



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 nouvelles technologies en agriculture

Une approche technique et économique

*S. BONNY
P. DAUCÉ*

Avec le développement des biotechnologies et des nouvelles technologies de l'information (informatique, télématique, automatismes, etc.), une vague de techniques nouvelles semble devoir toucher à court et moyen terme le secteur agricole. En cette période de changement rapide, il paraît nécessaire d'analyser les caractéristiques du processus d'innovation en agriculture, et surtout d'étudier de façon plus approfondie les nouveautés techniques en train de se diffuser aujourd'hui ou susceptibles de le faire dans les années à venir : quels en sont les déterminants ? Quelles peuvent en être les implications pour le secteur de la production agricole ? ⁽¹⁾

Paradoxalement, les travaux sur ce thème ne sont pas très nombreux. Conduire une analyse économique du changement technique en agriculture, c'est-à-dire s'interroger sur les causes, les modalités et les conséquences des modifications de la combinaison productive liées à des innovations de produits ou de procédés, ne semble en effet pas très aisé.

D'une part, l'économie comme science reste encore largement dépourvue devant cette question. Les approches micro-économiques, par exemple, éprouvent beaucoup de difficultés à dépasser le stade d'une comparaison à différentes périodes d'états technologiques différents. Les raisons en sont nombreuses ⁽²⁾ : ce n'est que tardivement que la théorie néo-classique, qui s'est élaborée sur la base d'une stabilité de la technique, s'est intéressée à la dynamique économique et plus encore au changement technique ; les connaissances scientifiques et techniques des économistes demeurent en général limitées ; les données fiables sont relativement rares et, enfin, le sujet est complexe. Cependant, depuis une dizaine d'années on observe un net regain d'intérêt pour l'analyse du changement technique, y compris plus récemment dans la sphère agro-alimentaire, mais très peu de ces travaux se sont intéressés à l'agriculture elle-même ⁽³⁾, ce que nous avons tenté ici.

D'autre part, comparés à ceux de l'industrie, les processus de genèse et d'adoption des innovations en agriculture présentent des traits particuliers

⁽¹⁾ Nous remercions J. Bonnemaire, E. Montaigne, D. Picard, M. Sébillotte et l'autre "referee" pour leurs remarques sur la première version du texte, ainsi que tous les collègues que nous avons rencontrés lors de nos entretiens en 1986-87.

⁽²⁾ Sur ce point, on reprend les interprétations de G. Schméder (*in* Salomon, Schméder, 1986). Voir aussi Parent (*in* Gille, 1978) et Dosi (1988).

⁽³⁾ Ainsi l'appel d'offre CNRS-ministère de la Recherche-INRA programmé sur la période 1986-1989 portait sur "les changements techniques dans les industries liées à l'agriculture", mais pas dans ce dernier secteur lui-même... Certains économistes ont toutefois abordé le changement technique en agriculture à l'occasion d'autres travaux, ainsi par exemple :

- les analyses historiques et comparatives des mécanismes du développement de l'agriculture qui ont débouché notamment sur la théorie des innovations induites (Hayami et Ruttan, 1985) ;
- les analyses globales de la croissance et de la productivité qui visent à mesurer l'effet propre du progrès technique et à mettre en évidence son influence sur l'utilisation relative des différents facteurs de production (Bonnieux, 1986) ;
- les analyses "industrialo-centristes" qui renvoient l'interprétation des transformations techniques du secteur agricole aux changements qui se produisent dans les industries liées à l'agriculture (Byé, 1988 ; Byé, Chanaron, Perrin, 1989) ;
- les analyses systémiques qui mettent en avant les cohérences des systèmes techniques et économiques, les conditions de leur émergence et de leur rupture au cours du temps (Gaillard, 1986) ;
- les approches centrées sur les enjeux et les stratégies dans le processus de genèse et de diffusion des innovations dans un secteur donné (Montaigne, 1988)
- des essais d'inventaire prospectif des innovations susceptibles de se diffuser à moyen terme (Laurent, 1983).

liés aux spécificités structurelles de ce secteur : nombreuses unités de petite dimension, caractère familial de la production, travail sur le vivant avec aléas climatiques, forte variabilité inter-entreprises du fait de la diversité des conditions naturelles et des dotations initiales en facteurs de production. Aussi les outils généraux de l'analyse économique du changement technique, élaborés pour la plupart autour des grands secteurs industriels, doivent être adaptés pour leur application au secteur agricole.

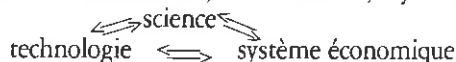
Sans ignorer les déterminants généraux auxquels se trouve soumise la dynamique du changement technique, la démarche adoptée dans ce texte se veut d'abord une présentation des innovations actuelles ou potentielles concernant le secteur agricole, mais replacée dans un schéma général d'analyse du processus d'innovation en agriculture, dont nous allons rappeler quelques définitions et lignes directrices.

De la nécessité d'une analyse des innovations comme éléments d'un système

Les innovations sont souvent liées entre elles : une nouvelle variété exige plus (ou moins) d'engrais et de traitements ; un nouveau produit chimique peut modifier les besoins en matériel et en travail (l'apparition des herbicides a ainsi supprimé le sarclage) ; la machine à vendanger ou la taille automatique requièrent un mode de conduite spécifique des plantations. De ce fait, une approche en termes de système est largement utilisée depuis longtemps par ceux qui étudient le fonctionnement des exploitations et l'insertion d'une technique dans le système de production et le système famille — exploitation (cf. par exemple, Chombart de Lauwe, Poitevin, Tirel, 1963 ; le concept d'itinéraire technique de M. Sébillotte (1974) ; les travaux de la chaire d'agronomie de l'INA-PG et du département "systèmes agraires et développement" de l'INRA). Les innovations qui se diffusent à l'heure actuelle n'échappent pas à la nécessité d'une telle approche (Meynard, Sébillotte, 1989 ; Jullian, 1989). Celle-ci a été conceptualisée pour l'ensemble des secteurs par le terme de **système technique** de B. Gille (1978) : "En règle très générale, toutes les techniques sont, à des degrés divers, dépendantes les unes des autres, et il faut nécessairement entre elles une certaine cohérence : cet ensemble de cohérences aux différents niveaux de toutes les structures de tous les ensembles et de toutes les filières compose ce que l'on peut appeler un système technique".

J. Perrin (1988) souligne toutefois certaines limites de l'approche de B. Gille ; elle autonomise trop la technique : les relations entre les techniques sont aussi la conséquence des rapports sociaux que les hommes tissent entre eux, avec la matière et avec leur environnement, par l'intermédiaire des techniques. En fait, il s'agit d'analyser non seulement les techniques en tant que système mais de les replacer dans le cadre d'un autre système plus large, les relations entre science, technologie et société. S'agissant par exemple de la genèse des innovations, ce schéma d'analyse systémique s'oppose à la vision linéaire descendante science → technique → système économique (approche "*science (ou technology) push*" de Comanor) : il faut également considérer la science et la technologie comme un produit social et

prendre en compte le rôle de la demande dans la production des innovations (cf. la "*demand pull*" de Schmookler). En définitive, il y a interaction :



où tous les éléments jouent les uns sur les autres de façon multiple et itérative, et ce à différents niveaux : micro, méso et macro-économique. Mais, généralement, les auteurs centrent l'analyse sur un segment limité du système et privilégient telle interaction ou tel niveau d'observation ⁽⁴⁾. C'est ce que nous avons adopté comme démarche en considérant les conséquences des nouvelles technologies pour l'agriculture, tout en sachant qu'elles font partie d'un ensemble plus vaste d'interactions.

Innovations techniques et paradigmes technico-économiques

Depuis une dizaine d'années, un certain nombre d'économistes ont poussé plus en avant l'analyse de Schumpeter sur les "vagues de destruction créatrice". Plusieurs ont exprimé l'idée qu'il existe au départ une technologie générique appelée à se diffuser dans de nombreux secteurs de l'économie en y engendrant d'autres innovations. C'est le concept de trajectoire technologique de Nelson et Winter, de grappes technologiques et de paradigme technologique de Dosi (1982). Ce dernier a introduit cette notion par analogie avec celle de paradigme scientifique de Kuhn ; il définit un paradigme technologique comme un ensemble de solutions, un modèle de résolution, à des problèmes technologiques spécifiques, reposant sur des principes scientifiques et des technologies sélectionnés. C. Perez (1983) a élargi l'approche par le concept de régime technologique ou de paradigme technico-économique qui a été repris par C. Freeman (Freeman *in* Salomon, Schméder, 1986, pp. 96-98 ; Freeman, *in* Heertje 1988, pp. 47 *sq* ; Freeman, Perez *in* Dosi *et al.* 1988, pp. 47 *sq*). Pour suivre la présentation de Le Bas (1989), on peut dire que le paradigme technico-économique lie plusieurs micro-paradigmes technologiques complémentaires ; par ailleurs, il prend en compte non seulement les produits et les techniques, mais aussi la structure des coûts, les facteurs de répartition, les prix relatifs.

Comme l'histoire industrielle, l'histoire de l'agriculture ne peut-elle pas être lue à travers la succession au cours du temps de paradigmes technico-économiques ? C'est en tout cas l'hypothèse que nous adoptons, les biotechnologies et les nouvelles technologies de l'information pouvant correspondre à l'émergence d'un nouveau paradigme ou, selon une formulation plus traditionnelle en économie rurale, à une troisième révolution technique en agriculture ⁽⁵⁾.

⁽⁴⁾ Il faut privilégier une approche en termes de système mais, pour être opératoire, on est contraint de décomposer l'étude des différents éléments du système.

⁽⁵⁾ A la suite de Marc Bloch et d'Augé-Laribé, on désigne par révolution agricole les grands bouleversements de la technique agricole et des systèmes agraires. M. Mazoyer distingue deux révolutions agricoles :

— la première au 18^e siècle est caractérisée d'un point de vue technique par la mise en culture des terres incultes et le développement massif des cultures fourragères (suppression de la jachère) ;
— la deuxième au 20^e siècle est caractérisée par la mécanisation et la motorisation, l'emploi de produits chimiques et l'utilisation d'un matériel génétique fortement amélioré (cf. Mazoyer, 1982, p. 26). P. Bairoch distingue lui trois révolutions techniques agricoles car il dédouble la précédente en deux phases : celle de la fin du 19^e siècle (mécanisation, premiers engrais) et celle du 20^e siècle (motorisation, autres produits chimiques, etc).

Nous avons repris la périodisation de Mazoyer. Notons que P. Bairoch signale l'amorce d'une autre révolution agricole avec les manipulations génétiques et espère qu'il y aura évolution "vers une agriculture plus qualitative et plus respectueuse du paysage et de l'environnement" (Bairoch, 1989).

Du paradigme technologique au modèle technique

Les manières de produire en agriculture peuvent être très diversifiées mais, par delà cette diversité, on peut chercher à repérer des invariants : c'est la notion de **modèle technique**. Il s'agit d'une représentation simplifiée, théorique — idéal-typique au sens wébérien — d'un ensemble de techniques liées entre elles et présentant certaines caractéristiques. Comme le dit G.G. Granger (1984), ce qui importe dans le modèle c'est sa fonction de schématisation ; le but n'est pas de reproduire le phénomène mais de le représenter. D'un point de vue sémantique, en français, les notions de paradigme et de modèle sont en fait proches.

Le modèle technique dominant est celui qui s'impose dans le système économique dominant (on rejoint là les interactions entre science, technologie et société). Ainsi celui qui a prévalu en agriculture pendant les Trente Glorieuses se caractérise par la mise en œuvre de technologies liées entre elles (motorisation, "chimisation", améliorations génétiques, etc.) et par certains traits spécifiques des manières de produire : intensification en capital, spécialisation des exploitations, développement des échanges, etc.

Pour un secteur dominé comme l'agriculture, le modèle technique dominant est diffusé non seulement par le biais des fournisseurs de biens et services, mais plus généralement par le canal de l'appareil de développement. Il constitue la norme implicite qui oriente les pratiques des agriculteurs sur la base d'un paradigme technico-économique. Un certain glissement s'opère alors dans la signification du terme vers celle de modèle à imiter, c'est-à-dire ici d'impératif technique et d'idéal social à atteindre (cf. Rémy, 1982, pp. 33-38). C'est ce sens — en plus du précédent — que retiennent par exemple Labouesse (1987) et Bardini (1989) : "Conçu comme une représentation d'ensemble de l'exploitation moderne et efficace, le modèle technique décrit un idéal de cohérence entre les différentes pratiques innovantes qu'il met en jeu" (Bardini, p. 19). Mais pour notre part nous en resterons essentiellement à la définition première. Quant aux notions de modèle de développement et de modèle de production, elles prennent en considération les aspects socio-économiques en sus des techniques (cf. Bonny *in* GESADAR, 1984).

*

Au total, on a cherché ici d'abord à rappeler quelles sont les caractéristiques principales des innovations ⁽⁶⁾ qui touchent l'agriculture, en prenant appui sur les changements techniques qui se sont produits durant les quarante dernières années ; puis on a cherché à spécifier quelles étaient les nouveautés techniques en train de se diffuser aujourd'hui ou susceptibles de le faire dans les années à venir ; on a enfin tenté de montrer en quoi elles se différencient des précédentes, à quelles logiques elles répondent, quelles peuvent en être les conséquences pour le secteur agricole.

(6) On n'a pas distingué rigoureusement dans ce travail l'invention résultant de l'avancée des sciences et techniques au niveau du laboratoire, de l'innovation qui est sa traduction en termes de produits ou de procédés — même si c'est plutôt cette dernière qui est traitée — car cette distinction n'était pas très utile ici.

Pour ce faire on s'est en particulier appuyé sur un inventaire des principales nouvelles technologies et de leurs applications potentielles, élaboré à partir d'entretiens avec des scientifiques de la recherche agronomique (Bonny, Daucé, 1987). Il faut y ajouter le suivi de la littérature en ce domaine, la participation aux réflexions du X^e Plan sur l'avenir de l'agriculture (Grémillet, Thomas *et al.*, 1988) et l'organisation d'un colloque sur l'impact des nouvelles technologies dans l'agriculture et l'agro-alimentaire (Bonny, Roubaud, 1989).

Notre approche peut être qualifiée d'économique et de technique en ce sens qu'elle prend en compte le contenu technique des innovations passées ou à venir et qu'elle vise également à faire apparaître certains des déterminants économiques qui sont à l'œuvre dans leur genèse et leur adoption et à en étudier les conséquences possibles sur l'activité de production agricole. En revanche, elle n'a pas pour objectif d'analyser de façon spécifique les forces sociales en présence ni l'influence de leurs stratégies respectives sur l'orientation du progrès technique (sur ces derniers points, on consultera par exemple Byé, 1987 et 1988 et Rosier, Berlan, 1989). On n'a pas non plus étudié les mécanismes de mise en place d'un nouveau modèle technique, les conditions d'adoption des innovations ni leur traduction dans les exploitations, c'est-à-dire l'évolution des pratiques agricoles (Landais, Deffontaines, 1988) car le stade de développement des technologies étudiées ne le permet guère encore et ce thème constituerait à lui seul un autre vaste champ d'investigation (pour une première réflexion sur ce point, cf. Meynard, Sébillotte, 1989).

Il s'est donc agi essentiellement d'essayer d'analyser la nature, les potentialités et les implications techniques et économiques des innovations qui se diffusent actuellement en agriculture ou sont susceptibles de le faire dans les prochaines années et d'appréhender de quel modèle technique elles peuvent être porteuses, l'hypothèse centrale étant que biotechnologies et nouvelles technologies de l'information peuvent correspondre à une troisième révolution technique en agriculture et à un nouveau paradigme.

CARACTÉRISTIQUES DES INNOVATIONS EN AGRICULTURE

LES TYPES D'INNOVATION

On distingue classiquement depuis Schumpeter les innovations de produits, les innovations de procédés et les innovations d'organisation, ces deux dernières étant liées.

En matière d'innovations de produits, à l'échelle de l'exploitation, nombreux sont les agriculteurs qui introduisent de nouvelles productions animales ou végétales : sur les quinze dernières années on a noté ainsi une forte progression de certains oléagineux et protéagineux : colza, tournesol, soja, pois, etc. Mais à l'échelle du secteur agricole dans son ensemble assez peu de produits nouveaux sont apparus dans les deux dernières décennies et ils ont concerné souvent des productions marginales : kiwis, nashis, pleurotes, triticales, etc. Les innovations les plus fréquentes concernent en fait le recours à

des variétés nouvelles de végétaux déjà cultivés. Dans les cinq ou dix années à venir, il en sera sans doute de même : peu de produits agricoles réellement nouveaux sont attendus, même si l'on cherche toujours à acclimater en France des fruits ou légumes d'autres continents ou à domestiquer de nouvelles espèces animales (le cerf par exemple) ; toutefois de nouveaux types d'animaux ou de végétaux devraient apparaître, essentiellement des variétés ou des races modifiées génétiquement (plantes résistantes à certaines maladies, animaux transgéniques, œufs sans cholestérol, etc.). Il faut rappeler que les innovations de produits, éléments essentiels des stratégies commerciales, sont à l'inverse très fréquentes dans les industries agro-alimentaires ; certains auteurs considèrent même que seules les innovations dans ce secteur sont à prendre en considération dans la chaîne agro-alimentaire car ce sont elles qui atteignent le consommateur final (Mainié, 1967).

Les **innovations de procédés** sont par contre fréquentes en agriculture, qu'il s'agisse de la conduite des cultures ou de celle des élevages. Elles sont véhiculées par — ou du moins vont de pair avec — de nouveaux intrants, services et équipements. Depuis 1945, elles ont surtout concerné quatre grands domaines (si on exclut la mécanisation au sens strict du terme qui s'est répandue en agriculture à partir de la fin du 19^e siècle) : le recours aux énergies fossiles (pour la motorisation et la production de chaleur), l'emploi de produits chimiques issus de l'industrie (engrais, pesticides, additifs), le changement de matériel génétique (semences, races) et l'usage de nouveaux matériaux (plastiques, verres spéciaux pour serres, matériaux de construction des bâtiments d'élevage), ces quatre modernisations caractérisant sur le plan technique la deuxième révolution agricole et ayant été suivies par des innovations moins radicales (simplification des façons culturales, etc.). Certaines sont issues d'inventions apparues dès le début du 20^e siècle : le délai entre l'invention et la diffusion massive de l'innovation dans l'agriculture française a été parfois assez long, ce qui montre bien l'importance des conditions économiques et sociales en matière d'adoption du changement technique.

Les **innovations en matière d'organisation** ont été également importantes durant les quatre dernières décennies : nouvelle répartition des tâches entre exploitations et agro-industries d'amont et d'aval avec le poids croissant de celles-ci, insertion accrue des exploitations dans les échanges, spécialisation et concentration des productions, agrandissement important de la dimension des ateliers notamment dans l'élevage hors-sol, "rationalisation" des pratiques agricoles, etc.

Compte tenu des orientations actuelles de la recherche notamment en ce qui concerne les intrants et malgré les tendances à la diversification des produits, les innovations de procédés et d'organisation ont toutes chances de continuer à représenter le principal type de changement technique en agriculture dans les années à venir et ce d'autant plus que, dans la phase récente de modernisation, les liens entre le secteur de la production et l'agro-fourriture sont devenus particulièrement étroits.

L'AGRICULTURE ET LA PRODUCTION DES INNOVATIONS

Qui produit les innovations qui touchent l'agriculture ? Essentiellement les firmes privées, qui fabriquent semences, engrais, pesticides, matériel, et la

recherche publique. Les expérimentations et le développement sont eux effectués dans ces deux secteurs et aussi dans les instituts techniques et les organismes de développement. La diffusion des innovations se fait, quant à elle, soit par le biais des intrants, des équipements et des services commercialisés par des distributeurs privés ou coopératifs, soit par les conseils de ces derniers, mais aussi des instituts techniques et des organismes de développement agricole.

Depuis plusieurs décennies, la recherche publique joue un rôle croissant dans la production des innovations. L'analyse de la complémentarité ou de la concurrence entre firmes privées et recherche publique mériterait d'être faite. La recherche publique, même appliquée, travaille à un niveau plus fondamental que les firmes. Elle étudie les mécanismes biologiques (physiologie, reproduction, nutrition, etc), à une échelle très fine (cellulaire, génétique, moléculaire) et aussi à une échelle globale : relations climat-sol-plantes, animaux-environnement, fonctionnement des exploitations, etc. Aussi ses travaux peuvent-ils sembler préparer le terrain pour la mise au point par le secteur privé de produits que ce dernier vendra ; les firmes paraissent ainsi tirer profit des avancées de la recherche publique (7).

A l'inverse, les orientations de la recherche agronomique publique peuvent aussi aboutir à une diminution de l'utilisation d'intrants achetés : lutte biologique, fertilisation raisonnée, mise au point de variétés résistantes aux maladies ou aux ravageurs, de souches animales plus efficaces, etc. Les firmes de l'agro-fourriture se trouvent alors dans une situation de porte-à-faux qu'elles tenteront de redresser à leur avantage soit en dressant des contre-feux, soit en intégrant ces nouveautés dans leur propre stratégie, par exemple, en cherchant à produire une variété résistante à un herbicide, ce qui fera vendre cet herbicide avec la nouvelle variété.

Quelle est la position de l'agriculture par rapport à ce secteur de production des innovations ? La littérature économique fait souvent référence aux travaux de Pavitt (1984) distinguant :

- les secteurs dominés où l'innovation est importée des fournisseurs d'équipements et de biens intermédiaires,
- les secteurs à production intensive où l'emportent plutôt les innovations de procédés en général d'origine interne,
- les secteurs à haute technologie basés sur la science.

L'agriculture est alors généralement classée dans le premier secteur avec le textile, le bâtiment et les travaux publics, et les divers "industries et services traditionnels". Certes, avec le développement des biotechnologies une part croissante du changement technique en agriculture provient des avancées de la science et de la technologie, mais cela ne change pas fondamenta-

(7) On notera qu'au début de la deuxième révolution agricole la situation a été un peu différente dans son processus mais non dans son résultat ; la plupart des innovations majeures (tracteurs, engrais, produits chimiques) provenaient des firmes privées ; ainsi pour Rosier et Berlan (1989), la recherche agronomique "n'a joué aucun rôle dans la mise au point des facteurs-clés des grandes vagues technologiques" ; elle "les a adaptés, perfectionnés, intégrés les uns aux autres, articulés en systèmes de production cohérents dans le cadre de la logique micro-économique des agriculteurs. De ce point de vue son rôle fut essentiel".

lement la position dominée de l'agriculture ⁽⁸⁾ et donc la détermination exogène des innovations qui y sont mises en œuvre : la recherche-développement (au sens industriel) ne lui appartient pas mais s'effectue dans les firmes privées et la recherche publique. Quelques innovations sont certes mises au point par des agriculteurs-inventeurs, mais à l'heure actuelle, elles restent en général de portée réduite.

Dans une précédente livraison des *Cahiers*, Byé, Chanaron et Perrin (1989) ont précisément étudié les déterminants de l'innovation en agriculture à travers la littérature sur le machinisme et les engrais ; ils en concluent bien que l'agriculture subit une double dépendance technologique, d'une part, à travers les connaissances scientifiques et techniques utilisées, d'autre part, à travers les firmes mécaniques et chimiques qui transfèrent et adaptent ces connaissances en fonction de l'évolution des contraintes économiques.

LA LOGIQUE ÉCONOMIQUE DES INNOVATIONS DANS LE RÉGIME D'APRÈS-GUERRE

De la Deuxième Guerre mondiale à la fin des années 70, la logique micro-économique des différents types d'innovations a été la recherche de l'augmentation de la production par travailleur ce qui passait presque toujours par l'accroissement de la production par hectare et par animal, eu égard aux petites structures de l'agriculture française. Au niveau global, la productivité de la terre et surtout celle du travail ont nettement augmenté mais avec un recours croissant au capital, aux consommations intermédiaires, à l'énergie dont les productivités ont, elles, décliné. Cette logique d'accroissement de la production par travailleur présente en agriculture certaines spécificités : on cherche en particulier à s'affranchir de plus en plus des conditions naturelles, avec une artificialisation croissante du milieu et du substrat de production (irrigation, drainage, cultures sous serres, désaisonnement et réduction de la phase improductive chez les animaux et végétaux). Les conséquences culturelles en sont importantes : en s'artificialisant et en s'éloignant de la nature, l'agriculture suscite parfois une certaine incompréhension de la part du grand public.

Divers auteurs ont montré qu'un tel processus général qualifié tantôt d'intensification, d'industrialisation ou encore de "productivisme" était en concordance avec les fonctions dévolues à l'agriculture durant les "Trente Glorieuses", notamment son insertion croissante dans le système économique général. De ce point de vue, la substitution du capital (au sens large) au travail a trouvé son origine non seulement dans l'évolution des rapports de prix mais aussi dans un progrès technique biaisé en faveur des équipements et des consommations intermédiaires (Bonnieux, 1986). L'explication de ce biais se trouve formalisée en partie dans la théorie des innovations induites :

(8) Bien sûr la profession agricole, par la voie de ses représentants, peut faire entendre son avis et exercer des pressions sur l'orientation des recherches. Et la recherche publique ou privée déclare fréquemment répondre à la demande des agriculteurs — un des éléments de la "demande sociale" —, par exemple en proposant des innovations qui réduisent les coûts unitaires de production ou diminuent les temps de travaux ; mais cette demande est largement conditionnée par les conditions sociales faites à l'agriculture.

on cherche à économiser le facteur rare et cher, aussi le coût relatif des facteurs de production oriente-t-il le progrès technique (Hayami, Ruttan, 1985).

Si la logique "productiviste" du changement technique a ainsi prévalu jusqu'au milieu des années 1970, à partir de cette période, le contexte économique général change profondément en même temps que se manifestent avec plus d'acuité les contradictions auxquelles aboutit le processus continu d'intensification : apparition d'excédents structurels, atteintes au milieu naturel, disparités sociales et géographiques, etc. Le modèle de développement des trois dernières décennies paraît remis en question (Bonny, 1981).

La question se pose alors de savoir si les innovations techniques vont continuer à se diffuser en agriculture avec la même ampleur et suivant les mêmes tendances ou si, selon la théorie du changement technique induit, elles ne vont pas prendre une orientation différente, tenant compte des nouvelles conditions générales de la production agricole. Déjà, depuis la fin des années 1970, on observe une certaine inflexion en réaction à la crise dans l'utilisation des consommations intermédiaires et du capital en agriculture : on met désormais davantage l'accent sur la réduction des coûts et l'agriculture semble devenue plus efficiente (Bonny, 1987, p. 8). Certes, on manque encore de recul historique pour pouvoir porter une évaluation de long terme mais, par ailleurs, on ne peut ignorer les profonds changements technologiques qui se produisent depuis quelques années en divers domaines de l'activité industrielle. L'agriculture n'échappe pas, par l'intermédiaire de la recherche agromatique et des firmes privées qui l'approvisionnent, à ces bouleversements, sur l'origine desquels on ne s'interrogera pas ici (conséquence du changement de régime économique ou résultat de l'avancée des sciences et de la technologie), mais qui, pour elle, peuvent avoir des implications considérables. Deux domaines la concernent particulièrement : les biotechnologies et les nouvelles technologies de l'information (au sens large).

UN CHANGEMENT DE PARADIGME TECHNOLOGIQUE EN AGRICULTURE ?

UNE NOUVELLE VAGUE D'INNOVATIONS

En agriculture, comme dans l'ensemble des secteurs d'activité commençant à se diffuser des techniques issues d'une nouvelle vague d'innovations (au sens de Schumpeter) : les biotechnologies et les nouvelles technologies de l'information (Bonny, 1986, pp. 433-441 ; OTA, 1986 ; Bonny, Daucé, 1987). Quels vont être leurs effets sur le système économique et comment les appréhender ?

Dans leurs analyses de la dynamique des innovations, Freeman et Perez (*in* Dosi *et al.*, 1988) proposent une classification des innovations en quatre catégories selon l'importance du bouleversement qu'elles entraînent : les innovations progressives, les innovations radicales, les systèmes de nouvelles technologies et les changements de paradigme technico-économique. Pour

ces auteurs, un changement de paradigme technico-économique correspond à une transformation radicale du mode de pensée dominant dans l'ingénierie et le management, applicable à la presque totalité des industries en vue d'une maximisation de la productivité et d'une optimisation des techniques. L'avènement de l'électricité ou de la vapeur sont des exemples de transformation profondes de ce type. Cinq conditions doivent être remplies pour que se produise un changement radical de paradigme technico-économique :

- une nouvelle gamme de produits et de procédés améliorés sur le plan technique ;
- des réductions de coût pour une bonne part de ceux-ci ;
- une acceptabilité sociale et politique ;
- une acceptabilité du point de vue de l'environnement ;
- des effets qui se répandent dans l'ensemble du système économique (OCDE, 1989, pp. 12 et 56-57).

Aujourd'hui, pour Freeman lui-même, les nouvelles technologies de l'information correspondent bien à un nouveau paradigme technico-économique, et les biotechnologies à un nouveau paradigme technologique et à une nouvelle trajectoire naturelle. Ces dernières constituent-elles pour autant un nouveau paradigme technico-économique capable de se diffuser dans l'ensemble de l'économie ? Selon Freeman, cela n'est pas encore très clair, il faut attendre quelques années pour pouvoir le dire. Joly et Zuscovitch de leur côté (1989), se référant à la notion de paradigme technologique de Dosi, considèrent que les biotechnologies sont actuellement dans une phase préparadigmatique. Pour notre part, nous nous en tiendrons à la position de Freeman.

Les biotechnologies constituent un nouveau paradigme technologique car on passe de l'utilisation de la matière inerte (dans la chimie, l'énergie, les matériaux) à celle du monde vivant en agissant et en le modifiant de l'intérieur, voire en le programmant alors qu'auparavant, depuis l'apparition de l'agriculture, on tentait seulement de le domestiquer de l'extérieur. C'est l'idée des bactéries modifiées, esclaves de l'homme, remplaçant les esclaves mécaniques, c'est-à-dire les machines. Les biotechnologies peuvent permettre aussi d'utiliser comme matières premières des produits végétaux au lieu des produits fossiles, la végétalochimie pourrait se substituer à la pétrochimie, ce qui redonnerait un caractère renouvelable aux activités humaines. Certes on n'en est qu'au tout début, le paradigme précédent est encore prédominant, mais il pourrait s'agir du commencement d'un changement de paradigme qui n'advierait pleinement que dans le prochain siècle. Pour l'instant, les biotechnologies ne concernent pas l'ensemble des secteurs de l'économie, mais essentiellement l'agriculture et l'alimentation, la santé, la chimie. Cependant les secteurs en jeu devraient devenir plus nombreux dans le prochain siècle, avec, par exemple, le développement de l'électronique moléculaire (Vaisman, 1989) (9).

(9) Les Polytechniciens ne s'y sont pas trompés : désormais l'enseignement de la biologie fait partie du tronc commun du cursus à l'Ecole polytechnique. "De science purement cognitive (...) la biologie est devenue science opérationnelle, capable, enfin, d'agir sur les propriétés de son objet : la matière vivante. Là est, à mon sens, la fracture qui ne peut plus laisser quiconque, y compris l'Ecole polytechnique, indifférent aux conséquences techniques, économiques et sociales de la biologie en cette fin de siècle" (S. Blanquet, professeur à l'Ecole polytechnique in *La Jaune et la Rouge*, juin-juillet 1988).

En agriculture notamment, en liaison étroite avec ce qui se passe dans l'agro-alimentaire, les biotechnologies constituent potentiellement une rupture importante. N'y a-t-il pas changement de paradigme si l'on compare l'amélioration des plantes ou des animaux par simple croisement de variétés ou de races entre elles ⁽¹⁰⁾, à celle permise par transfert de gène(s) et autres techniques du génie génétique, même si les applications en restent encore limitées, même si une plante ou un animal transgénique est — pour l'instant — en apparence assez semblable à une plante ou un animal issu de la sélection classique, et même si les nouvelles techniques d'amélioration ne rendent pas caducs un certain nombre d'acquis classiques de la sélection ou de l'agronomie ⁽¹¹⁾.

Plus généralement, ce changement de paradigme peut ne pas être perçu parce que le résultat s'inscrit en continuité apparente avec le progrès technique passé. Les biotechnologies créent assez peu de nouveaux produits ou de nouvelles industries (Sautier, 1988) mais elles diffusent en nappe dans un ensemble économique déjà installé en continuité avec le progrès technique des quarante dernières années. Ce sont surtout les procédés de production — généralement en amont de l'agriculture — qui sont modifiés, et, les biotechnologies étant incorporées dans des produits déjà existants, l'utilisateur final n'a souvent pas conscience de les employer (Paillotin, 1989).

Bref les biotechnologies en sont encore à leur tout début, et leurs promoteurs se heurtent à des difficultés techniques et socio-économiques, mais on peut déjà tenter de repérer les possibilités techniques qu'elles offrent en agriculture.

LES POTENTIALITÉS TECHNIQUES DES BIOTECHNOLOGIES EN AGRICULTURE

L'énumération suivante n'est pas exhaustive ; elle répertorie les domaines les plus importants des changements techniques rendus possibles par les biotechnologies.

— **La création d'êtres vivants modifiés** par transfert de gène, hybridation cellulaire, etc. offre de nombreuses perspectives :

. *de nouvelles voies d'amélioration génétique* pour obtenir des variétés résistantes aux maladies, à la sécheresse, au froid voire aux insectes, des variétés plus riches en protéines ou en tel ou tel acide aminé, peut-être même fixant l'azote de l'air, des animaux répondants à divers objectifs, nutritionnels notamment (œufs sans cholestérol, lait sans lactose, etc.).

. *l'utilisation de microorganismes modifiés* comme auxiliaires de production : bactéries antigel, fermentations contrôlées en bioréacteurs, bactériosa-

⁽¹⁰⁾ L'amélioration génétique classique par croisement est naturellement limitée par la barrière de la reproduction sexuée qui n'est possible qu'à l'intérieur d'une même espèce ou entre espèces très proches, alors que le code génétique étant universel, les possibilités des transferts de gènes sont — en théorie — illimitées.

⁽¹¹⁾ En particulier la connaissance fine des processus agissant au niveau moléculaire ne rend pas obsolète ou inutile la connaissance de la plante entière !

tion des cultures pour favoriser leur croissance, utilisation de probiotiques en alimentation animale, etc. Plus généralement, apparaît une tendance à l'utilisation de substances biologiques à la place de produits chimiques ou d'interventions mécaniques. Hors de l'agriculture, notons que l'on utilise déjà des bactéries pour épurer certains métaux tel le cuivre ou dégrader certains déchets polluants de l'industrie chimique.

de nouvelles filières technologiques d'obtention de certains produits. On peut ainsi faire fabriquer des protéines, des hormones ou des produits à forte valeur ajoutée par des micro-organismes ou des glandes d'animaux ou de végétaux modifiés. D'ores et déjà, la somatotropine, l'insuline, l'interféron sont ainsi obtenus par génie génétique en greffant le gène codant pour ces produits dans des bactéries alors qu'autrefois on les extrayait difficilement en sacrifiant un très grand nombre d'animaux. On envisage de faire produire par le lait de brebis transgéniques certaines protéines du sang (facteur IX) extraites actuellement à prix très élevé du plasma sanguin. La firme belge Plant Genetic System a récemment fait produire des substances pharmaceutiques par des graines de colza génétiquement modifiées.

— **La mise au point de nouveaux réactifs, tests de diagnostic, vaccins** grâce aux anticorps monoclonaux, au pouvoir de reconnaissance de forme de certaines molécules biologiques, à de nouvelles méthodes de sélection et de tri (sondes nucléiques, etc.) permet une action beaucoup plus rapide et plus précise. Ainsi on peut effectuer des diagnostics fiables quasi instantanés (présence de virus, gestation), apprécier avec précision la qualité d'un produit agricole ou alimentaire (par analyse de certaines caractéristiques moléculaires), raccourcir les délais de sélection, mettre au point des vaccins synthétiques très purs possédant uniquement le facteur antigénique contre lequel on souhaite vacciner, etc. Cette amélioration considérable des procédés de caractérisation, de tri et de purification a des conséquences importantes pour l'agriculture.

— **L'ingénierie biologique** (i.e. vitro-culture, transfert d'embryon, clonage, génie enzymatique, biologique et industriel) augmente le pouvoir d'utilisation du vivant. En matière de reproduction par exemple : la culture *in vitro* permet de multiplier beaucoup plus rapidement certains végétaux et le transfert d'embryons augmente la descendance des animaux à haut potentiel. En matière de filières de production aussi : le génie industriel est une voie pour obtenir par bioconversion contrôlée de nombreux produits alimentaires ou chimiques. Enfin apparaît la perspective d'une "artificialisation du langage du vivant" (Joly, Zuscovitch, 1989) avec la synthèse de fragments d'ADN voire la fabrication de gènes synthétiques, et l'ingénierie des protéines qui pourra permettre de redessiner logiquement une structure protéique afin d'obtenir une propriété biologique nouvelle (solubilité, activité catalytique, résistance à la chaleur, etc.)

Les biotechnologies correspondent ainsi à de nouvelles techniques d'amélioration génétique, de production, de reproduction, de caractérisation, de diagnostic et de prévention. Il ne s'agit pas bien sûr de tomber dans le mirage technologique. Il existe d'une part des difficultés techniques : ainsi la création de blé fixant l'azote atmosphérique annoncée depuis plus de 10 ans n'a toujours pas vu le jour et n'aboutira pas à court terme en raison de la

multiplicité des gènes commandant cette fonction (dix-sept), ce qui rend le transfert et l'expression difficiles. D'autre part au niveau économique, s'en tenir à une logique de type "*science* (ou *technology*) *push*" est totalement insuffisant. "Il ne suffit pas qu'une connaissance scientifique existe, qu'une technique nouvelle soit disponible pour qu'elle se transforme en innovation, c'est-à-dire pour qu'elle passe du stade du laboratoire à celui de la production à grande échelle. Encore faut-il que les pouvoirs économiques dont l'intérêt est de la mettre en œuvre soient suffisamment forts pour l'imposer face à ceux qui s'y opposent" (Byé, Mounier, 1984).

Les biotechnologies peuvent avoir par ailleurs, comme beaucoup de nouvelles technologies, des effets économiques déstabilisateurs pour certains agriculteurs, certaines firmes, certains pays du fait des phénomènes de concurrence et de restructuration qu'elles entraînent. P. Byé (1988) souligne ainsi "combien l'innovation conduite par un élargissement du savoir scientifique accentue la concurrence entre les techniques et les acteurs qui les mettent en œuvre", en particulier en ce qui concerne les techniques nouvelles et les techniques empiriques plus anciennes que les premières tendent à supplanter, entraînant de nouvelles normes de production et de nouvelles formes (ou répartitions) de dépendance. Les nouvelles technologies par leur niveau de sophistication posent aussi le problème de l'exclusion de ceux, individus ou pays, qui ne peuvent y avoir accès. Enfin le pouvoir d'action accru sur le vivant comporte des risques : création et prolifération de bactéries modifiées virulentes qui n'auraient pas d'antagonistes dans la nature, dérive eugénique, problèmes posés par les brevets sur le vivant, diminution de la variabilité génétique avec le clonage, etc.

LES POTENTIALITÉS TECHNIQUES DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

Nous parlerons plus brièvement des nouvelles technologies de l'information qui sont en général mieux connues car elles sont diffusées dans l'ensemble des secteurs. Elles peuvent permettre une amélioration de l'action car la décision est prise en incorporant la connaissance de nombreuses informations sur l'état actuel et passé, voire futur ; cette décision peut être prise soit automatiquement (mécanisme de régulation automatique), soit par l'agriculteur à partir des informations fournies (informatique de gestion par exemple). Les technologies de l'information rendent possibles de la sorte une intervention plus rapide et plus efficace, car les données du problème sont connues instantanément — ou du moins rapidement —, une action mieux ciblée, plus sûre, moins aveugle car l'indétermination est réduite, une adaptation plus fine des apports aux besoins, d'où une réduction possible des coûts et des gaspillages.

Illustrons par quelques exemples ces applications à l'échelle de l'exploitation agricole ; on ne traitera pas ici des autres niveaux, c'est-à-dire du système mondial d'information sur les marchés, les prix, les données météorologiques, les prévisions de rendement à partir de la télémétrie, de l'informatique et de la télédétection. L'approche sera centrée sur les possibilités techniques, non sur les conséquences socio-économiques dont beaucoup

restent à étudier ; autrement dit cet inventaire décrit un potentiel plus qu'un certain, et un possible, non un nécessairement souhaitable.

— **L'informatique** peut aider à la gestion de l'exploitation. Ainsi les logiciels de gestion des troupeaux bovins ou porcins permettent d'évaluer avec précision les performances des animaux, d'assurer un suivi individuel, parfois aussi de leur distribuer la dose de concentré requise grâce à un DAC (distribution automatique individualisée des concentrés aux animaux, ces derniers étant identifiés par un collier magnétique) ; la rentabilité de l'élevage peut de la sorte être améliorée par la détection rapide des animaux improductifs ou à problème et la diminution des délais d'intervention. L'informatique peut intervenir aussi dans l'aide à la décision pour le choix des cultures ou la prévision d'installation. Enfin les systèmes experts apportent une aide au diagnostic des maladies ou à celui de la situation économique et financière de l'exploitation, pouvant ainsi seconder ou démultiplier les conseillers.

— **La télématique** peut fournir à l'agriculteur des informations sur les marchés, les prix, l'agro-météorologie, les conseils des instituts techniques et les avertissements phytosanitaires. Elle peut permettre aussi l'accès rapide à des données de groupe (résultats de gestion, contrôle laitier, etc.) à partir d'entrées individuelles. Les messageries peuvent également faciliter les relations des agriculteurs avec leurs coopératives, palliant ainsi quelque peu les effets négatifs de l'éloignement et de l'isolement.

— **L'électronique embarquée** sur matériel ou bâtiment permet la régulation automatique. Elle correspond soit à des automatismes de conduite, à des mécanismes de contrôle et de réglage automatique du tracteur et des outils (par exemple pour le blocage du différentiel, la pulvérisation ou la perte en grains), soit, dans ses formes les plus élaborées, à un micro-ordinateur de bord. Dans ce dernier cas, le conducteur peut intervenir dans le processus réalisé par l'électronique : le circuit compare le signal émanant du capteur à la valeur fixée par l'utilisateur et commande un actionneur effectuant les corrections nécessaires. Ces systèmes permettent d'améliorer la conduite du tracteur et la gestion du travail de l'ensemble tracteur-outil, et de fournir des indications sur le travail effectué. Ils rendent possibles là aussi une action plus ciblée et moins aveugle et une adaptation plus fine des apports aux besoins. On peut de la sorte envisager une distribution de fertilisants adaptée aux hétérogénéités du terrain selon une carte mémorisée de la parcelle, ou encore l'irrigation en fonction des besoins des plantes ; c'est l'exemple du "pépista", appareil associant des capteurs de grossissement des rameaux et des fruits à un logiciel : il est possible avec ce système de suivre à chaque instant les besoins en eau des arbres et cela commande les vannes d'irrigation. Pour les bâtiments d'élevage et les serres, l'électronique permet la régulation automatique de l'ambiance (chaleur, lumière, hygrométrie, etc.) en fonction des besoins des plantes et des animaux.

— **Divers robots** sont en cours d'expérimentation pour la traite, la cueillette des fruits, le travail en serre, le ramassage des asperges, l'éclaircissage forestier et même le labour. Pour ses promoteurs, cette robotisation s'impose soit pour maintenir en France des productions concurrencées par les pays où la main-d'œuvre est moins rémunérée (pour la récolte des fruits notamment), soit pour lever l'astreinte que représente un travail à effectuer deux fois par

jour tous les jours de l'année (cas de la traite), soit en raison de la pénibilité du travail ou des nouvelles possibilités que permettrait le robot (le travail de nuit quand le temps presse dans le cas du robot de labour).

Tout autant que pour les biotechnologies, il faut se garder d'une vision idyllique des descriptions techniques que l'on vient de faire. Ces technologies sophistiquées sont assez coûteuses, parfois insuffisamment fiables (nombreux sont les agriculteurs craignant les pannes) et paradoxalement quelquefois peu ergonomiques (c'est le cas de certains logiciels). Si elles peuvent décharger l'agriculteur de tâches répétitives, elles peuvent aussi donner à son travail un aspect déshumanisé du fait de la diminution du contact avec les animaux et les cultures et de la médiation obligée par la machine ; enfin, elles posent des questions en ce qui concerne la standardisation des façons de produire et la soumission à des normes. Modifiant la répartition des savoirs, des savoir-faire et des pouvoirs à l'intérieur de la chaîne agro-alimentaire, loin d'être des outils de liberté et de libération du travail, les nouvelles technologies de l'information peuvent aussi être un instrument d'asservissement à de nouvelles dépendances. Enfin toutes les exploitations ne pourront pas accéder à certaines d'entre elles : seront-elles économiquement pénalisées ?

LES EFFETS DES NOUVELLES TECHNOLOGIES SUR LE SECTEUR AGRICOLE

Il existe de multiples manières d'aborder les impacts pour l'agriculture de ces bouleversements techniques. On peut, par exemple, comme P. Byé, privilégier la stratégie des firmes et le rôle qu'elles jouent dans l'orientation du progrès technique en mettant en opposition un modèle mécanique et chimique piloté par les firmes classiques de l'agro-fourriture, en cohérence avec le paradigme dominant jusqu'à présent, et un modèle basé sur la chimie fine et la biotechnologie concordant avec le nouveau régime technologique qui se met en place.

On peut aussi analyser les conséquences sur les structures, les systèmes de production et les revenus de telle ou telle innovation en cours ou en instance (informatique, somatotropine, etc.), ou encore, comme le suggèrent Offutt et Kuchler (1987), tenter une évaluation des risques liés aux nouvelles technologies.

Pour notre part, nous privilégions deux approches qui demeurent partielles, mais qui ont vocation à se situer à l'intérieur d'une problématique générale sur les déterminants et les conséquences du changement technique en agriculture.

La première s'appuie sur des entretiens réalisés avec des chercheurs de l'INRA et du CEMAGREF et vise à préciser quelle logique sous-tend les recherches qui sont conduites dans les domaines intéressant le secteur agricole. La grille d'interprétation privilégie trois types d'influences : celles qui se situent dans le cadre du paradigme technico-économique de la modernisation agricole des années 1950-1980, celles qui renvoient aux potentialités offertes par les nouvelles technologies, celles enfin qui tiennent aux modifications du contexte économique et social.

La deuxième approche est un essai de construction, par comparaison/opposition au modèle traditionnel, d'un modèle technique agricole rendu possible par les mutations en cours ou prévisibles. Bien qu'il reste encore largement virtuel, il permet une appréhension assez générale des conséquences que peut entraîner le développement des nouvelles technologies de l'information et du vivant.

Les résultats auxquels on aboutit ne sont pas sans importance en termes d'évolution générale des manières de produire en agriculture, de relations entre l'agriculture et son environnement (naturel et économique), de dynamique du secteur et de politique agricole.

UNE CERTAINE INFLEXION DANS LA LOGIQUE "PRODUCTIVISTE"

L'optique "productiviste" se maintient apparemment ...

Nos entretiens avec des scientifiques de la recherche agronomique nous ont montré que les travaux actuellement menés, qui intègrent largement les nouvelles données scientifiques et technologiques, demeurent fortement marqués par ce qu'on pourrait appeler une optique "productiviste". Malgré la rupture du milieu des années 70, malgré la généralisation des excédents, malgré certains problèmes posés par la diminution du nombre d'agriculteurs, leur axe prioritaire est presque toujours l'accroissement de la productivité physique (Bonny, Daucé, 1987). Le plus souvent les chercheurs justifient cette orientation par une logique micro-économique : en produisant davantage par hectare, par animal, par travailleur, on réduit les coûts fixes et donc en définitive les coûts unitaires pour un niveau donné de production. Ainsi on cherche à augmenter la production de lait par vache car il est moins coûteux de produire 8 000 l de lait avec une vache à haut potentiel qu'avec deux vaches à production moyenne, à cause des coûts d'entretien de l'animal. De la sorte, l'existence de surplus ou les quotas ne remettent pas en cause au niveau individuel des innovations telles que la somatotropine. Les illustrations ne manquent pas en différents autres domaines touchant les productions animales ou végétales : élévation du nombre de porcelets sevrés par truie et par an, du nombre d'agneaux par brebis, etc. ; réduction des phases improductives par des mises-bas précoces, des intervalles entre saillies plus courts, des abattages d'animaux de plus en plus jeunes. Chez les végétaux, la culture *in vitro* permet une multiplication beaucoup plus rapide, et le cycle végétatif de certaines productions maraîchères (laitues) a été fortement raccourci. A l'inverse, des variétés présentant des caractéristiques nouvelles intéressantes (résistance aux maladies), mais dont le potentiel de rendement est inférieur à celui de variétés plus productives, ne sont pas adoptées ; c'est le cas de la variété de blé Roazon.

L'optique "productiviste" se manifeste également dans la poursuite de l'artificialisation du milieu : ainsi en est-il du drainage, de l'irrigation, de la production de légumes en hors-sol, de la sophistication croissante des serres où on ne vise plus seulement à contrôler la température, mais aussi l'hygro-métrie, la teneur en gaz carbonique, la lumière. Chez les animaux, on observe également une artificialisation de plus en plus poussée des conditions de

production : désaisonnement de la reproduction, oestrus induits et synchronisés, transferts d'embryons avec sexage, utilisation d'hormones de croissance, augmentation provoquée de la prolificité.

On continue par ailleurs à rechercher une diminution des temps de travaux, à remplacer l'homme par la machine. Cela se développe, et va encore se développer, notamment dans les secteurs où la mécanisation était moins avancée comme la culture maraîchère ou fruitière (par opposition à la grande culture où la mécanisation est ancienne). On cherche à mécaniser de plus en plus la récolte (les machines à vendanger sont maintenant bien implantées) et on est parvenu à réduire les temps de travaux pour la plupart des opérations ; enfin, comme on l'a vu, on envisage pour l'avenir la robotisation de divers travaux agricoles.

... mais les limites rencontrées

Les tendances passées de la recherche — fondées sur un raisonnement micro-économique qui privilégie la productivité physique — paraissent ainsi se poursuivre ; nombre des applications des nouvelles technologies permettent et même facilitent l'orientation dans cette voie. Des inflexions s'imposent cependant à une approche trop exclusivement "productiviste" en raison des limites rencontrées : limites techniques, atteintes à l'environnement, fort coût en capital, concentration de l'activité agricole en certaines zones avec désertification et dévitalisation des autres, coûts des excédents structurels en Europe, diminution parfois de la qualité organoleptique des produits, etc. Tout cela est fréquemment évoqué et nous n'aborderons ici que quelques exemples.

La recherche d'une production sans cesse plus élevée rencontre des limites, même d'un strict point de vue technique (ou physiologique : on n'a pas encore réduit la durée de gestation chez les animaux !). Il faut cependant noter qu'on trouve parfois des solutions (techniques) aux problèmes (techniques) qui apparaissent. Ainsi, chez la brebis prolifique, il naît assez souvent des agneaux trop petits qui ne grandissent pas et font du gras, ce qui conduit à s'interroger sur cet accroissement de prolificité qui est coûteux et peu rentable ; mais une parade technique pourra exister un jour si l'on autorise la mise en marché de l'hormone de croissance ou des bêta-agonistes. Dans le domaine du machinisme, on atteint une limite en matière de gigantisme (il faut que la moissonneuse-batteuse puisse circuler sur les routes !) et de poids (les problèmes de tassement des sols) ; mais on transforme parfois astucieusement cette dernière difficulté en avantage comme dans le cas du tasse-avant où l'on utilise le poids du tracteur pour réaliser une opération culturale. Enfin, c'est en repensant à la base la conception du matériel que l'on trouvera parfois la parade ; ainsi en est-il du *stripper* pour le moissonnage-battage où on égrène le grain au lieu de le battre.

Par ailleurs les atteintes au milieu naturel sont désormais davantage prises en considération. S'agissant par exemple de la pollution des nappes phréatiques par les engrais et les lisiers, on vise actuellement à mieux adapter les apports d'engrais aux besoins des plantes et, depuis quinze ans, pour un certain nombre de cultures, ces apports ont crû moins vite que les rendements. Par ailleurs, on peut résoudre techniquement la pollution des eaux en

les dénitratant pour la boisson. En ce qui concerne la "fatigue des sols", on peut en connaître les raisons grâce aux progrès en matière de diagnostic, et donc proposer des traitements ou, du moins, des palliatifs.

Face à d'autres limites d'ordre directement économique, notamment le coût élevé des investissements requis en bâtiment ou en matériel standard, on recherche des solutions techniques moins coûteuses : les élevages de truies en plein air, les bergeries-serres, l'hivernage des vaches allaitantes en plein air, la conception modulaire des outils.

... imposent certaines inflexions

Plus généralement, par rapport aux orientations antérieures, la première inflexion majeure est celle de la recherche d'une meilleure adaptation des apports aux besoins ; elle résulte d'une pression économique très forte, la nécessité de plus en plus ressentie (au niveau individuel comme à l'échelon global) d'éviter les gaspillages et d'économiser les intrants coûteux et elle est rendue possible par les progrès de la connaissance : grâce à des techniques d'information plus précises et plus rapides et à des moyens d'action sur le vivant plus efficaces et mieux contrôlés, on peut développer des méthodes plus ciblées, plus fines, moins aveugles. C'est le cas pour l'irrigation (apport d'eau quand la plante en a besoin), la fertilisation (fertilisation raisonnée, épandage précis des engrais selon les besoins locaux dans la parcelle), les traitements (lutte intégrée, diagnostics et avertissements qui évitent les épandages inutiles), le nombre de passages pour la préparation des sols, la mise au point de variétés résistantes, l'alimentation des animaux (connaissance précise de la valeur nutritionnelle des différents types d'aliments, adaptation aux spécificités du rumen chez les herbivores, régulation de l'alimentation en fonction du cycle productif) et enfin les interventions vétérinaires (kits de diagnostic). Toutes ces techniques permettent une meilleure efficacité, mais par ailleurs elles nécessitent plus d'information.

La deuxième inflexion est l'orientation vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement, objectif faisant l'objet d'un des deux programmes prioritaires de l'INRA pour les années à venir : protection et gestion de la diversité génétique, adaptation et gestion des intrants dans le respect de l'environnement, meilleure gestion de l'espace rural. Il faut éviter par exemple des orientations de recherche trop liées aux conditions du moment et aboutissant à des végétaux et surtout des animaux hyperspécialisés : on court le danger de perdre une certaine variabilité génétique et les capacités d'adaptation à un nouvel environnement. Il peut y avoir un danger à s'orienter demain vers une sélection laitière bovine à travers l'emploi de la somatotropine, sélectionnant des vaches "hormono-dépendantes" comme on a sélectionné des vaches "concentrés-dépendantes", sans consacrer de moyens suffisants pour les animaux aptes à valoriser au maximum les fourrages. Un certain nombre de chercheurs et de responsables scientifiques sont sensibles à ce type de danger. Et cela d'autant plus que la logique "productiviste" est remise en cause aujourd'hui par les prévisions structurelles concernant l'agriculture. Celles-ci, qui font envisager pour demain la libération de plusieurs millions d'hectares de terres agricoles, ont induit tout récemment, dans les milieux de la recherche et du développement, une réflexion sur des modes de

conduite plus extensifs. Plus récemment, les notions d'agriculture respectueuse de l'environnement, et même d'agriculture biologique, ont fait une percée spectaculaire dans les discours officiels, particulièrement au niveau de la Commission des Communautés européennes.

Enfin, la troisième inflexion doit être soulignée : il s'agit du rôle croissant de la "qualité" des produits ; les nouvelles technologies ouvrent à cet égard de larges perspectives. Ceci étant, la notion de qualité (ou de composition) du produit recouvre un contenu fort variable en fonction des intérêts et des exigences des différents agents de la filière agro-alimentaire ou agro-industrielle :

— Les industries agro-alimentaires vont demander à l'agriculture des produits de mieux en mieux adaptés à tel ou tel type de transformation. "L'agriculteur de demain ne fournira plus à l'usine de transformation du blé ou du maïs, mais une certaine qualité d'amidon, de protéines, de sucre ... D'ores et déjà par exemple, on distingue en Amérique du Nord, le maïs à amidon "branché" pour ses propriétés gonflantes, et le maïs à amidon linéaire pour ses propriétés visqueuses ou pour sa meilleure aptitude à l'hydrolyse" (Fauconneau, *in* CGP-CNRS, 1986). Les progrès en matière d'analyse permettront de trier les produits et d'en déterminer la qualité avec précision ; le paiement différencié selon ce critère va sans doute s'étendre.

— La commercialisation et le négoce jouent également un rôle déterminant. Ainsi les nouvelles variétés de pommes résistantes à la tavelure sont boudées par le négoce, de même que souvent les fruits ou légumes cultivés avec la lutte intégrée. Dans un autre ordre d'idées, la qualité des tomates françaises n'apparaît pas suffisante aux distributeurs face à celle des tomates hollandaises. Ces exemples montrent que le secteur de la commercialisation ou de la distribution influe sur la production agricole en imposant certaines normes, en refusant certains produits ; ce phénomène pourrait s'accroître dans les années à venir.

— La demande des consommateurs (plus ou moins déterminée par la publicité et la distribution) correspond à une troisième conception de la qualité des produits agricoles. G. Fauconneau souligne que l'alimentation humaine sera de plus en plus séparée en deux pôles : l'alimentation quotidienne (85 % en volume) où l'on recherche des produits pas trop chers et vite prêts, et le repas de fête convivial (15 % en volume) où le consommateur est prêt à payer les produits plus cher pour des qualités organoleptiques meilleures. La production de produits de qualité (sous label, etc.) peut ainsi représenter une voie d'avenir pour certains agriculteurs. Par ailleurs les préoccupations nutritionnelles font que certains consommateurs recherchent de plus en plus des produits allégés en sucres, en matières grasses et en alcool, créneau lucratif pour les industries agro-alimentaires, actuellement en plein développement. Enfin, il est probable que le rôle des associations de consommateurs ne faiblira pas.

— Si certains produits comme les anabolisants, l'hormone de croissance, les bêta-agonistes offrent de très fortes potentialités, leur emploi effectif est soumis à autorisation. Anabolisants et bêta-agonistes ont été interdits en Europe et l'autorisation de mise en marché de l'hormone de croissance fait

l'objet de débats. Cela montre l'importance de l'acceptabilité des nouvelles techniques et le rôle de la législation ; cela correspond à une autre dimension de la qualité, celle du législateur et du politique.

Quelles que soient les raisons de leur apparition, pression de la demande ou poussée de la science (sans doute une conjonction des deux phénomènes), les nouvelles technologies peuvent avoir une **influence ambivalente** sur le changement technique en agriculture : elles peuvent permettre aussi bien la poursuite d'une logique que nous avons appelée "productiviste" que des **inflexions** assez sensibles des orientations qui s'étaient cristallisées après guerre avec la deuxième révolution agricole. L'avenir est donc relativement ouvert et dépendra des forces sociales pouvant infléchir vers l'une ou l'autre logique.

VERS UN NOUVEAU MODÈLE TECHNIQUE EN AGRICULTURE ?

Quel va être l'impact de ces nouvelles technologies sur l'évolution du secteur agricole ? Elles vont sans doute induire des trajectoires techniques, des manières de faire et de produire qui s'inscriront dans des dynamiques spécifiques en rupture avec les paradigmes antérieurs, qui feront appel à des connaissances et à des savoir-faire particuliers, qui entraîneront de façon irréversible l'agriculture sur des modèles techniques nouveaux, même si, à première vue, les innovations susceptibles de se diffuser dans les prochaines années se situent dans la continuité du progrès technique des dernières décennies. Pour mieux schématiser ces ruptures techniques, on a dressé un tableau synoptique des caractéristiques du modèle technique traditionnel et de celles du modèle qui pourrait le supplanter (tableau 1). On n'en reprendra pas ici l'énumération ; on soulignera seulement que le changement essentiel apparaît bien comme le passage d'un système technique basé sur la maîtrise des processus mécaniques et chimiques et sur l'énergie fossile à un nouveau système reposant sur la maîtrise des processus du vivant et sur l'information ⁽¹²⁾ sous ses différentes formes : informatique, télématique, automatismes, robotique, etc.

La difficulté d'une présentation plus détaillée de ce modèle technique nouveau, c'est qu'il n'est encore que virtuel ou, plus précisément, qu'il se situe à un stade encore largement indéterminé ; les orientations, les articulations internes qu'il dégagera progressivement sont pour l'instant potentiellement multiples, comme au point de départ d'un processus évolutionniste de spécialisation et d'adaptation progressives. Ceci étant, compte tenu de ce que l'on sait de la nouvelle vague d'innovations qui touchent le secteur agricole, on peut tenter de dégager quelques-unes des questions que soulève(nt) ce (ou ces) nouveau(x) modèle(s) technique(s).

En premier lieu, il semble bien que ce soit par les modifications dans le volume et la nature des biens achetés que se manifeste d'abord l'introduction de nouvelles technologies. Compte tenu des avancées de la technique et de l'efficacité croissante des moyens de production mis en œuvre, l'agriculture

⁽¹²⁾ L'information s'oppose à l'énergie en ce sens qu'elle est néguentropique.

Tableau 1. Principales caractéristiques de l'ancien et du nouveau modèle technique en agriculture*

	Ancien modèle technique (2 ^e révolution agricole) 1945-1975	Nouveau modèle technique se mettant en place à partir des années 1980-1990
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES		
Bases scientifiques	Maîtrise des processus mécaniques et chimiques.	Maîtrise des processus du vivant et de l'information.
Bases technologiques	<ul style="list-style-type: none"> Motorisation (tracteurs). Chimisation (engrais, pesticides, etc.). Nouveau matériel génétique issu de sélection par croisement. Nouveaux matériaux (plastique). 	Nouvelles technologies de l'information et biotechnologies appliquées à la plupart des domaines (sélection, reproduction, nutrition, prévention, gestion, machinisme, etc.).
Objectifs de production	La quantité (production de masse avec faible régulation de l'offre).	La qualité et la quantité requises : production plus diversifiée, régulation de l'offre ; respect accru de l'environnement.
Substitution du capital au travail	La machine remplace l'homme dans le travail physique.	La machine remplace en partie l'homme dans le traitement de l'information (automatisation, robotisation).
Mode d'utilisation des intrants	Interventions systématiques pas toujours raisonnées.	Possibilités d'action plus ciblée, moins aveugle et d'adaptation plus fine des apports aux besoins.
TECHNIQUES		
Dominante Fertilisation	Chimique et mécanique Engrais chimiques.	Biologique et informationnelle Encore des engrais chimiques mais : — adaptation fine des apports aux besoins (fertilisation raisonnée) — techniques biologiques d'action (bactérisation des cultures, inoculation des racines, mycorhization) — essai de création de variétés fixant l'azote de l'air par transfert de gène.
Lutte contre les ravageurs	Pesticides chimiques.	Lutte biologique ; lutte intégrée. Création de variétés résistantes. Nouvelles méthodes de diagnostic (kits, systèmes experts, etc.).
Lutte contre le gel	Mécanique ou chimique.	Biologique (bactéries anti-gel).
Nutrition animale (complémentation)	Apport d'additifs chimiques et d'acides aminés de synthèse ou complémentation en concentrés.	Apport de probiotiques. Création de végétaux ayant moins de carences en acides aminés. Adjuvants de croissance (somatotropine, bêta-agonistes).
Reproduction animale	Insémination artificielle.	Contrôle de l'œstrus et de l'ovulation. Transfert et sexage d'embryon. Clonage.
Prophylaxie-diagnostic	Vaccins à partir de souches virales atténuées. Diagnostics par observation ou analyses de laboratoire.	Vaccins synthétiques et recombinants (efficacité, innocuité). Animaux résistants aux maladies. Kits de diagnostic à la ferme.
Consommation d'énergie	En forte croissance : — énergie directe pour la traction et le chauffage — énergie indirecte pour les synthèses chimiques.	Stabilisée grâce : — aux mécanismes de régulation — à l'utilisation croissante de mécanismes biologiques à la place des mécanismes chimiques.

* On ne traite pas ici des techniques en amont de l'agriculture (par exemple la sélection génétique) ni en aval (caractérisation et transformation des produits), et toutes les techniques agricoles elles-mêmes ne sont pas analysées en détail

devrait utiliser moins de certains intrants et notamment de produits chimiques et d'énergie d'origine fossile, du moins en quantité. Mais, en valeur globale, les consommations intermédiaires pourront-elles diminuer alors qu'il y aura transfert de certaines d'entre elles vers d'autres incorporant les biotechnologies, l'information et les services annexes ? La stratégie des firmes risque bien d'orienter dans ce dernier sens.

S'il n'est ainsi pas sûr que l'agriculture soit à l'avenir plus économe, sera-t-elle plus autonome, pour reprendre un diptyque fameux ? Les exploitants pourront sans doute acquérir une plus grande marge de manœuvre et récupérer un certain nombre de fonctions qui leur avaient échappé au cours du temps, grâce notamment aux possibilités offertes par les techniques de l'information : comptabilité-gestion sur micro-ordinateur ; gestion technique informatisée des ateliers ; utilisation de systèmes experts d'aide à la décision ; accès aux banques de données techniques, financières ou commerciales ; emploi de kits de diagnostic, etc. A l'inverse, dans la mesure où elles ne peuvent être produites que par les grandes firmes, les biotechnologies entraîneront une dépendance croissante du producteur agricole vis-à-vis de ses fournisseurs pour des produits de plus en plus sophistiqués (semences, pesticides, adjuvants de croissance et additifs divers) dont l'application risque de se faire sous leur contrôle étroit. Une tendance identique apparaîtra pour les matériels informatisés, automatisés, robotisés dont la bonne marche et l'entretien impliqueront l'appel à des services d'entretien et de maintenance très spécialisés.

En matière de biens d'équipement, on retrouve la même ambivalence des nouvelles techniques : l'adaptation précise des apports aux besoins, la conception modulaire des outils, la substitution possible de procédés chimiques et biologiques à des techniques mécaniques, la réduction des phases improductives chez les animaux et les végétaux vont dans le sens d'une moindre utilisation de capital fixe, mais le perfectionnement des machines, leur spécialisation en fonction des besoins auxquels elles doivent répondre, l'incorporation de l'électronique et de l'informatique, la nécessité de nouveaux équipements (pour la régulation automatique, l'irrigation programmée), l'introduction de la robotisation tendent à accroître le poids et le coût des investissements requis.

Compte tenu de toutes ces incertitudes sur la composition des charges relatives à un tel modèle technique, on ne peut non plus préjuger des effets d'échelle correspondants. Si les coûts d'équipement continuent d'être aussi importants que dans la phase antérieure de modernisation de l'agriculture, alors les plus grandes unités ont toutes chances de continuer à être favorisées ; à l'inverse, si les nouvelles technologies transitent principalement par les consommations intermédiaires, l'effet d'échelle sera beaucoup moins sélectif. D'autres facteurs discriminants peuvent alors être à l'œuvre, notamment le niveau de formation des agriculteurs face à la complexification des techniques et des produits.

Le métier d'agriculteur risque en effet d'évoluer comme la plupart des autres métiers manuels vers une plus grande abstraction ; or celle-ci sécrète des exclus (Lasfargue, 1989). Si l'amélioration des conditions de travail est souvent indéniable — quoique parfois en partie annulée par l'augmentation

de son intensité —, dans d'autres cas, la médiation obligée par la machine conduit à un sentiment de malaise. Si la télématique, avec l'accès possible à de nombreux services, est un moyen de lutter contre certaines conséquences de l'isolement dans les campagnes, elle ne saurait à elle seule, pallier les conséquences négatives de la diminution des contacts humains dans les zones désertifiées.

La mise en œuvre des technologies de l'information et des biotechnologies aura aussi des impacts sur les modèles de production agricole à travers les relations nouvelles qu'elles vont entraîner entre les exploitations et les industries d'aval. Dans la mesure où l'agriculteur deviendra fournisseur de telle matière première spécifique (à usage alimentaire ou industriel) et non plus d'un produit de masse relativement indifférencié et où la qualité pourra être déterminée avec précision grâce aux nouvelles méthodes de tri et de sélection, c'est toute la dynamique des échanges qui peut se trouver modifiée : rapport de prix, relations contractuelles, contraintes techniques, etc.

En matière de conséquences pour l'environnement, le nouveau modèle technique peut avoir des effets contradictoires. D'un côté, les risques sont accrus car le pouvoir d'action sur la nature est considérablement augmenté ; d'un autre côté, les risques sont diminués car les interventions agricoles sont mieux ciblées, moins aveugles, plus adaptées et, par ailleurs, on a désormais une connaissance assez fine des mécanismes du vivant permettant de les observer et de les respecter. Mais il ne s'agit là que d'un faisceau de potentialités ; l'intégration des connaissances dans des schémas cohérents à l'échelle des bassins versants, de petites régions, etc. reste encore très limitée et selon les rapports des forces en présence on peut voir le modèle s'orienter dans ce domaine (comme dans d'autres) dans des directions différentes.

Au total, et sans prétendre apporter une vue exhaustive des implications possibles des nouvelles technologies sur les exploitations, on conçoit que les manières de produire en agriculture ont de fortes chances de se trouver profondément modifiées, qu'il s'agisse de l'usage relatif des différents facteurs de production ou des modes d'insertion du secteur dans son environnement économique et naturel. C'est là un sujet de réflexion important à prendre en compte en matière de politique agricole car non seulement, comme on l'a vu, la révolution technologique qui s'amorce ne remet pas en cause la poursuite des gains de productivité et donc de la croissance des quantités offertes à l'échelle des exploitations ⁽¹³⁾, mais il n'est pas sûr par ailleurs que les instruments de régulation de la production agricole dont on dispose aujourd'hui soient encore appropriés demain.

Globalement, l'agriculture verra-t-elle ses débouchés augmenter ou au contraire se réduire avec les nouvelles technologies ? Là aussi, on observe une certaine ambivalence : d'un côté, de nouveaux marchés pourraient s'ouvrir pour l'agriculture, ceux des matières premières à usage industriel ou énergétique — le remplacement de la pétrochimie par la végétalochimie —, mais, dans le même temps, les cultures de tissus pourraient pour certains produits supplanter l'agriculture.

(13) Même si la recherche s'infléchit vers des technologies qui visent plus à réduire les coûts qu'à augmenter les rendements, on aboutit malgré tout globalement à un accroissement de l'output (Offutt et Kuchler, 1987).

La diffusion des nouvelles techniques se situe dans un climat de compétition économique et même elle le renforce : on assiste à une sorte de cercle logique où les technologies de pointe servent d'armes à la "guerre" économique et commerciale qui sévit et où simultanément, cette concurrence entre groupes et entre pays justifie et stimule les recherches les concernant. Ce climat fait que, changement de paradigme technologique ou non, risquent de perdurer des effets négatifs qui empêchent un certain nombre d'agriculteurs de tirer profit du progrès technique : élimination d'exploitations, zones désertifiées, course à la productivité entraînant un surtravail, exclusion des agents à bas niveau de formation ou de capital, etc. La répartition des bénéfices du progrès technique est en effet fort inégale et l'obsession de la compétitivité conduit parfois à reléguer à l'arrière-plan les coûts sociaux.

Enfin, les nouvelles technologies risquent d'influer notablement sur les marchés agricoles mondiaux car les produits issus des biotechnologies vont concurrencer les produits traditionnels, notamment certaines exportations des pays du Tiers Monde, de la même façon qu'à la fin du 19^e siècle et au début du 20^e, les produits chimiques ont concurrencé les substances naturelles (caoutchouc, textiles, colorants, etc). C'est déjà le cas pour le sucre de canne et de betterave, en rivalité avec l'isoglucose, l'aspartame et d'autres édulcorants. Cela risque d'être le cas demain pour le cacao, la vanille, le pyréthre, le soja utilisé en alimentation animale qui pourraient être remplacés par des substances issues des biotechnologies (Chesnaïs, 1988 ; Hobbelink, 1988). Par ailleurs le développement de techniques de production sophistiquées risque d'accroître l'écart entre pays riches et pays pauvres et de rendre l'agriculture du Sud encore moins compétitive par rapport à celle du Nord. On sait bien sûr depuis longtemps que l'innovation est un processus de destruction créatrice mais l'affranchissement de la nécessité devrait conduire à une diminution des exclusions, non à leur renforcement ...

CONCLUSION

Cet essai d'analyse portant sur l'évolution du modèle technique en agriculture sous l'effet des nouvelles technologies et sur l'inflexion de la logique productiviste des innovations ne peut bien sûr qu'esquisser une **tendance potentielle**. En effet, la mise en place d'un nouveau modèle technique est très progressive et se différencie selon les systèmes de production. Il va sans dire que l'agriculture ne va pas, par exemple, abandonner du jour au lendemain l'usage des produits chimiques au profit de techniques biologiques mais que la substitution des unes et des autres sera extrêmement graduelle et qu'il y a même, pour de nombreuses années encore, complémentarité plutôt que substitution entre les deux formes d'intervention. La mise en œuvre des nouvelles technologies de l'information ne sera pas non plus immédiate, loin de là. La construction d'un modèle technique potentiel a nécessairement un caractère simplificateur, voire simpliste, mais nous l'avons tentée en tant qu'outil de réflexion prospective (et non de prévision !). Il en est de même pour l'inventaire des possibilités des nouvelles technologies.

On a vu précisément combien celles-ci offrent un faisceau de potentialités ambivalentes. Toutes les innovations évoquées ne vont pas passer du labora-

toire au champ avec un égal succès, que ce soit pour des raisons techniques, économiques, sociales ou politiques, et certains acteurs peuvent orienter l'utilisation des technologies dans tel ou tel sens, quoique ce ne soit pas toujours de façon consciente ("Les hommes font l'histoire mais ils ne savent pas l'histoire qu'ils font" disait Marx). Aussi l'analyse des répercussions possibles des innovations, des forces sociales en présence et de la stratégie des acteurs s'avère-t-elle indispensable, les pouvoirs considérables de la science et de la technologie aujourd'hui posant particulièrement le problème de leur maîtrise, de leur orientation et de leur appropriation.

On sait par exemple relativement peu de choses sur la manière dont ces techniques sont mises en œuvre par les agriculteurs et sur les conséquences qui en résultent pour le fonctionnement des exploitations. De ce point de vue, la tâche reste importante pour les économistes qui veulent poursuivre l'analyse du changement technique en agriculture, quel que soit l'angle d'attaque retenu : études empiriques pour ne pas aborder un phénomène multiforme de manière trop générale et réductrice (le renouvellement des formes techniques se caractérise en effet par son extrême variété ; cf. Schméder, *in* Salomon et Schméder, 1988) ; poursuite de l'évaluation des impacts de la technologie sur la taille des exploitations, leur structure, les pratiques productives, etc. (approche relativement nouvelle par rapport aux travaux antérieurs qui étudiaient le changement technique après son adoption : Offutt, Kuchler, 1987) ; analyse des politiques publiques et privées de la recherche concernant l'agriculture, etc.

C'est dans cet esprit que nous avons entrepris une recherche qui vise à repérer les changements techniques adoptés ou souhaités par les agriculteurs et à les resituer dans la dynamique d'évolution de leurs exploitations à travers l'observation périodique de leurs achats de biens industriels. Ce travail est en cours (Bonny, Daucé, 1987 et 1988). Mais c'est d'une manière plus large qu'une réflexion prospective sur l'évolution technologique et socio-économique de l'agriculture gagnerait à être développée.

BIBLIOGRAPHIE

- BAIROCH (P.), 1989 — Les trois révolutions agricoles du monde développé : rendements et productivité de 1800 à 1985, *Annales ESC*, mars-avril, pp. 317-353.
- BARDINI (T.), 1989 — *Modèle technique et innovations rurales : "Le modèle Roquefort, 1950-1985"*, Communication au colloque de la SFER, 27 et 28 septembre, 36 p. + ann.
- BONNIEUX (F.), 1986 — *Etude économétrique des disparités de l'agriculture française sur la base de données départementales*, Rennes, INRA-ESR, 401 p.
- BONNY (S.) — Vers un autre modèle de développement agricole ? *Economie Rurale*, 146, nov.-déc., pp. 20-29.

- BONNY (S.), 1986 — *L'énergie et sa crise de 1974 à 1984 dans l'agriculture française*, Grignon, INRA-ESR, 497 p.
- BONNY (S.), 1987 — Les effets du renchérissement de l'énergie de 1974 à 1984 sur l'agriculture française et son environnement, *Economie Rurale*, 180, juillet-août, pp. 3-11.
- BONNY (S.), DAUCÉ (P.), 1987 — *Recherches et innovations en agriculture : essai de bilan des changements techniques susceptibles de se diffuser au cours des prochaines années*, Grignon, Rennes, INRA-ESR, 86 p.
- BONNY (S.), DAUCÉ (P.), 1988 — *Les investissements et le changement technique dans les exploitations agricoles (enquête exploratoire)*, Grignon et Rennes, INRA-ESR, 195 p.
- BONNY (S.), ROUBAUD (J.-P.) (coordonnateurs), 1989 — Les nouvelles technologies : quels impacts sur l'agriculture et l'agro-alimentaire ? Actes du colloque de la SFER, septembre 1988, *Economie Rurale* (192-193), juillet-octobre, 152 p.
- BYÉ (P.), 1983 — Les innovations dans l'agro-fourmiture : contexte et évolution, *Economie Rurale*, 158, nov.-déc., pp. 11-17.
- BYÉ (P.), 1987 — *Biotechniques et complexes agro-alimentaires*, Séminaire "Social dimension of biotechnology — Towards an European policy", Dublin, note d'introduction aux débats, Grenoble, INRA, 13 p.
- BYÉ (P.), 1988 — *Les nouvelles technologies dans l'agro-alimentaire et la restructuration de l'agriculture. Les conditions de l'émergence*, Communication au Congrès mondial de sociologie rurale, Bologne 1988, Grenoble, INRA, 37 p.
- BYÉ (P.), CHANARON (J.-J.), PERRIN (J.), 1989 — Les déterminants de l'innovation en agriculture à travers la littérature sur le machinisme et les engrais, *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, 10, pp. 65-96.
- BYÉ (P.), MOUNIER (A.), 1984 — Les futurs alimentaires et énergétiques des biotechnologies, *Economies et Sociétés, Cahiers de l'ISMEA*, hors série n° 27, 363 p.
- CGP-CNRS, 1987 - *Prospective 2005*, Paris, Economica, 487 p.
- CHESNAIS (F.), 1988 — *Biotechnology and the agricultural exports of developing countries : a review of the trends and their implications*, Communication au colloque du GREITD des 24-26 février 1988 "Politiques d'ajustement économique et recompositions sociales dans le Tiers-Monde", 23 p.
- CHOMBART DE LAUWE (J.), POITEVIN (J.), TIREL (J.-C.), 1963 — *Nouvelle gestion des exploitations agricoles*, Paris, Dunod, 507 p.
- DOSI (G.), 1988 — Sources, Procedures and Microeconomics Effects of Innovation, *Journal of Economic Literature*, XXVI, sept., pp. 1120-1171.
- DOSI (G.), FREEMAN (C.), NELSON (R.), SILVERBERG (G.), SOETE (L.), 1988 — *Technical Change and Economic Theory*, Londres et New-York, Pinter Publishers, 646 p.

- GAILLARD (S.), 1986 — *Changements techniques et industrialisation de la culture du maïs en France depuis 1945 : éléments pour une approche systémique*, Lyon, Université de Lyon II, Thèse de 3^e cycle.
- GAILLARD (S.), 1988 — L'industrialisation de la culture du maïs en France (1945-1985) : un itinéraire particulier, *Economie Rurale*, 187, sept.-oct. p. 25-32.
- GESADAR, 1984 — *Approche de la diversité*, INRA-ESR, rapport du Groupe d'échanges scientifiques sur les activités de développement agricole et rural, 66 p.
- GILLE (B.) (éd.), 1978 — *Histoires des techniques*, Paris, Gallimard (Encyclopédie de la Pléiade), 1649 p.
- GRANGER (G.G.), 1984 — Modèles qualitatifs, modèles quantitatifs dans la connaissance scientifique, *Cahiers Science-Technologie-Société*, 5, pp. 11-18.
- GREMILLET (D.), THOMAS (D.) *et al.*, 1988 — *L'agriculture face à son avenir*, Rapport du sous-groupe "Conséquences économiques des nouvelles technologies", Commissariat général du Plan, groupe de prospective agricole.
- HAYAMI (Y.), RUTTAN (V.), 1985 — *Agricultural Development. An international perspective*, Baltimore et Londres, The Johns Hopkins University Press, 506 p.
- HEERTJE (A.), 1988 — *Innovation, technologie et finance*, Paris, Banque européenne d'investissement, 199 p.
- HOBELINK (H.), 1988 — *La biotechnologie et l'agriculture du Tiers-Monde : espoir ou illusion ?* Flers, éditions Equilibres et Genève, CETIM, 108 p.
- JOLY (P.B.), ZUSCOVITCH (E.), 1989 — *L'évolution économique des biotechnologies est-elle prévisible ?* Grenoble, INRA-IREP et Strasbourg, BETA, 24 p.
- JULIAN (P.), 1989 — Innovations et diversité des exploitations, *Economie Rurale*, 192-193, juillet-octobre, pp. 104-109.
- LABOUESSE (F.), 1987 — *Aspects de la modernisation du système productif ovin-lait dans le rayon de Roquefort (1950-1985)*, Montpellier, INRA ESR, 73 p.
- LANDAIS (E.), DEFFONTAINES (J.-P.), 1988 — Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique, *Etudes rurales*, 109, janvier-mars, pp. 125-158.
- LASFARGUE (Y.), 1989 — Technologies nouvelles, nouveaux exclus ? Changements technologiques et évolutions du travail, *Futuribles*, 136, octobre, pp. 3-13.
- LAURENT (C.) (dir.), 1983 — Les innovations dans l'agro-alimentaire, *Economie Rurale*, numéro spécial, 158, nov.-déc., pp. 1-50.
- LAURENT (C.), 1989 — Les nouvelles technologies en agriculture : quelques leçons de l'histoire, *Economie Rurale*, 192-193, juillet-octobre, pp. 12-17.

- LE BAS (C.), 1989 — Où en est l'analyse économique du changement technique ? A propos de "Technical Change and Economic Theory", *Revue d'économie industrielle*, 48, 2^e trimestre, pp. 84-91.
- MAINIÉ (P.), 1967 — Les problèmes économiques posés à l'agriculteur par l'innovation, *Economie Rurale*, 74, oct.-déc., pp. 21-36.
- MAZOYER (M.L.), 1982 — Origines et mécanismes de reproduction des inégalités régionales de développement agricole en Europe, *Economie Rurale*, 150-151, juillet-septembre, pp. 25-33.
- MEYNARD (J.-M.), SÉBILLOTTE (M.), 1989 — La conduite des cultures : vers une ingénierie agronomique, *Economie Rurale*, 192-193, juillet-octobre, pp. 35-41.
- MONTAIGNE (E.), 1988 — *Enjeux et stratégies dans la filière d'innovation du matériel végétal viticole : un essai d'analyse économique du changement technique*, Thèse de l'Université de Montpellier I, 642 p.
- OCDE, 1989 — *Biotechnologie : effets économiques et autres répercussions*, Paris, OCDE, 127 p.
- OFFUTT (S.E.), KUCHLER (F.), 1987 — Issues and Developments in Biotechnology : What's an Economist to do? *Agricultural Economics Research*, 39, n° 1, winter, pp. 25-33.
- OTA (Office of Technology Assessment, US congress), 1986 — *Technology, Public Policy and the changing structure of American Agriculture*. Washington D.C., USGPO, mars, 374 p.
- PAILLOTIN (G.), 1989 — L'avenir des biotechnologies dans l'agriculture et l'agro-alimentaire, *Economie Rurale*, 192-193, juil.-oct., pp. 18-22.
- PAVITT (K.), 1984 — Sectoral patterns of technical change : towards a taxonomy and a theory, *Research Policy*, 13, 6, pp. 343-373.
- PERRIN (J.), 1988 — *Comment naissent les techniques ?* Paris, Publisud, 183 p.
- REMY (J.), 1982 — *Le métier d'agriculteur. Façons de produire et façons d'être des agriculteurs sarthois*, Tome III, Paris, INRA-ESR, 239 p.
- ROSIER (B.), BERLAN (J.-P.), 1989 — Les nouvelles technologies agricoles comme production sociale. *Economie Rurale*, 192-193, juillet-octobre, pp. 23-28.
- SALOMON (J.-J.), SCHMÉDER (G.), 1986 — *Les enjeux du changement technologique*, Paris, Economica, 206 p.
- SAUTIER (R.), 1988 — *Les biotechnologies* (Rapport établi pour le Premier Ministre), Paris, SANOFI, 177 p.
- SÉBILLOTTE (M.), 1974 — Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome, *Cahiers ORSTOM*, série Biologie, 24, pp. 3-25.
- VAISMAN (S.), 1989 — Une stratégie d'avenir : le traitement moléculaire de l'information, *Biofutur*, 76, février, pp. 46-51.