques (Broehl et Wayne, 1984) et à travers la description des ententes entre les producteurs chimiques. Plus récemment, des études insistent sur l'importance de l'organisation internationale de la production pour abaisser les coûts de production. Ainsi en va-t-il pour la polyvalence des complexes chimiques signalée par Cohendet (1984) ; ceux-ci sont capables de jouer tantôt de la substitution entre substrats, tantôt de la substitution entre marchés, pour s'adapter à une demande agricole de moins en moins stimulée par les incitations de l'offre industrielle (Thirtle, Ruttan, 1986). Même si la brutale augmentation des prix des engrais a pu freiner, dans les années 1970, le rythme d'augmentation de la demande, il est fait relativement peu allusion à l'évolution des prix industriels sur longue période pour expliquer la croissance des industries chimiques ou mécaniques.

Rapports de prix et combinaisons productives

Prenant pour base les orientations de Schmookler (1966) et Rosenberg (1969) et les travaux de Hayami et Ruttan (1971), bon nombre d'auteurs anglo-saxons appréhendent l'utilisation croissante des produits mécaniques et chimiques dans l'agriculture moins comme la résultante des variations respectives des prix des produits agricoles ou des prix industriels que comme celle des rapports de prix entre les différents facteurs de production utilisés dans la production agricole (Howard, Gregor, 1982) .

Pour eux, le véritable démarrage de l'industrie du machinisme agricole remonte, aux Etats-Unis, à la période où le prix de la terre baisse sensiblement par rapport à celui du travail. C'est le cas, comme le signale Wade (1981), en 1870, où le prix de la terre aux Etats-Unis est six à huit fois moins élevé qu'il ne l'est en Europe. On peut ajouter qu'à la même époque, le décalage entre le prix du travail et le prix des machines *labour-saving* s'accroît, favorisant la substitution capital-travail. Des analyses faites pour l'Europe sur des bases identiques insistent sur les évolutions comparées du prix des engrais des aliments du bétail et du prix de la terre pour montrer que l'augmentation des deux derniers par rapport au premier conduit à stimuler la demande en produits de la fertilisation pour augmenter la productivité par hectare. Sur la même base de comparaison des prix des facteurs de produc-

tion et des effets qu'elle induit sur la demande agricole, Hayami et Ruttan expliquent la dynamique innovatrice et industrielle de l'une et l'autre industrie.

Aux Etats-Unis, la rareté relative de la main-d'œuvre et l'abondance de la terre auraient favorisé le démarrage puis l'expansion à l'échelle internationale de l'industrie du machinisme agricole. En Europe, la rareté relative de la terre et le besoin d'augmenter rapidement les rendements à l'hectare auraient été à la base d'un développement précoce de l'industrie des engrais chimiques.

Dans les années 1980 et alors que s'accroissent les difficultés rencontrées par ces industries, certains auteurs (Engelbert, Scheuring, 1982) mettent en parallèle le coût de l'investissement foncier requis pour utiliser et amortir le capital mécanique (agriculture extensive) et les coûts requis pour augmenter les rendements sans accroître les superficies (agriculture intensive). Ils aboutissent, ce faisant, à opposer modèle mécanique et modèle chimique.

Marchés, échanges et restructurations industrielles

L'industrialisation dans l'agriculture et la croissance des industries de l'agro-fourriture sont largement induites par l'élargissement des débouchés agricoles. Ce mouvement d'industrialisation a donc un impact direct sur les structures industrielles, les innovations de procédés, les innovations de produits. Il y a là un courant de pensée qui relève d'abord des historiens et des économistes travaillant sur longue période. Thirsk et Jones (1981) quand ils analysent le développement de l'agriculture anglaise, Weber (1983) et Braudel (1986), quand ils traitent de la modernisation agricole en France, Cochrane (1979), Shannon (1973), Boorstin (1965) et Morishima (1986), quand ils introduisent les relations entre techniques et rapports sociaux, y font fréquemment référence. Leurs apports constituent le fondement non explicité des développements qui vont suivre. S'il n'y a pas filiation directe entre la Révolution agricole et la Révolution industrielle, il y a, cependant, "perméabilité" entre ces deux révolutions.

Mi-empiriques, mi-scientifiques, les inventions mécaniques ont débuté en Angleterre au début du XVIII^e siècle et ont gagné la France (Faucher, 1954). L'expérimentation plus que la production industrielle de machines caractérise la mécanisation de l'agriculture à ses débuts. Pendant de longues années, la production de machines agricoles en Europe, est plus du ressort d'une multitude d'inventeurs, de façonniers, d'adaptateurs et de petits constructeurs que d'une industrie concentrée, homogène. Cette tendance est sans aucun doute moins affirmée en Angleterre, à la même époque, car l'industrie du machinisme agricole, du fait des options délibérément libre-échangistes, est moins rurale et plus liée aux orientations des grandes industries métallurgiques.

Wade (1981) souligne ainsi les différences enregistrées entre les différents pays européens. La France apparaît comme le pays qui résiste le plus longtemps à l'adoption de machines qui font, cependant, leurs preuves ailleurs : matériel de labour, matériel de fenaion, faucheuse et moissonneuse, petit matériel pour l'affouragement des bêtes, matériel de laiterie. Comme la

Grande-Bretagne, l'Allemagne ou le Danemark, elle témoigne cependant d'une capacité d'invention stimulée du moins jusqu'en 1870 par la grande agriculture céréalière.

La dynamique industrielle est très différente aux Etats-Unis (USDA, 1940). Avant la guerre de Sécession et la conversion de la Prairie américaine en terres à céréales, le machinisme agricole nord-américain offre cependant bien des similitudes avec l'industrie européenne. L'invention en 1834 de la moissonneuse McCormick dont les grands principes avaient été découverts quelques années auparavant par certains constructeurs européens, aurait pu rester confidentielle si elle ne s'était insérée dans un contexte économique favorable. Rogin (1931) en rappelle la diffusion rapide à partir de 1845. La guerre de Sécession, qui provoque simultanément le départ de plus d'un million de fermiers américains pour le front et l'augmentation de la demande tant nationale qu'étrangère pour le blé, ne fait que renforcer la position de McCormick pour qui le lancement de la première moissonneuse-lieuse aux environs des années 1880 a constitué un nouvel atout de croissance. L'aventure industrielle de McCormick n'est guère différente de celle qu'enregistrent un peu plus tard John Deere ou Ford (Broehl et Wayne, 1984). Tous ces constructeurs ont bénéficié très tôt de larges débouchés et de l'appui d'une infrastructure mettant en pratique standardisation et rationalisation des procédés (Binswanger, 1986).

Il en va ainsi dès l'origine pour l'industrie des fertilisants chimiques qui, plus encore, va inscrire son développement dans un contexte international (Lamer, 1957). Jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, et beaucoup plus tard pour les pays ou les régions qui n'ont pas adopté la tractorisation, la consommation d'engrais à l'hectare demeure cependant très faible. Wade (1981) l'évalue à moins de 3 kg à l'hectare pour la France et la Grande-Bretagne en 1890 et toujours à moins de 20 kg en 1930. C'est seulement dans les années 1950 que la concentration industrielle pour la production des engrais va s'accélérer et se situer dès lors à un degré encore supérieur à celui atteint par l'industrie du machinisme agricole. Elle se réalise pour deux raisons que rappelle Lamer ; elle est partie intégrante des complexes industriels de la chimie de base (*Zaibatsu* japonais, *Konzern* allemand, multinationale anglo-saxonne); elle travaille sur des matières premières qui donnent lieu à des échanges internationaux.

La relation au marché est essentielle. La concurrence et les ententes commerciales appartiennent à son environnement. Les progrès techniques portent principalement sur les procédés et secondairement sur les produits. Les innovations, telles celles portant sur la concentration des teneurs en fertilisant, permettent de minimiser les coûts de transport, de manutention et d'utilisation; elles se diffusent rapidement et accentuent, tantôt la concurrence, tantôt les ententes.

L'industrie des engrais devient rapidement une industrie où les participations de l'Etat s'accroissent (Hohenberg, 1967). Elle est stratégiquement importante parce qu'elle constitue un maillon essentiel des complexes chimiques polyvalents et qu'elle offre la capacité d'augmenter rapidement la productivité de l'agriculture. Pendant de longues années, c'est l'élargissement des débouchés, et non pas l'innovation portant sur les produits, qui va être l'élément de la croissance de cette industrie.

Cette caractéristique va aussi marquer progressivement l'industrie du tracteur agricole. L'utilisation des machines à vapeur expérimentée en Grande-Bretagne dès 1855 comme outil de traction dans des opérations de défonçage et de labour reste limitée (Holbrook, 1955). Sa diffusion s'effectue par vagues entraînant chaque fois une restructuration industrielle, une réorganisation des processus de fabrication et une redéfinition des politiques commerciales. Aux Etats-Unis, les grandes séries de fabrication industrielle sont atteintes dès 1920-25. Le marché anglais s'ouvre à son tour pendant et après la Première Guerre mondiale; celui de l'Europe occidentale continentale ne démarre réellement qu'après les années 1955. On attendra beaucoup de la demande des pays en voie de développement pour relancer une demande qui commence à faiblir dans les pays industrialisés dès 1970 (Byé, 1979). Les années 1970 marqueront un tournant. La diminution des débouchés du tracteur ne sera pas relancée par l'utilisation des machines autotractées. La concentration, la multiplication des accords techniques et sans doute commerciaux entre les sept principaux groupes constructeurs mondiaux ne seront pas suffisantes pour enrayer une concurrence forcée sur des produits industriels qui se sont progressivement banalisés (Byé, Chanaron 1984). Malgré une sophistication croissante de l'appareil, les innovations dont il a été l'objet remontent, cependant, à plus de quarante ans. La prise de force et l'"attelage trois points" ont permis une meilleure intégration de la machine au tracteur. Ils ont permis surtout aux grands constructeurs des outils de traction d'exercer un *leadership* incontestable sur une industrie du machinisme agricole encore éparpillée en imposant des normes de fabrication correspondant à la traction et à l'entraînement mécanique (Bourdon, 1975). L'augmentation du coût unitaire de chaque machine (baisse des séries fabriquées, sophistication et augmentation régulière de la taille des modèles visant à relancer la demande) restreint constamment une demande agricole qui ne peut suivre les augmentations de prix (Byé, 1979). L'introduction de modules électroniques dans les composants mécaniques n'a pas seulement pour but de rendre plus fiable ou plus diversifiée l'utilisation du tracteur. Elle a aussi pour but d'abaisser sensiblement les coûts de fabrication (Byé, Chanaron, 1986). Cependant, cette utilisation croissante de pièces fabriquées par l'industrie électrique et électronique ne laisse pas encore présager d'un rapprochement entre industrie du machinisme et industrie électronique. Elle ne peut en rien non plus laisser entrevoir une remise en cause des techniques mécaniques utilisées jusqu'alors.

En fin de compte, les entreprises mécaniques et chimiques, après avoir transféré et adapté pour l'agriculture le modèle de production industrielle, sont contraintes de s'adapter aux évolutions des prix agricoles, des marchés et des coûts des facteurs de production industrielle et, à travers leurs capacités d'adaptation, elles sont amenées à modifier les techniques qu'elles vendent à l'agriculture.

CONCLUSION

C'est plus l'hétérogénéité que la cohérence qui prédomine dans cette recension de travaux consacrés aux déterminants scientifiques, techniques et industriels du modèle mécanique et chimique utilisé dans l'agriculture. On en

trouvera bien évidemment une raison dans la diversité des approches et des disciplines, dans celle des périodes et des zones géographiques retenues. Une autre cause d'hétérogénéité réside dans l'imprécision des concepts utilisés, en particulier celui d'innovation.

Le concept d'innovation est employé autant pour rendre compte de phénomènes comme la diffusion des techniques ou le changement des techniques par accumulation d'améliorations techniques (*incremental innovation*) que pour décrire le processus d'émergence d'un nouveau modèle technique de production. L'emploi d'autres notions, telles que changement technique, à consonance plus neutre, ne résoud en aucune manière l'imprécision du vocabulaire utilisé. Pourtant, la présente recension montre bien que la nature et les formes d'action des déterminants qui sont à l'origine de ces différents niveaux d'innovation ne sont pas identiques. Elle révèle, également, que les périodes de temps qui scandent chacun de ces niveaux de changement technique ont des amplitudes différentes.

Au-delà de l'hétérogénéité qui caractérise la littérature passée ici en revue, deux idées-force émergent cependant. Les connaissances scientifiques et techniques utilisées par l'agriculture sont pour la majorité d'entre elles dépendantes de découvertes et d'applications effectuées hors de son domaine. Les acteurs qui transfèrent ces connaissances et qui les adaptent en fonction de l'évolution des contraintes économiques de l'agriculture et de l'industrie, sont les firmes industrielles, et plus précisément, jusqu'à une date récente, les entreprises des industries mécaniques et chimiques. Au-delà de la multiplicité des facteurs et des circonstances qui caractérisent les déterminants de l'innovation en agriculture, on retiendra donc comme conclusion majeure cette double dépendance technologique que subit l'agriculture.

BIBLIOGRAPHIE

- AGULHON (M.), DÉSERT (G.), SPECKLIN (R.), 1976 — *Histoire de la France rurale*, tome 3 : *Apogée et crise de la civilisation paysanne (1789-1914)*, Paris, Le Seuil.
- ALDCROFT (D.), FREEMAN (M.) eds, 1983 — *Transport in the Industrial Revolution*, Manchester, Manchester University Press.
- ASHTON (T.S.), 1947 — *The Industrial Revolution, 1760-1830*, London, Oxford University Press. Trad. fr. *La Révolution industrielle*, Paris, 1955.
- AUGÉ-LARIBÉ (M.), 1955 — *La Révolution agricole*, Paris, Albin Michel (L'évolution de l'humanité, tome 83).
- AYRES (R.), 1983 — *The next Industrial Revolution. Reviving industry through innovation*, New-York, Mc Graw Hill.
- BALDWIN (N.), 1977 — *Farm tractors*, London, Warne.
- BARLET (J.), 1981 — La mécanisation et la motorisation de l'agriculture française, *Bulletin d'Information du CNEEMA*, n° 276, janvier, pp. 29-34.

- BERARDI (G.M.), GEISLER (C.), 1982 — *The social consequences and challenges of new agricultural technologies*, Rural Studies Series, Boulder (Colorado), Westview Press.
- BINSWANGER (H.P.), 1986 — Agricultural mechanization : a comparative historical perspective, *The World Bank Research Observer*, Vol. 1, n° 1, janvier, pp. 27-56.
- BLOCH (M.), 1941 — *Les caractères originaux de l'histoire rurale française*, Paris, Société d'édition Les Belles Lettres (réed. ultér. Armand Colin).
- BOGUE (A.G.), 1982 — Farming in the North American grasslands : a survey of publications 1947-1980, *The Agricultural History Review*, Vol. 30 (1), pp. 49-67.
- BONNETT (H.), 1982 — *Farming with steam. History in camera*, Manchester, Shire Publications.
- BONNETT (H.), 1985 — *Traction engines*, Aylesbury, Shire Album, n° 143.
- BOORSTIN (D.), 1965 — *The Americans*, Tome III, *The democratic experience*. New-York, Random House. Trad. fr. *Histoire des Américains*, Tome 3, *L'expérience démocratique*, Paris, Armand Colin, 1981.
- BORGSTROM (G.), 1967 — Food and agriculture in the 19th century, in M. KRANZBERG & C.W. PURSELL, *Technology in Western civilization*, Oxford University Press, Vol. I.
- BOULAIN (J.), 1986 — Le perfectionnement du concept de sol et l'amélioration des techniques agricoles, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 68-77.
- BOURDON (J.P.), 1975 — *Le développement du machinisme agricole de 1927 à 1974*, Paris, INRA-GEREI, septembre.
- BRANLARD (G.), AUTRAN (J.C.), 1986 — L'amélioration génétique de la qualité technologique du blé tendre, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 132-144.
- BRAUDEL (F.), 1986 — *L'identité de la France, Les hommes et les choses*, Paris, Flammarion.
- BRIDGEN (R.), 1981 — *Ploughs and ploughing*, Shire Album, n° 125.
- BROEHL (W.G.), WAYNE (G.), 1984 — *John Deere's Company. A history of Deere and Company and its time*, New-York, Doubleday and Co.
- BUD (R.), ROBERTS (G.K.), 1984 — *Science versus Practice. Chemistry in Victorian Britain*, Manchester, Manchester University Press.
- BYÉ (P.), 1979 — Mécanisation de l'agriculture et industrie du machinisme agricole : le cas du marché français, *Economie Rurale*, n° 130, mars-avril, pp. 46-60.
- BYÉ (P.), 1983 — Les innovations dans l'agro-fourriture : contexte et évolution, *Economie Rurale*, n° 158, novembre-décembre, pp. 11-17.
- BYÉ (P.), 1986 — *Eléments de problématique pour l'analyse de l'agro-fourriture*, IREP-D - INRA, Grenoble.

- BYÉ (P.), CHANARON (J.J.), 1982 — Blocages et perspectives de l'industrie du machinisme agricole en France, *Bulletin Technique d'Information*, n° 375, pp. 777-787.
- BYÉ (P.), CHANARON (J.J.), 1984 — *Robotique et automatismes en agriculture*, Grenoble, IREP-D.
- BYÉ (P.), CHANARON (J.J.), 1986 — *La productique agricole aux Etats-Unis : réalités et perspectives*, Paris, CPE Etude, n° 73.
- BYERLEE (D.), HESSE DE POLANCO (E.), 1986 — Adoption of technological packages, *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 68, n° 3, pp. 519-527.
- CARILLON (R.), 1986 — Du bâton à fouir à l'aube de la motorisation agricole, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 86-99.
- CAUDLE (P.G.), 1978 — Chemicals and energy: the next 25 years, *Futures*, octobre.
- CAUDLE (P.G.), 1981 — Trends in the chemical industry, *Futures*, octobre, pp. 413-416.
- CHANARON (J.J.), PERRIN (J.), 1986 — Science, technologie et modes d'organisation du travail, *Sociologie du travail*, vol. 28, n° 1, pp. 23-40.
- CESTA, 1987 — *Sept pistes de réflexion pour mieux percevoir l'impact des nouvelles technologies du vivant sur l'agriculture et l'agro-alimentaire dans une économie de faible croissance*, Paris.
- CLOW (A. & N.), 1952 — *The chemical revolution : a contribution to social technology*, London, Batchworth.
- COCHRANE (W.), 1979 — *The development of American agriculture : a historical analysis*, Minneapolis, University of Minnesota Press.
- COHENDET (P.), 1984 — *La chimie en France, innovation, mutations et perspectives*, Paris, Economica.
- COHENDET (P.), 1988 — Progrès technique et micro-économie, *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, INRA, n° 6, pp. 115-138.
- COLOMBO (V.), 1980 — A viewpoint on innovation and the chemical industry, *Research Policy*, Vol. 9, pp. 204-231.
- COLOMBO (V.), 1982 — Recherche, innovation et renouveau de l'industrie chimique, *Futuribles*, n° 60, novembre, pp. 31-40.
- COOKE (G.W.), 1981 — *Agricultural research 1931-1981. A history of the Agricultural Research Council and a review of development in agricultural science during the last 50 years*, London, Agricultural Research Council.
- COPP (J.), 1983 — *Agricultural mechanization : physical and societal effects and implications for policy development*, Ames (Iowa), Council for Agricultural Science and Technology, Report n° 96.
- CPE, 1986 — Rapport sur l'état de la technique. La révolution de l'intelligence, *Sciences et Techniques*, n° hors-série.
- DAFSA, 1985 — *Industrie européenne des engrais*, Paris.

- DANIEL (P.), 1985 — *Breaking the land. The transformation of cotton, tobacco and rice culture since 1880*, Chicago, University of Illinois Press.
- DAVID (P.A.), 1975 — *Technical choice and economic growth. Essays on American and British experiences in the nineteenth century*, Cambridge, Cambridge University Press.
- DAVID (P.A.), 1983 — *The reaper and the robot: the diffusion of micro electronic-based process innovation in historical perspectives*, Stanford University Center for Economic Policy Research.
- DAVID (P.A.), 1986 — La moissonneuse et le robot, in J.J. SALOMON, G. SCHMEDER, *Les enjeux du changement technologique*, Paris, CPE-Economica.
- DAVIS (L.N.), 1985 — *The corporate alchemists*, London, Temple Smith.
- DERRY (T.K.), WILLIAMS (T.I.), 1961 — *A short history of technology, from the earliest times to A.D. 1900*, New York, Oxford University Press.
- DRACHE (H.M.), 1977 — Thomas D. Campbell, the plow of the plains, *Agricultural History*, vol. 51, n° 1, pp. 78-91.
- DRUCKER (P.F.), 1985 — *Innovation and entrepreneurship: practice and principles*, London, Pan Books.
- ENGELBERT (E.A.), SCHEURING (A.F.), 1982 — *Competition for California water: alternative resolutions*, Berkeley, California Water Resources Center.
- FAUCHER (D.), 1954 — *Le paysan et la machine*, Paris, Les Editions de Minuit.
- FITE (G.), 1981 — *American farmers: the new minority*, Bloomington (Indiana), Indiana University Press.
- FORD (H.), 1926 — *To-day and to-morrow*, New York, The Associated Bookbuyers Company.
- FOSTER (R.N.), 1986 — *Innovation, the attacker's advantage*, London, Macmillan.
- FOX (N.E.), 1978 — The spread of the threshing machine in Central Southern England, *The Agricultural History Review*, Vol. 26 (1), pp. 26-28.
- FRANSMAN (M.) ed., 1986 — *Machinery and economic development*, London, Macmillan.
- FREEMAN (C.), 1972 — *The economics of industrial innovation*, London, Penguin Books.
- FREEMAN (C.), WALSH (V.), TOWNSEND (J.), 1983 — The determinants of technical change in the chemical industry: demand-pull or technology-push, in F. FROWAN, *Controlling industrial economies*, London, Mac Millan.
- FRIEDLAND (W.H.), BARTON (A.E.), 1978 — *Manufacturing green gold: the conditions and social consequences of lettuce harvest mechanization*, University of California.

- GEISLER (C.G.), TADLOCK (J.C.), HATTERY (M.), JACOBS (H.M.), 1981 — *Sustained agriculture and productivity: equity consequences of alternative agriculture technologies*, Cornell Rural Sociology Bulletin Series, n° 19, février.
- GEORGHIOU (L.), METCALFE (S.), GIBBONS (M.) eds, 1986 — *Post-innovation performance, technological development and competition*, London, Macmillan.
- GERVAIS (M.), JOLLIVET (M.), TAVERNIER (Y.), 1977 — *Histoire de la France rurale*, tome 4: *La fin de la France paysanne, de 1914 à nos jours*, Paris, Le Seuil.
- GEST, 1985 — *Grappes technologiques et stratégies industrielles*, Paris, CPE Etude, n° 57.
- GILLE (B.), 1975 — *Histoire de la métallurgie*, Paris, PUF, Que sais-je ?
- GILLE (B.) ed., 1978 — *Histoire des techniques*, Paris, Gallimard, La Pléiade.
- GILLE (B.), 1978 — *Les ingénieurs de la Renaissance*, Paris, Le Seuil, Point Sciences, (1ère édition 1964).
- GILLE (B.), 1979 — La notion de système technique, essai d'épistémologie technique, *Techniques et Culture*, n° 1, pp. 8-18.
- GOLDBERG (R.), 1957 — *A concept of agribusiness*, Boston, Harvard University Press.
- GRACE (D.R.), PHILIPS (D.C.), 1975 — *Ransomes of Ipswich: a history of the firm and guide to its record*, University of Reading, Institute of Agricultural History.
- GRANTHAM (G.), 1984 — The shifting locus of agricultural innovation in nineteenth century Europe: the case of the agricultural experiment stations, *Research in Economic History*, supplément n° 3, pp. 191-214.
- GRIGG (D.), 1982 — *The dynamics of agricultural change: the historical experience*, New-York, St. Martins Press.
- GRILICHES (Z.), 1957 — Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change, *Econometrica*, Vol. 25, n° 4, octobre, pp. 501-522.
- GRILICHES (Z.), 1960 — Hybrid corn and the economics of innovation, *Science*, Vol. 132, n° 3422, 29 juillet, pp. 275-280.
- GRILICHES (Z.), 1986 — Productivity, R & D and basic research at the firm level in the 1970's, *American Economic Review*, vol. 76, n° 1, mars, pp. 141-154.
- HABBAKUK (H.J.), 1962 — *American and British technology in the nineteenth century, the search of labour-saving inventions*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HABER (L.F.), 1958 — *The chemical industry during the nineteenth century*, London, Oxford University Press.
- HABER (L.F.), 1971 — *The chemical industry, 1900-1930: International growth and technological change*, Oxford, Clarendon Press.

- HAYAMI (Y.), RUTTAN (V.W.), 1971 — *Agricultural development : an international perspective*, Baltimore, The Johns Hopkins Press.
- HAYS (S.P.), 1957 — *The response to industrialism, 1885-1914*, Chicago, University of Chicago Press.
- HEADY (E.O.), 1962 — *Agricultural policy under economic development*, Ames, Iowa State University Press.
- HÉRAUD (J.A.), LEDOUX (M.J.), 1982 — Chimie et reconversion énergétique : le charbon et les autres ressources, *Futuribles*, n° 60, novembre, pp. 73-82.
- HOBBSAWM (E.J.), 1968 — *The Pelican economic history of Britain*, vol. 3, *From 1750 to the present day. Industry and Empire*, London, Pelican. Trad. fr. *Histoire économique et sociale de la Grande-Bretagne*, tome 2, *De la révolution industrielle à nos jours*, Paris, Le Seuil, 1977.
- HOHENBERG (P.), 1967 — *Chemicals in Western Europe, 1850-1914*, Chicago, Rand Mac Nally and Co..
- HOLBROOK (S.H.), 1955 — *Machines of plenty. Pioneering on American agriculture*, New-York, The Macmillan Co.
- HOUNSHELL (D.A.), 1981 — *Mass production and consumption in the United States, 1850-1930*, Workshop on the new perspectives in the history, British Society for the History of Science, 27-29 mars, Manchester.
- HOUNSHELL (D.A.), 1984 — *From the American system to mass production, 1800-1932. The development of manufacturing technology in the United States*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- HOWARD (F.), GREGOR (M.), 1982 — *Industrialization of US agriculture : an interpretative analysis*, Boulder, Westview Press.
- HUTCHINSON (W.T.), 1935 — *Cyrus Hall McCormick, 1856-1884*, New York, D. Appleton Century Company.
- JOLY (P.B.), DUCOS (C.), 1986 — *Structures et stratégies de l'industrie des semences face à l'innovation biotechnologique*, Paris, Ministère de l'Agriculture, GNIS.
- JONES (E.L.), 1974 — *Agriculture and the Industrial Revolution*, Oxford, Blackwell.
- JONES (E.L.), 1975 — *The development of English agriculture, 1815-1875*, Studies in Economic and Social History, London.
- KANTER (R.M.), 1983 — *The change masters. Corporate entrepreneurs at work*, London, Counterpoint.
- KING (A.C.), 1985 — *The Fordson tractor, an advertising history*, Dearborn, Ford Motor Company.
- KLOPPENBURG (J.), 1985 — *First the seed : a social history of plant breeding and the seed industry in the United States*, Ph. D., University of Wisconsin.

- KLOPPENBURG (J.), KLEINMAN (D.L.), 1987 — Seeds of struggle : the geopolitics of genetics, *Resources Technology*, février-mars.
- KOHLMEYER (F.W.), HERUM (F.L.), 1961 — Science and engineering in agriculture : a historical perspective, *Technology and Culture*, Vol. 2, pp. 368-379.
- KRANZBERG (M.), PURSELL (C.W.), eds., 1967 — *Technology in Western civilization*, 2 vol., New York, Oxford University Press.
- LACROIX (A.), 1981 — *Transformation du procès de travail agricole. Incidences de l'industrialisation sur les conditions de travail paysannes*, Grenoble, INRA-IREP/D.
- LAMER (M.), 1957 — *The world fertilizer economy*, Stanford, Stanford University Press.
- LANDES (D.), 1975 — *L'Europe technicienne ou le Prométhée libéré. Révolution technique et libre essor industriel en Europe occidentale de 1750 à nos jours*, Paris, Gallimard.
- LANE (M.R.), 1980 — *The story of the steam plough works : Fowlers of Leeds*, London, Northgate Publishing.
- LANGRISH (J.), GIBBONS (M.) eds., 1972 — *Wealth from knowledge. A study of innovation in industry*, London, Macmillan.
- LAURENT (C.), 1986 — Le froid, auxiliaire déterminant de conservation des aliments, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 258-271.
- LEICESTER (H.M.), 1956 — *The historical background of chemistry*, New York, J. Wiley.
- MACKENZIE (D.), WAJCMAN (J.), eds., 1985 — *The social shaping of technology*, Milton Keynes, The Open University Press.
- MALASSIS (L.), 1973 — *Economie agro-alimentaire*, tome 1, Paris, Cujas.
- MEIJ (J.L.), 1960 — *Mechanization in agriculture*, Chicago, Quadrangle.
- MINGAY (G.E.), ed., 1977 — *The Agricultural Revolution : changes in agriculture, 1650-1880*, Documents in Economic History, London, A. and C. Black.
- MONTALESCOT (J.B.), 1986 — La récolte du lait : de la mécanisation à l'informatisation, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 196-211.
- MORGAN (D.H.), 1975 — The place of harvesting in nineteenth century village life, in R. SAMUEL ed., *Village life and labour*, London, Routledge and Kegan Paul.
- MORGAN (D.H.), 1982 — *Harvesters and harvesting, 1840-1900. A study of the rural proletariat*, Beckenham (Kent), Croom Helm.
- MORISHIMA (M.), 1986 — *Capitalisme et confucianisme : l'éthique japonaise et la technologie occidentale*, Paris, Flammarion.
- MOUNIER (A.), 1969 — *Le complexe agro-industriel dans le capitalisme contemporain*, Grenoble, IREP.

- MUSSON (A.E.), ROBINSON (E.), 1969 — *Science and technology in the Industrial Revolution*, Manchester, Manchester University Press.
- MUTCH (A.), 1981 — The mechanization of the harvest in South-West Lancashire, 1850-1914, *The Agricultural History Review*, Vol. 29 (2), pp. 125-132.
- OCDE, 1979 — *Rapport d'enquête intérimaire sur les engrais et les pesticides*, Paris, mars.
- OTA, 1983 — *Water-related technologies for sustainable agriculture in US arid/semi-arid lands*, Washington (D.C.).
- OTA, 1985 — *Technology, public policy and the changing structure of American agriculture*, Washington (D.C.).
- OZANNE (R.), 1967 — *A century of labor management relations at McCormick and International Harvester*, Madison, The University of Wisconsin Press.
- PARKER (W.D.), 1972 — Agriculture in American economic growth: an economist's history of the United States, in L.A. DAVIS, *History of the United States*, New York, Harper.
- PARTRIDGE (M.), 1973 — *Farm tools through the ages*, Reading, Osprey.
- PASSET (R.), 1979 — *L'économie et le vivant*, Paris, Payot.
- PERRIN (J.), 1977 — L'ingénierie chimique et le dynamisme des relations inter-industrielles en France et en RFA, *Génie Industriel*, juin, pp. 15-22.
- PETERSON (W.), KISLEV (Y.), 1981 — The cotton harvester in retrospect: labor displacement or replacement, *The Journal of Economic History*, Vol. 46, n° 1, mars, pp. 199-212.
- PICKERING (E.C.), 1974 — *The International Harvester Company in Russia: a case study of a foreign corporation in Russia from the 1860's to the 1930's*, Ph. D., Princeton University.
- POITOUT (S.J.), LECLANT (F.), 1986 — Progrès en protection des plantes cultivées et évolution sociale et industrielle aux XIX et XXèmes siècles, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 160-175.
- PORTER (M.E.), 1980 — *Competitive strategy, techniques for analyzing industries and competitors*, New York, The Free Press. Trad. fr. *Choix stratégiques et concurrence: techniques d'analyse des secteurs et de la concurrence dans l'industrie*, Paris, Economica, 1986.
- QUAINTANCE (H.W.), 1904 — *The influence of farm machinery on production and labor*, New York American Economic Association, 3rd series, n° 4, novembre.
- RASMUSSEN (W.D.), 1967 — *Scientific agriculture*, in KRANZBERG et PURSELL, vol. 2.
- READER (W.J.), 1985 — *Imperial Chemical Industries, a history*, London, Oxford University Press.

- REBOUL (C.), 1986 — Particularités culturelles de la connaissance agronomique, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 108-111.
- REINGOLD (N.), 1979 — *The science in the American context : new perspectives*, Washington, Smithsonian Institution Press.
- REUBEN (G.G.), BUNSTALL (M.L.), 1973 — *The chemical economy*, London, Longman.
- RIVES (M.), 1986 — Amélioration des plantes, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 122-131.
- ROGIN (L.), 1931 — *The introduction of farm machinery in its relation to the productivity of labor in the agriculture of the US during the nineteenth century*, Berkeley, University of California Press.
- ROSENBERG (C.F.), 1961 — *No other gods : on science and American thought*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- ROSENBERG (N.), 1969 — The direction of technical change : inducement mechanism and focusing devices, *Economic Development and Cultural Change*, n° 18, octobre, pp. 1-24.
- ROSSITER (B.W.), 1986 — Chemical research applied to world needs, in A. HAMENDE, *South-South and South-North cooperation in science*, Singapore, World Scientific Publishing Co.
- ROTHWELL (R.), GARDINER (P.), 1984 — Design and competition in engineering, *Long Range Planning*, Vol. 7, n° 3, pp. 78-91.
- SAHAL (D.), 1981 — The farm tractor and the nature of technological innovation, *Research Policy*, Vol. 10, n° 4, octobre, pp. 368-402.
- SAHAL (D.), 1981 — *Patterns of technological innovation*, Reading (Mass.), Addison Wesley Publishing Co.
- SALOMON (J.J.), 1986 — *Le Gaulois, le cow-boy et le samouraï, Rapport sur la politique française de technologie*, Paris, CPE-Economica.
- SCHMITZ (A.), SECKLER (D.), 1970 — Mechanized agriculture and social welfare : the case of the tomato harvester, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 52, n° 4, pp. 569-577.
- SCHMOOKLER (J.), 1966 — *Invention and economic growth*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- SCHUMPETER (J.A.), 1961 — *The theory of economic development, an inquiry into profit, capital, credit, interest and the business cycle*, New York, Oxford University Press, (1st edition 1912).
- SCHUMPETER (J.A.), 1939 — *Business cycles, a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*, New York, McGraw Hill.
- SCORRAILLE (G. de), 1986 — La fertilisation d'hier à aujourd'hui : connaissances et pratiques, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 78-85.
- SCOTT (R.W.), 1970 — *The reluctant farmer. The rise of agricultural extension to 1914*, Chicago, University of Illinois Press.

- SÉVILA (F.), 1986 — La culture de la vigne : de la mécanisation à la robotisation, *Culture Technique*, n° 16, juillet, pp. 145-159.
- SHANNON (F.A.), 1973 — The farmer's last frontier, agriculture, 1860-1897, White Plains (N.Y.), M.E. Sharp, rééd. (1ère éd. 1945).
- SHEAIL (J.), 1976 — Land improvement and reclamation : the experiences of the first World War in England and Wales, *The Agricultural History Review*, Vol. 24 (2), pp. 110-125.
- SIMONDON (G.), 1969 — *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier.
- SPRU, 1971 — *Report on Project SAPPHO*, Brighton, University of Sussex.
- SPRU, 1972 — *Success and failure in industrial innovation*, London, Centre for the Study of Industrial Innovation.
- STEWART (R.F.), 1979 — *Seven decades that changed America : a history of the American Society of Agricultural Engineers, 1907-1977*, Washington, ASAE.
- TAYLOR (G.D.), SUDNIK (P.E.), 1984 — *Dupont and the international chemical industry*, Boston, Twayne Publishers.
- TEMIN (P.), 1975 — *Causal factors in American economic growth in the nineteenth century*, Studies in Economic and Social History, London.
- THIRSK (J.), 1975 — *England's agricultural regions and agrarian history, 1500-1750*, Studies in Economic and Social History, London.
- THIRTLE (C.G.), RUTTAN (V.W.), 1986 — *The role of demand and supply in the generation and diffusion of technical change*, Economic Development Center, Minneapolis, University of Minnesota, Bulletin n° 86-5, septembre.
- THOMPSON (Q.E.), SCHEURING (A.), 1977 — *From lug boxes to electronics : a study of California tomato growers and sorting crews*, Mawgraph n° 3, California agricultural policy seminar, Department of applied behavioral sciences, Davis, University of California.
- THRING (M.W.), 1980 — *The engineer's conscience*, London, Northgate.
- TRACTEURS ET MACHINES AGRICOLES, 1967 — *Vingt ans d'évolution des techniques du machinisme agricole 1947-1967*, n° spécial, printemps.
- TROFIMOFF (C.), 1982 — Introduction des technologies de l'information dans les processus de l'industrie chimique, *Futuribles*, n° 60, novembre, pp. 73-82.
- TUSHMAN (M.L.), MOORE (W.L.) eds., 1982 — *Readings in the management of innovation*, London, Pillman.
- TYLER (C.), HAINING (J.), 1970 — *Ploughing by steam. A history of steam cultivation over the years*, Hemel Hempstead, Model & Allied.
- UNITED NATIONS, 1977 — *The raw materials requirements of the chemical industry*, Economic and Social Council, Commission for Europe, Chemical Industry Committee, 31 mars.

- USDA, 1940 — *Technology on the farm*. A special report by an interbureau committee and the Bureau of Agricultural Economics, Washington, US Department of Agriculture, août.
- USHER (P.), 1954 — *A history of mechanical invention*, 2nd ed., Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- VAN RIEMSDIJK (J.T.), BROWN (K.), 1980 — *The pictorial history of steam power*, London, Galley.
- WADE (W.W.), 1981 — *Institutional determinants of technical change and agricultural productivity growth, Denmark, France and Great Britain, 1870-1965*, New-York, Arno Press.
- WALSH (V.), 1984 — Invention and innovation in the chemical industry : demand-pull or discovery-push, *Research Policy*, Vol. 13, pp. 211-234.
- WEBER (E.), 1983 — *La fin des terroirs. La modernisation de la France rurale, 1870-1914*, Paris, Fayard.
- WEBER (E.), 1986 — *Fin de siècle, la France à la fin du XIXème siècle*, Paris, Fayard, 1986.
- WHITE (L.), 1978 — *Medieval technology and social change*, New York, Oxford University Press.
- WIK (R.M.), 1967 — Mechanization of the American farm, in M. KRANZBERG & C.W. PURSELL, Vol. 2.
- WILLIAMS (T.I.), 1982 — *A short history of twentieth century technology, 1900-1950*, Oxford, Oxford University Press & Clarendon.
- WISER (V.), 1976 — *Two centuries of American agriculture*, Washington, Agricultural History Society.
- WOODBURY (R.S.), 1972 — *Studies in the history of machine tools*, Cambridge (Mass.), The MIT Press.
- WORLD BANK, 1985 — *Proceedings of the fifth agriculture sector symposium*, Washington (D.C.).
- WRIGHT (G.), 1964 — *Rural Revolution in France*, Stanford, University Press. Trad. fr. *La révolution rurale en France. Histoire politique de la paysannerie au XXème siècle*, Paris, L'Epi, 1967.
- WRIGHT (P.A.), 1967 — *Old farm tractors*, London, David & Charles.
- ZELDIN (T.), 1970 — *Conflicts in French society : anticlericalism, education and morals in the 19th century : essays*, London, G. Allen & Unwin.