

INTERVENTIONS DE LA SCIENCE DANS
L'AUGMENTATION DES RENDEMENTS
E N A G R I C U L T U R E

ÉQUILIBRES BIOLOGIQUES ET CULTURE INTENSIVE (*)

« Une production alimentaire accrue et une répartition plus équitable des produits alimentaires permettraient à un nombre incalculable de personnes qui sont maintenant privées de biens de première nécessité auxquels elles ont droit, d'envisager un avenir où la misère ferait place à l'espoir. »

*Déclaration sur l'alimentation et la population,
avril 1974.*

DEPUIS QUELQUES ANNEES, L'INQUIETUDE GENERALE GRANDIT. L'HOMME DE LA RUE N'ÉCHAPPE PAS A DES PREOCCUPATIONS QUI SONT FORMULEES ET LARGEMENT DIVULGUÉES ; il adopte sans les analyser, les réflexions d'équipes d'économistes : Club de Rome, M.I.T., d'écologistes, voire d'hommes politiques, qui lui sont présentées sous des formes simplifiées.

L'inquiétude, la peur sont souvent engendrées par une absence de connaissance. Leur amplification et leur généralisation sont assurées par le canal des moyens modernes d'information qui, partant d'un fait d'actualité particulièrement « attractif », l'exploitent parfois sans trop se soucier du respect d'une déontologie balbutiante. On passe très vite, ou sans nuance, du particulier au général, de l'hypothèse à l'affirmation, alors que ces progressions impliquent des études conduites avec une rigueur scientifique souvent absente des circuits de grande diffusion. Ainsi naissent dans la majeure partie de la population des mythes dont le monde moderne a peut-être besoin, mais qui risquent d'avoir de graves répercussions sur son comportement et son devenir.

Les perspectives d'évolution démographique mondiale combinées au souci d'ajuster le sort des hommes vivant sous diverses latitudes en fonction d'une connaissance de plus en plus précise de leurs besoins alimentaires, entre autres, sont à l'origine de l'expression d'une demande à terme que l'on estime difficile à satisfaire sans perturber les « équilibres biologiques ». Est-il possible de rassembler un argumentaire scientifique sérieux sur ce thème ? Pouvons-nous garder un minimum d'espoir de résoudre ce vaste problème ? L'exemple... ou du moins certains éléments mis en œuvre dans les pays développés et les perspectives offertes par les connaissances disponibles ou en cours d'acquisition nous permettent-ils d'être un peu plus optimistes que ceux qui concluent à la nécessité d'une « croissance zéro » ? L'intensification nécessaire de la production agricole est-elle compatible avec le maintien ou une évolution acceptable de notre environnement ?

Ici commence le vrai débat : l'homme, partie intégrante de l'écosystème, y vit, consomme, se multiplie, meurt, comme toute autre entité biologique, mais il agit en mettant en œuvre des moyens conventionnels dont la puissance va croissant ou en introduisant des éléments originaux par rapport à ceux qui participaient initialement au système. Doit-il renoncer à ces deux particularités pour sacrifier au maintien d'un équilibre conforme à la définition première de cette notion : « état d'un système soumis à l'action de forces quelconques, lorsque toutes ses parties demeurent en repos » ?

D'un simple point de vue historique, il n'est plus possible de se référer à cette définition de l'équilibre puisque déjà, des éléments originaux ont été introduits dans l'écosystème : il suffit de penser à des molécules organiques de synthèse qui sont ou ont été d'usage courant, même si certaines d'entre elles font l'objet de mesures légales d'interdictions prises récemment...

Nous sommes donc amenés à nous référer à une autre définition de l'équilibre... Il nous reste, entre autres, deux versions « classiques » : celle de LE CHATELIER qui s'énonce comme suit :

« Lorsqu'un système est en équilibre réel, la modification d'un des facteurs de l'équilibre provoque une modification du système dans le sens qui tend à atténuer l'effet de la cause perturbatrice » ;

ou celle qu'adoptent les physiciens et les mécaniciens, et qui s'applique dans le cas où

« L'état de mouvement d'un système ne se modifie pas sous l'effet de plusieurs forces agissant simultanément. »

Ces deux expressions ne traitent d'ailleurs pas exactement du même objet, en ce sens que l'une décrit un mécanisme interne, alors que l'autre définit les conditions de réalisation d'un cas particulier d'équilibre introduisant la notion de mouvement, par opposition à l'état de repos. Or le mouvement est bien une caractéristique des écosystèmes, si l'on se place à l'échelle de l'évolution : on peut en effet considérer que bien avant l'intervention de l'homme, les éléments vivants existant sur notre planète étaient en équilibre entre eux et « adaptés » aux conditions de milieu régnant à telle époque de son existence. L'évolution, au sens le plus large du terme, se poursuit. L'homme, doté de moyens d'intervention de plus en plus puissants a peut-être la capacité d'en accélérer ou d'en dévier le cours, et c'est bien à ce niveau que nous devons placer notre débat.

L'agronome, cas particulier de l'homme, a au moins deux devoirs vis-à-vis de ses semblables et de l'ensemble du monde vivant :

- trouver des solutions permettant aux humains d'assurer leur subsistance dans un cadre de vie aussi accueillant que possible ;
- le faire de telle sorte que les générations à venir conservent la possibilité de répondre à cette même demande, ce qui implique d'éviter la manifestation de phénomènes irréversibles ou difficilement réversibles, dont les effets seraient négatifs.

Il ne peut suggérer de solutions qu'en pensant à une double projection, à court et à long terme, ce qui requiert :

- l'identification des paramètres sur lesquels il peut agir ;
- la connaissance de leurs poids respectifs et de leurs modalités d'intervention dans le cadre des écosystèmes.

Il est donc amené à participer à l'étude de ces derniers, de leurs composantes et des relations qui se manifestent entre elles.

Nous évoquerons quelques aspects de ces travaux, après avoir esquissé à grands traits l'évolution récente de la situation agricole dans notre pays, considéré comme représentatif d'une zone « développée ».

I. — LES DONNÉES GÉNÉRALES DU PROBLÈME AGRICOLE EN FRANCE

De 1955 à 1971, la population française s'est accrue de 15,5 % environ. Pendant la même période, la consommation individuelle exprimée en calories, kilo de protéines et de matières grasses s'est modifiée.

	1955-1959	1971	Rapport 1971/ 1955-1959
<i>Calories</i>			
d'origine végétale	1 992	1 877	0,94
d'origine animale	1 085	1 325	1,22
Total	3 077	3 202	1,04
<i>Protéines</i>			
d'origine végétale	47,30 kg	36,60 kg	0,77
d'origine animale	51,10 kg	66,70 kg	1,30
Total	98,40 kg	103,30 kg	1,05
<i>Matières grasses</i>			
d'origine végétale	34,00 kg	43,80 kg	1,29
d'origine animale	90,40 kg	109,50 kg	1,21
Total	124,40 kg	153,30 kg	1,23

Ces chiffres sont représentatifs, aux coefficients près, de ce qui s'est passé dans l'ensemble des pays développés.

L'agriculture française a dû répondre, en majeure partie, à l'accroissement de la demande :

— en quantité, résultant de l'évolution démographique et du taux de consommation individuelle ;

— en qualité, ou nature de produits, en ce sens que des transferts visibles sur le tableau précédent se sont manifestés en faveur des denrées d'origine animale surtout. Poussant l'analyse un peu plus loin, on perçoit l'importance des mutations que ceci a pu induire, dans le souci d'ajuster l'offre à la demande.

	<i>Rapports des consommations individuelles de quelques produits agricoles : 1971/moyenne des années 1955-1959</i>
Céréales	0,72
dont blé	0,72
Sucre	1,27
Pomme de terre et féculents	0,77
Légumes	0,95
Fruits	1,49
Viande (total)	1,29
dont :	
Bœuf + veau + autres herbivores	1,07
Porc	1,25
Volaille	1,97
Œufs	1,17
Produits laitiers (total)	0,99
dont :	
Lait	0,80
Fromage	1,78
Matières grasses (total)	1,31
dont :	
Huiles végétales	1,45
Beurre	1,11

Il convient de noter que les produits animaux ne sont pas à proprement parler des produits primaires : ils résultent d'une transformation de végétaux plus ou moins aptes à satisfaire directement les besoins des hommes. Les ruminants herbivores sont d'assez mauvais transformateurs d'un matériau difficilement utilisable par l'homme, alors que le porc et la volaille, bien meilleurs transformateurs, ont cependant des exigences nutritionnelles très comparables, en nature, à celles de l'homme. Si l'on exprime en kilos d'orge (dont la valeur énergétique correspond à celle de l'unité fourragère : U.F.) la

quantité de denrées végétales utilisées pour produire les rations annuelles de viandes consommées en 1955, 1959 et 1971, on arrive respectivement à 395 et 470 pour les trois composantes principales : bœuf, porc, volaille. Cela signifie que, pour satisfaire cette évolution de la demande, il a fallu d'abord accroître la production végétale de l'équivalent de 75 kg d'orge par habitant.

En face de cette première partie de bilan, voyons de quels moyens généraux disposait l'agriculture.

La surface cultivée a légèrement diminué et les modes d'utilisation du territoire ont évolué comme suit :

(millions d'hectares)

	<i>Terres labourées</i>	<i>Surfaces toujours en herbe</i>	<i>Vignes</i>	<i>Bois et forêts</i>	<i>Territoire agricole non cultivé</i>
1955	18,6	12,3	1,5	11,4	4,4
1971	16,7	13,9	1,3	14,0	4,7

Dans le même temps, le nombre d'entreprises agricoles s'est réduit de 32 % environ, la fraction la plus touchée étant celle des exploitations de polyculture dont la taille était inférieure à 20 ha, exception faite des très petites, très spécialisées ou dirigées par des personnes retraitées ou ayant une autre activité.

La population active agricole a régressé constamment, dans des proportions légèrement plus faibles cependant.

On observe simultanément une mécanisation plus poussée, une spécialisation et une simplification de systèmes de production adoptés par les exploitants subsistant qui ont eu recours, de plus en plus, à des moyens d'intensification et d'industrialisation de la production.

	<i>Nombre de tracteurs</i>	<i>Engrais (milliers de tonnes d'éléments)</i>			
		<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>Total</i>
1955	305 700	355	699	540	1 594
1971	1 291 000	1 428	1 836	1 389	4 653

Ces constatations doivent faire frémir les écologistes... encore qu'elles ne fassent aucune allusion à la consommation de pesticides !

En quoi la science et la recherche interviennent-elles pour apporter des solutions fiables à l'ensemble des problèmes posés ?

II. — QUELQUES APPORTS DE LA RECHERCHE

Dans cette partie de l'exposé, nous tenterons, à la lumière de quelques touches, d'illustrer des séquences partant du laboratoire pour aboutir à l'exploitation agricole ou industrielle. Nous nous efforcerons de faire ressortir l'intérêt que présentent les actions entreprises, tant au niveau de l'acquisition de connaissances qu'à celui de la mise en œuvre de techniques ou de procédés assurant à la fois l'amélioration des productions, de leurs qualités, du cadre de vie et une évolution contrôlée des écosystèmes.

1. L'accroissement des productions

La superficie consacrée à la culture, nous l'avons vu précédemment pour la France, mais ceci est vrai pour l'ensemble du monde, est peu extensible. Il est donc indispensable d'accroître les rendements obtenus par unité de surface. Pour cela, on peut jouer sur plusieurs facteurs et, parmi eux :

- la nature génétique du matériel animal ou végétal employé ;
- les techniques d'élevage ou de culture qui mettent en jeu un nombre important de paramètres.

Finalement, tous ces facteurs relèvent du domaine écologique : ils concernent les êtres vivants, les conditions de milieu dans lesquelles ils sont placés et les interrelations entre ces éléments. Que certains auteurs aient cru bon d'isoler ou d'identifier l'« agrosystème » ne paraît pas réellement se justifier.

a) *La sélection de matériel animal et végétal plus performant*

Il est évident que la connaissance de la variabilité génétique des espèces domestiques et apparentées, du nombre de gènes intervenant dans le conditionnement de caractères importants, de méthodes d'utilisation optimale des

génotypes disponibles pour la création de matériel nouveau sont des éléments déterminants du progrès : les travaux de Borlaug en donnent une illustration.

Les objectifs des sélectionneurs sont multiples : accroissement de la productivité du matériel, de la résistance ou de la tolérance aux parasites ou ravageurs les plus courants, amélioration des qualités alimentaires ou technologiques des produits, etc.

Les études de cytogénétique, en particulier sur les genres et espèces apparentés au blé cultivé, ont déjà permis l'obtention soit de matériel cultivable, tels certains *Triticale* (*Triticum x Secale*), soit de lignées d'addition ou de substitution présentant des propriétés de résistance à des parasites pour lesquels on ne dispose pas, chez les diverses espèces cultivées de *Triticum*, de géniteurs dotés des mêmes qualités. Un cas particulier qui actuellement, avec la simplification des systèmes de production en zone céréalière, revêt un intérêt croissant est celui de la résistance au Piétin-Verse (*Cercospora herpotrichoides* Fron), dont les seules sources connues sont à rechercher chez *Aegilops ventricosa* Tausch. La connaissance précise du caryotype de cette espèce permet de mieux détecter les partenaires auxquels on peut faire appel dans le genre *Triticum*, pour « fabriquer » des intermédiaires susceptibles d'accueillir la majeure partie des gènes de résistance. L'isolement d'une série de lignées d'addition disomiques à partir de croisements avec un *Triticum* tétraploïde doit faciliter l'identification des chromosomes porteurs des gènes intéressants.

Notons, en passant, que cette recherche prend place dans un ensemble qui concourt à la mise en œuvre de la « lutte intégrée » dont nous reparlerons.

Un autre cas intéressant à citer est l'utilisation du cytoplasme de *Triticum Timopheevi*, dans la recherche de phénomènes de stérilité mâle qui permettent la fabrication de variétés hybrides, utilisées en F₁ pour bénéficier au maximum de l'accroissement de vigueur, donc de productivité, lié à l'état hétérozygote.

Les travaux théoriques de génétique quantitative, entrepris par Gallais et Guy, suivant Demarly, Gillois, Rouvier, notamment, permettent d'éclairer la notion d'héritabilité. Leur application à la définition de méthodes de sélection efficaces, puis de schémas de multiplication de races ou cultivars est source d'efficacité, voire d'économies substantielles, dans les processus de création et de mise à disposition de moyens de production nouveaux. Ces travaux servent aussi de base à l'élaboration d'une politique de constitution de

Nul n'ignore qu'il s'agit d'un problème de portée mondiale évoqué notamment à la conférence de Stockholm. La réduction progressive de la variabilité génétique des populations animales, par exemple, est la conséquence de l'application continue d'une pression de sélection s'exerçant dans des directions maintenues depuis la fin du siècle dernier. Elle peut s'accélérer grâce au développement de l'insémination artificielle si nous n'y prenons garde.

Il y a vingt ans, on exploitait vingt-cinq à trente races de bovins, en France ; actuellement, 90 % des inséminations artificielles réalisées le sont à l'aide de sperme de taureaux appartenant à cinq races seulement. En même temps, les effectifs de troupeaux subsistant dans celles qui sont en régression s'amenuisent très dangereusement. Or, il n'est pas évident qu'un schéma de production de viande de bœuf, calqué sur celui qui a donné naissance à l'exploitation de la poule *Vedette-I.N.R.A.*, ne soit pas intéressant à mettre en œuvre. Rappelons, en quelques mots, de quoi il s'agit. Une combinaison génétique récessive maintenue dans une souche permet d'obtenir des poules dont le poids adulte est inférieur de 30 % à celui des poules normales. Si la Vedette est accouplée à un coq « lourd », elle fournit des poussins dont la taille et la croissance sont comparables à celles des produits de croisement classiquement utilisés. L'économie d'alimentation réalisée pour l'entretien d'un troupeau de pondeuses est, grosso modo, proportionnelle au poids des animaux. Il s'ensuit qu'en disposant de ressources limitées, on peut en mieux répartir l'usage et, de ce fait, accroître la production destinée aux consommateurs. Ce schéma pourrait se transposer chez les bovins à condition que l'on dispose d'un effectif suffisant de femelles de taille réduite, comme il en existait dans certaines races locales en voie de disparition.

Dans une autre direction, les activités des laboratoires qui s'intéressent à la *biologie cellulaire* ouvrent des perspectives originales : la mise au point de techniques de culture de protoplastes (Chupeau) permet d'envisager l'obtention d'hybrides somatiques, ce qui résoudrait certains cas où les barrières rencontrées lorsque l'on passe par la voie sexuelle conduisent à des échecs, même en ayant recours aux cultures d'embryons. L'obtention de *plantes haploïdes* à partir d'anthers placées dans des milieux appropriés mène à la création d'individus homozygotes souvent utiles aux généticiens. *Les cultures de tissus végétaux*, domaine de recherche particulièrement cher au professeur Gautheret, animateur de ce colloque, ont autorisé bien des progrès remarquables. Citons trois exemples d'application dont deux sont dus à l'activité de G. Morel, en particulier :

- la régénération de plants indemnes de virus ou d'autres infections bactériennes et fongiques, chez bon nombre d'espèces cultivées ;
- la multiplication végétative d'espèces florales (orchidées, lis) ou maraîchères (asperge, chez qui les sexes sont séparés et le dimorphisme sexuel se manifeste de façon très nette sur le rendement) ;
- la perspective d'organiser la production de certaines substances d'intérêt pharmaceutique à partir de cultures de tissus prélevés sur des espèces telles que la Digitale (*Digitalis purpurea*), la Belladone (*Atropa belladonna*), la Pervenche (*Vinca minor*), d'après les résultats récemment publiés par Petiard et Demarly qui, par ailleurs, poursuivent leurs travaux sur la régulation comparée, in vivo et in vitro, chez les végétaux supérieurs.

Pour conclure ce paragraphe, il convient de rappeler que la simple application de connaissances « classiques » de génétique a participé pour une bonne part à :

- la création de matériel végétal :
 - doté d'une productivité plus élevée : céréales classiques, Tournesol hybride,
 - mieux « adapté » aux conditions climatiques naturelles ou artificialisées :
 - hybrides de Maïs, variétés de Riz, de Blé dur cultivables dans des zones plus étendues,
 - variétés de Laitue de serre ne montant pas à graines sous une durée d'éclairement plus longue, etc.,
 - fournissant des produits de meilleure qualité : Colza dépourvu d'acide érucique et dont les tourteaux ne contiennent pas de thioglucosides,
 - résistant aux divers parasites et ravageurs, ce qui assure une régularité de production, tout en participant à la réduction d'emploi de pesticides :
 - Tomates résistant au *Verticillium*, au *Fusarium*, à la maladie des racines liégeuses, aux Nématodes,
 - Laitue résistant au virus de la mosaïque qui en compromettrait la culture dans toute la zone maraîchère parisienne, etc. ;
- l'amélioration des animaux domestiques :
 - pour leurs performances de production : la mise au point de systèmes de collecte et d'interprétation des données de contrôle de performance, de schémas de sélection aboutissant au choix de reproducteurs permet

depuis plusieurs années d'accroître la production laitière moyenne par vache, par an,

- pour leurs performances de reproduction : le gain de prolificité obtenu par croisement entre diverses races ovines françaises et des géniteurs de la race Romanov avoisine 0,3 agneau par brebis et par an : la productivité annuelle passe de 1 agneau sevré par brebis-mère à la lutte (26,3 kg à 90 jours) à 1,8 agneaux sevrés par femelle croisée (45 kg à 90 jours),
- pour leur aptitude à valoriser les aliments ingérés : en 1950, il fallait 13 semaines pour obtenir un poulet de poids commercial avec un indice de consommation de 4,5 (4,5 kg d'aliment pour 1 kg de gain de poids). Actuellement, il suffit de 7 à 8 semaines pour obtenir le même poulet et l'indice de consommation n'est plus que de 2,
- pour la qualité des produits fournis :
 - la connaissance de l'hérédité du caractère *culard*, rencontré dans les races bovines *Charolaise*, *Maine-Anjou*, *Blonde d'Aquitaine*, permet d'organiser son utilisation : les rendements en carcasse et la composition de celle-ci s'en trouvent améliorés sensiblement,

	Taurillons Charolais de 20 mois	
	Normaux	Culards
Rendement en carcasse	71 %	74 %
Composition de la carcasse :		
Os	13,1 %	11,3 %
Muscles	68,7 %	79,6 %
Tissus adipeux	14,5 %	6,0 %
Autres constituants	3,7 %	2,1 %

- en plus de cet accroissement de rendement en carcasse, on a observé que l'hypertrophie musculaire visible chez ces animaux résultait essentiellement d'une augmentation du nombre total de fibres, en particulier de fibres blanches. Il s'ensuit que la trame conjonctive et la teneur en collagène sont réduites, d'où une plus grande tendreté de la viande.

Ce ne sont là que quelques exemples des progrès rendus possibles par les travaux de recherche en génétique et biologie cellulaire.

Disposer d'un matériel doté d'un potentiel de production élevé est une chose, savoir faire exprimer à ce matériel une production se rapprochant de plus en plus de ce potentiel en est une autre, qui fait appel à la connaissance des relations (génotypes x milieu) sur lesquelles l'homme peut avoir prise. Une grande partie des travaux menés dans le cadre de l'I.N.R.A. se rapporte à ce thème général.

b) *La connaissance des relations « espèces utiles x milieu » et l'évolution des techniques*

— En matière de *production animale*, l'un des exemples les plus démonstratifs est celui de l'étude de l'incidence de la programmation de l'éclairement sur les performances des poules pondeuses. Dans la nature, les oiseaux pondent leurs œufs au printemps. La poule ne fait pas exception à cette loi. Pour satisfaire une demande soutenue, il fallait tenter d'expliquer les raisons du déclenchement de la ponte afin d'être en mesure de le maîtriser. On connaissait l'importance de la lumière dans la manifestation des phénomènes sexuels des oiseaux, par exemple, de l'ovulation : selon que la durée journalière d'éclairement augmente ou diminue, la date de maturité sexuelle avance ou retarde. Par ailleurs, les caractéristiques de la ponte ultérieure en dépendent. Quel programme lumineux convient-il d'appliquer durant la croissance des poulettes afin de leur faire atteindre leur maturité sexuelle à des époques échelonnées ? Laccassagne et ses collaborateurs ont pu le définir, ou plutôt les définir car, selon les souches, le programme optimum varie.

L'intérêt de l'application de cette technique ne réside pas seulement en la maîtrise des dates d'entrée en ponte des troupeaux : en effet, si l'on retarde la maturité sexuelle des oiseaux, on agit simultanément sur le poids moyen des œufs pondus, la fréquence de ceux qui présentent des malformations et, en particulier des jaunes doubles, enfin, sur la solidité de la coquille, qui est nettement améliorée.

Chez l'adulte, la lumière intervient sur l'ovulation. Laccassagne a montré que celle-ci est en relation avec une extinction de la lumière 14 heures plus tôt, le séjour dans le noir déclenchant la sécrétion de l'hormone d'ovulation. On pourrait donc théoriquement accroître la production d'œufs en soumettant les pondeuses à des nycthémers courts... si la ponte ovulaire n'était pas liée à d'autres facteurs, tels que la maturation du follicule. Sur

ce point, on ne connaît pas encore suffisamment de choses... et les travaux de recherche se poursuivent : un aspect du problème de la production d'œufs étant cependant résolu.

— L'un des éléments indispensables à la vie et, partant, à la *production végétale*, est l'eau, dont on sait que les ressources sont limitées, au moins si l'on considère l'expression géographique de la demande. Depuis une vingtaine d'années, d'importants programmes de travail ont été consacrés à ce thème, dans le cadre de l'I.N.R.A., au niveau de disciplines aussi diverses que Sciences du Sol, Bioclimatologie, Physiologie Végétale, etc. Le concept d'évapotranspiration potentielle (E.T.P.), notamment, a été défini par les Bioclimatologistes, des méthodes approchées d'estimation de l'E.T.P. ont été établies et ont servi de base à l'avertissement à l'irrigation. L'analyse de l'évolution des besoins instantanés d'une culture en place, dans un sol de caractéristiques déterminées quant à sa capacité de cession d'eau aux plantes, sous un climat donné, fait apparaître des séquences au cours desquelles la « demande » en eau est nettement inférieure à l'E.T.P. et d'autres où cette demande se rapproche, voire excède l'E.T.P. « conventionnelle ». Une bonne gestion des ressources en eau implique une parfaite connaissance de ces cycles de besoins, car le rendement de certaines cultures est très nettement affecté par un manque d'approvisionnement aux stades « critiques » de la végétation : floraison du tournesol et du maïs, début de formation des gousses chez le soja, la féverole, etc. L'analyse des échanges entre les plantes et l'atmosphère revêt un intérêt tout particulier. Or, on sait que l'on peut agir de façon très spectaculaire sur leur volume, en ayant recours aux brise-vents : une expérience déjà ancienne, conduite dans la région parisienne en 1962, a montré que le rapport quantité d'eau consommée/poids de grain produit par du blé Cappelle, pouvait varier de 605 à 740 selon que l'on se trouvait en espace ouvert ou protégé, le rendement dans ce dernier cas étant de 15 % supérieur. Un apport d'eau complémentaire à une culture protégée est très nettement valorisé puisque la production s'accroît encore de 11 %, le rapport eau consommée/poids de grain s'abaissant à 450. L'utilisation de ces données combinées à celles que fournissent les relevés pédologiques, la connaissance des propriétés des sols, notamment de leur réserve en eau facilement utilisable, celle des besoins saisonniers des cultures, des caractéristiques climatiques moyennes d'une zone, des effets de divers types d'obstacles insérés sur le parcours des vents, etc., permet de définir des modalités d'aménagement du territoire adaptées à des objectifs de « survie » d'une population en croissance.

2. La limitation des nuisances

a) *La protection des plantes cultivées et les problèmes qu'elle pose*

Il est commun de penser qu'une agriculture intensive est, par principe, utilisatrice d'une quantité croissante (en nature et en tonnage) de pesticides : l'E.P.C.E. cite un accroissement de 300 % du tonnage employé entre 1951 et 1966.

Il faut noter, depuis cette époque, une tendance assez générale :

- à la limitation d'emploi de certains types de produits ;
- à la diversification des systèmes de lutte faisant appel soit à des substances nouvelles, bio-dégradables, non toxiques, éventuellement d'origine biologique, soit à la conjonction d'une série de facteurs aptes à réduire sensiblement les effets des parasites et ravageurs sur les récoltes.

A titre d'illustration de la première tendance, citons quelques chiffres extraits des rapports annuels édités par la F.A.O., portant sur la consommation de pesticides (en t.).

	<i>Moyenne des années</i>		
	<i>1961-1965</i>	<i>1969</i>	<i>1970</i>
Insecticides organo-chlorés :			
U.S.A.	27 784	13 724	11 547
Europe (13 pays)	14 986	20 565	17 933
Insecticides organo-phosphorés :			
U.S.A.	35 381	46 000	25 117
Europe (11 pays)	11 903	12 134	14 580
Insecticides arsenicaux :			
U.S.A.	5 477	4 462	3 973
Europe (5 pays)	1 275	1 331	1 446
Fongicides à base de sels de mercure :			
U.S.A.	837	669	0
Europe (10 pays)	918	959	944

L'examen plus détaillé de ces statistiques montre que le faible taux de réduction noté pour certains produits est lié à l'accroissement de leur utilisation dans des pays en voie d'accession à un niveau de développement satisfaisant, alors que dans ceux qui ont atteint ce stade, la régression suit une tendance tout à fait comparable à celle que l'on observe aux U.S.A., ceci avec un léger décalage dans le temps.

Les législations nationales et régissant les échanges internationaux ne sont pas sans effet sur l'évolution de cette consommation ; les experts chargés d'éclairer les législateurs se recrutent parmi les chimistes, physiologistes, toxicologues, nutritionnistes, phytopharmaciens, vétérinaires, etc. Un des rôles sociaux des chercheurs apparaît ici. Mais ils agissent également de toute autre façon.

Une première voie d'action classique consiste, en affinant la connaissance de la biologie des agents responsables de maladies ou provoquant des dégâts aux cultures, à définir une stratégie de lutte beaucoup plus efficace requérant l'emploi d'une quantité réduite de pesticides, appliqués localement plutôt que sur une surface importante. Deux exemples classiques maintenant méritent d'être évoqués.

Pour combattre la tavelure du pommier et du poirier, on faisait en moyenne douze traitements par an. Darpoux et ses collaborateurs ont montré que les contaminations primaires se faisaient en avril-mai, à partir d'ascospores libérées par les périthèces, formes d'hivernation des *Venturia inaequalis* et *pirina*, présents sur les feuilles mortes. Un seul traitement effectué à l'automne, entre la récolte et la chute des feuilles, avec un fongicide systémique (endothérapique), inhibe la formation des périthèces et, de ce fait, réduit ou annule presque complètement la production d'ascospores au printemps suivant.

Les études sur les déplacements du hanneton commun (*Melolontha Melolontha*) poursuivies par ROBERT, notamment, ont mis en évidence que les adultes sont doués d'une faculté d'orientation qu'ils utilisent en cours de migration. Ils se rassemblent donc sur des points restreints de forêts, où il est facile d'estimer l'importance des populations. Si l'on couple cette information à celles dont on dispose sur les potentiels de reproduction, d'une part, la définition de seuils de nuisibilité, d'autre part, il devient possible de décider de l'opportunité d'une intervention parfaitement localisée. Le spectre

de l'avion ou de l'hélicoptère déversant des tonnes d'insecticides sur l'ensemble d'une zone, y détruisant indistinctement ravageurs et insectes utiles devrait disparaître, au fur et à mesure que nos connaissances en une telle matière s'étoffent.

Les autres approches relèvent de la recherche de moyens d'appliquer des méthodes de *lutte intégrée*, dont l'objectif n'est plus d'exterminer ou de vouloir exterminer à tout prix, mais de contenir les populations des organismes nuisibles à des niveaux où ils ne causent pas de dommages économiques. Pour y parvenir, on envisage de « manipuler » certains éléments de l'écosystème afin de favoriser les facteurs ou les interactions limitant l'action néfaste d'un ou plusieurs organismes déprédateurs. Ces facteurs sont nombreux : il peut s'agir de caractéristiques propres des plantes hôtes, d'origine génétique, résultant de l'application de traitements ou de l'adoption de modalités particulières de conduite des cultures ; il peut s'agir également de l'introduction dans l'écosystème d'éléments biologiques compétitifs vis-à-vis des parasites ou ravageurs à juguler, etc.

Quelques exemples illustreront la diversité des voies possibles et leur efficacité.

En thérapeutique animale, on compte beaucoup sur les phénomènes d'immunogénèse ; il semble cependant, pour ce qui concerne la peste porcine, que le recours systématique à la sérovaccination ait induit le développement de variants sérologiques du virus responsable de cette affection, ce qui se traduit par le maintien de formes sub-cliniques ou chroniques de la maladie. Le recours à une vaccination sans sérum, à l'aide de souches vivantes parfaitement contrôlées, sans pouvoir pathogène résiduel, est une solution à ce grave problème ; elle résulte de travaux de recherches de pointe qui ont permis d'isoler en culture cellulaire une souche « froide » du virus (*Asso et Col.*) à pouvoir pathogène atténué, ne se multipliant pas de façon décelable *in vivo* mais à pouvoir immunogène intense, l'index de neutralisation étant supérieur ou égal à 4. Très récemment, Maury, travaillant sur cellules isolées, a mis en évidence des possibilités d'induction de « résistance » de végétaux aux maladies à virus qui les atteignent. Par des interférences entre virus et souches de virus, on peut espérer protéger diverses cultures contre les effets des maladies les plus dépressives : d'ores et déjà, des plants de tomate « prémunis » contre la mosaïque du tabac ont pu être utilisés en production.

Certains virus sont capables d'infecter des champignons, en atténuant leur pouvoir phytopathogène : cette méthode d'intervention est en cours d'étude ; on sait qu'elle peut être efficace dans la lutte contre le Pietin échaudage des céréales (*Ophiobolus graminis*), d'après les travaux de Lemaire.

L'exploitation d'une souche hypovirulente d'*Endothia parasitica*, agent responsable de la maladie du chancre du châtaignier qui détruit les plantations de cette espèce, est en cours. Introduite dans un chancre, cette souche provoque sa cicatrisation et se disperse autour du site d'introduction.

Dans le domaine de la *lutte biologique*, il faut bien citer l'exemple, maintenant « industrialisé » de l'utilisation des bactéries pathogènes, entre autres de *Bacillus thuringiensis*, dont les propriétés ont été mises en évidence par Beguin et Grison, chercheurs de l'Institut Pasteur et de l'I.N.R.A. travaillant en commun. L'insecticide produit à partir de certaines souches de *Bacillus thuringiensis* s'emploie de la même manière que les pesticides chimiques, mais il a le très grand avantage d'être sans danger pour l'homme et les animaux supérieurs, tout en présentant la spécificité de détruire un certain nombre de chenilles sans nuire aux entomophages utiles.

L'exploitation des antagonismes naturels aboutissant à des « traitements par insectes » est également une voie classique, appliquée avec succès dans des cas de plus en plus nombreux, au même titre que le lâcher de mâles stérilisés ou de géniteurs « fabriqués » au laboratoire et porteurs de caractères létaux.

De nouvelles pistes sont en cours de prospection : j'en citerai deux plus particulièrement. L'identification de la nature chimique des « signaux sexuels (phéromones) qui jouent un rôle important dans la rencontre des reproducteurs permet de les utiliser comme attractif et d'intervenir si besoin est en éliminant une forte proportion des individus d'un sexe. On peut aussi découvrir, par la même voie, des « répulsifs » gênant considérablement la rencontre des partenaires. L'idée de perturber la mue et la métamorphose des insectes, développée par Williams dès 1956, a progressé du fait que l'on a pu isoler les hormones intervenant dans ces phénomènes, définir leur mode d'intervention, enfin découvrir des substances à activité mimétique chez les plantes et divers animaux. Ces dernières, « analogues » d'hormones, ont souvent une spécificité étroite. Leur emploi ne présenterait donc pas l'inconvénient d'agir indistinctement sur les ravageurs et les auxiliaires.

Dans un paragraphe consacré à la protection des plantes cultivées, on ne peut ignorer le chapitre des herbicides, d'autant moins que leur emploi va croissant.

	<i>Tonnages utilisés</i>		
	<i>1961-1965</i>	<i>1969</i>	<i>1970</i>
U.S.A.	82 617 t	146 682 t	146 515 t
Europe (15 pays)	16 300 t	43 958 t	50 068 t

Indépendamment de leur action sur la flore des zones cultivées, on leur attribue bien d'autres effets sur le métabolisme des végétaux traités, la microflore et la microfaune du sol, voire des eaux recueillies par drainage ou ruissellement en aval de surfaces traitées, enfin, parfois même, sur le gibier. Il est fondamental, en une telle matière, de connaître l'évolution normale des produits soumis à l'action de systèmes enzymatiques de la microflore du sol ou des végétaux cultivés, et le mode d'intervention du sol en tant que tel, quant aux capacités d'absorption des molécules initiales et de leurs métabolites. Des travaux en ce sens sont conduits dans des laboratoires relevant de plusieurs départements : physiologie végétale, malherbologie, phytopharmacie, science du sol, expérimentation et information.

On a pu montrer, entre autres, que même si les produits utilisés en culture sont, à des concentrations très faibles, assez toxiques vis-à-vis des *Diatomées*, et plus particulièrement des *Navicules* peuplant les parcs à huîtres de Charente-Maritime, la teneur des eaux de ruissellement et de drainage provenant de parcelles traitées en résidus d'herbicides utilisés (molécules initiales et métabolites), n'était pas décelable, même en ayant recours aux instruments d'analyse les plus perfectionnés : l'absorption de ces produits par les argiles des sols de bri (50 à 60 % d'argile) éliminant de tels risques. Cette observation est importante si l'on sait qu'après mise en valeur, les « marais » de cette zone sont capables de produire 70 qx/ha de blé ou de maïs, 1 t/ha de gain de poids vif de bovins à l'embouche, au lieu des 50 kg enregistrés en système de production traditionnel !

Une autre donnée mérite d'être citée : on a souvent incriminé l'utilisation du 2,4 D (acide 2.4. dichlorophénoxyacétique) en tant qu'élément responsable de la réduction des populations de *Perdrix*, dans les zones de culture intensive. Une expérimentation précise, conduite par Mlle de Lavour, démontre qu'aux doses normalement utilisées ce produit n'a aucun effet sur l'éclosion des œufs et la survie des jeunes. Par contre, Birkan a mis en évidence l'importance de l'effet de compétition entre faisan et perdrix, pour la nidification dans les cultures en bordures des bosquets et la concurrence exercée indirectement par le lièvre qui broute les plantes adventices.

Il est évident que bien des aspects de l'utilisation des herbicides mériteraient d'être évoqués, et parmi eux, il en est qui mettent en évidence des aspects négatifs, ne serait-ce que ceux des déviations du métabolisme de l'azote chez les végétaux traités, menant à l'accroissement parfois dangereux de leur teneur en nitrate. L'amélioration des conditions d'utilisation de ces produits est à prendre en considération : les travaux poursuivis s'orientent notamment dans cette voie.

b) *Quelques autres cas*

L'un des aspects caractéristiques d'une technologie avancée est, entre autres, la concentration des unités de production et de traitement des produits. Il s'ensuit que les risques de pollution se cristallisent en certains sites, ce qui peut rompre certains équilibres « épurateurs » antérieurs, et poser des problèmes difficiles à résoudre.

L'ensemble des industries agricoles et alimentaires doit éliminer une charge polluante représentant environ 20 % de la pollution générale en France, contre 32 % imputables à l'urbanisation et 48 % aux autres industries.

Bon nombre de travaux sont orientés actuellement sur ces sujets, avec, comme axes principaux d'approche : une analyse de la nature et du rythme de production de produits polluants par les installations en place, la définition de stratégies d'intervention possibles (correction de composition des effluents permettant une dégradation normale, séparation des éléments inhibant ou freinant la mise en route d'une activité fermentaire, etc.), enfin la sélection

d'agents (bactéries-levures) susceptibles d'intervenir plus efficacement dans les processus fermentaires, éventuellement capables de valoriser les sous-produits rejetés. Par exemple, la bagasse résiduelle du traitement de la canne à sucre peut servir de support à des cultures de levures du type *Candida utilis* riches en protéines et utilisables en alimentation animale.

La concentration de certains élevages (porcs, volailles) représente une source de pollution notable. On a pu préciser la D.C.O. (demande chimique en oxygène) caractéristique des effluents d'un porc : elle varie de 43 à 620 g/jour, selon l'âge de l'animal. La nature des rations et la quantité ingérée jouent un rôle important dans la pollution émise, ainsi d'ailleurs que le mode de logement : l'utilisation d'une litière de paille, par exemple, entraîne une réduction de 50 % du taux d'azote dans l'effluent liquide.

Le recueil de toutes ces données, l'approfondissement de la connaissance du pouvoir épurateur des sols, des modalités d'intervention possibles sur cette propriété, elle-même fonction de caractéristiques physiques, chimiques, physico-chimiques, ainsi que de la nature et de l'abondance de la microflore, font l'objet des préoccupations de plusieurs groupes de travail, au sein de l'I.N.R.A.

Cette allusion au rôle fondamental du sol dans la régulation de bien des phénomènes biologiques sert de transition pour aborder un autre problème souvent évoqué dans les réflexions générales relatives à notre devenir : l'utilisation des engrais, selon les thèses développées couramment, serait à l'origine de son appauvrissement progressif... la réciproque, bien que non clairement exprimée, étant supposée vraie.

3. Conservation du potentiel du sol... ou exploitation minière ?

Depuis bien longtemps, les agronomes ont eu le souci d'établir des « bilans », au niveau des exploitations et des diverses parcelles ou sols qui constituent un élément essentiel de leur « capital ». Olivier de Serres, au début du XVII^e, parlait du « ménage des champs », expression que l'on traduirait, dans le français actuel, par « management ».

Depuis cette époque, les études de ces bilans se sont multipliées, prenant en compte progressivement de plus en plus de facteurs sur lesquels des éléments corrects d'appréciation devenaient disponibles. Que faire pour maintenir au moins un « équilibre » entre les exportations croissantes des productions, elles-mêmes croissantes, et les apports de fertilisants ? Et même si, élément par élément, cette « balance » est maintenue, les composantes principales, entre autres la matière organique qui joue un rôle important dans le comportement physique et chimique des sols, demeurent-elles dans une situation telle que les « capacités » de ceux-ci ne s'en trouvent point affectées ?

Les progrès de la chimie et de la physico-chimie, les mesures effectuées en ayant recours, le cas échéant, aux isotopes de certains éléments indispensables à la constitution et au fonctionnement normal des êtres vivants, des estimations de plus en plus précises des exportations des récoltes, puis de leurs transferts, au travers des utilisations qui en sont faites, représentent des bases d'élaboration d'une certaine « philosophie » de l'entretien des sols cultivés. Le rôle du complexe argilo-humique, doté d'un pouvoir absorbant qui pondère les échanges entre la solution du sol et la plante, est progressivement mieux connu. Les possibilités et les limites de substitution d'un cation à un autre dans ces échanges se précisent. A l'échelle du « Cultivar », les mesures de capacités d'échanges entre plante et solution nutritive amènent à sélectionner des biotypes mieux adaptés, c'est-à-dire capables de mieux valoriser les ressources disponibles en un site déterminé : il n'est pas exclu, par exemple, que l'on crée des variétés productives, même en milieu relativement peu ou trop pourvu en tel élément indispensable, le matériel végétal « acceptant » certaines substitutions, ou filtrant efficacement ses absorptions.

En première approximation, les connaissances acquises en matière de dynamique des principaux ions dans les sols montrent que les échanges ne se développent pleinement que si la quantité de cations échangeables présents dans le milieu atteint un niveau suffisamment élevé. Le complexe absorbant est en effet, chargé négativement. Ceci explique que, dans des terres très appauvries, il faille consentir des apports d'importantes quantités d'engrais pour amorcer un enrichissement, alors que si un seuil minimum est atteint, on peut se permettre de réduire les apports à la couverture des exportations. Cette stratégie est applicable aux éléments captés par le complexe absorbant, notamment Ca^{++} , K^+ , NH_4^+ , un anion, PO_4^- qui bénéficie d'un pont formé par les cations Ca^{++} ou qui est fixé sous forme de composés phospho-humiques.

A la lumière de ce condensé, il apparaît que les zones agricoles fertiles ont, toutes proportions gardées, le moins besoin de fertilisants et, paradoxalement, sont les plus grandes utilisatrices d'engrais. Bien sûr, l'élément de pondération à faire intervenir est celui du niveau des exportations qui, grosso modo, est proportionnel à la quantité de matière sèche produite et exportée.

On estime ces exportations, en agriculture intensive, à :

100 à 150 kg/ha de N

20 à 60 kg de P

100 à 200 kg de K

selon la nature et le niveau des productions.

L'anion PO_4^- et le cation K^+ sont fixés de façon assez énergique par le complexe, si bien que des excès d'apports de fertilisants ont très peu de chances de se traduire par des risques de pollution : sur 1 m de sol, on peut absorber, par exemple, jusqu'à 70 t/ha de potassium et 10 t de phosphore ! Réciproquement, pour obtenir une réponse à l'absence de fertilisation phosphatée et potassique dans un sol de limon normalement pourvu à l'origine de l'expérience, il a fallu plus de dix années.

Le problème de l'azote se présente sous une forme très différente. En effet, seule la forme NH_4^+ est fixée par le complexe ; par contre NO_3^- , lui, n'est pas retenu et peut migrer librement. C'est d'ailleurs essentiellement sous ces deux formes que les plantes absorbent. Le sol contient aussi, le plus souvent, de l'azote organique. Celui-ci se minéralise progressivement sous l'action de la flore microbienne. On admet dans un système à fonctionnement normal, que chaque année 1,5 à 2 % des réserves d'azote organique passent à l'état nitrique, si la structure physique, le pH et le pouvoir tampon, l'aération, la température du sol, sont favorables à la vie microbienne. Sous les climats tempérés, le sol fournit sur ses réserves, en moyenne, les deux tiers de l'azote absorbé par les végétaux cultivés, le dernier tiers étant fourni par les engrais. Il importe donc de veiller tout particulièrement au « bilan » de cet élément pour assurer une nutrition correcte des cultures tout en évitant la pollution des eaux.

Sources (en millions de t de N)

	1930	1947	1969
Fertilisants	0,3	0,7	6,8
Fixation	2,7	2,7	3,0
Fumures organiques	1,9	1,3	1,0
Résidus de récoltes	1,1	1,5	2,5
Pluie	0,8	1,0	1,0
TOTAL	6,8	7,2	14,8
<i>Exportations :</i>			
Récoltes	4,6	6,5	9,5
Erosion	5,0	4,0	3,0
Lessivage N du sol	4,0	3,0	2,0
Lessivage N des engrais	0	0	?
Dénitrification	?	?	?
TOTAL	13,6	13,5	14,5

On s'aperçoit qu'il est à peine équilibré... malgré l'accroissement considérable des recours aux fertilisants. Or, le rôle de l'azote est déterminant dans tout processus biologique.

On note également l'importance croissante des résidus de récolte qui, bien entendu, sont proportionnels aux productions et constituent l'essentiel du réapprovisionnement en matière organique du sol. On peut donc se demander, comme l'ont fait Barbier et Hébert il y a déjà quelques années, si dans les grandes exploitations céréalières spécialisées, ayant abandonné l'élevage et, de ce fait, certaines cultures considérées jusqu'alors comme « restauratrices » de fertilité ainsi que l'usage du fumier, il est possible de sauvegarder l'un des éléments de « stabilité » du potentiel des sols.

Selon Barbier, l'humus stabilisé est détruit à la cadence de 1,5 à 2 % en moyenne, par an. Une terre bien cultivée contient habituellement environ 2 % d'humus, ce qui correspond, pour une épaisseur de sol travaillé de 25 cm, à 60 t/ha. Les pertes annuelles se situent donc au niveau de 1 t/ha. En

moyenne, les cultures intensives laissent, sous forme de racines et détritiques divers :

- pour la betterave 1.300 à 1.500 kg/ha d'humus
- pour le blé 400 à 600 kg/ha (chaumes seulement)
- pour le colza 1.500 à 2.000 kg/ha
- pour le maïs 2.000 kg/ha (paille entière)

Globalement, à l'exception des cas où l'on pratiquerait une monoculture stricte de blé, en retirant la paille, le bilan humique des sols est assuré et même la situation, sous ce simple aspect, a tendance à s'améliorer. Dans l'hypothèse de monoculture du blé, on peut même arriver à la maintenir en équilibre en enfouissant 2 à 3 t de paille/ha, ce qui n'excède pas la quantité produite, 1 t de paille étant susceptible de donner après transformation, 250 kg d'humus stable. Un seul problème est à résoudre : la teneur moyenne en N d'une paille étant de 0,5 % environ, celle de l'humus de 5 %, il faut, sous réserve de voir se manifester un déficit d'approvisionnement de la culture suivante, au profit de la population bactérienne du sol assurant les transformations successives du matériau initial, apporter environ 10 kg d'azote minéral par tonne de paille enfouie. De multiples vérifications de l'exactitude de ces bilans ont été effectuées.

Pour en terminer sur ce point, il paraît bon de livrer à votre réflexion les données fournies par des expérimentations de longue durée, dont il existe au moins deux exemples sensiblement de même âge en Europe, l'une étant conduite à Rothamsted (Grande-Bretagne), l'autre à Grignon, engagée à l'initiative de Deherain dès 1875. Cette dernière donne la mesure, en termes de rendements en blé et en betteraves (nous avons vu que la consommation de sucre s'accroissait), des effets d'absences prolongées de fertilisation, de la lenteur avec laquelle on peut y remédier, des importances relatives de l'approvisionnement du sol en divers éléments pour ces deux cultures, etc.

<i>Traitements</i>	<i>Rendements en blé (q/ha)</i>	<i>Rendements en betterave (t/ha)</i>
Sans engrais depuis 1875	8,9	8,2
Sans engrais depuis 1902	10,7	9,6
Sans engrais depuis 1931	12,9	13,0
NPK depuis 1902	26,9	41,1
NK depuis 1929	22,1	15,9
PK depuis 1929	14,8	17,3
NP depuis 1929	17,7	36,3
Fumier seul depuis 1929	25,6	31,2

Il ne peut être question, dans la situation où nous nous trouvons, de proscrire l'usage des engrais, usage raisonné bien sûr, assurant à la fois un niveau de production suffisant et le maintien du capital de base de l'agriculture : le potentiel de production des sols. Les recherches poursuivies tant en physiologie de la nutrition minérale des espèces cultivées qu'en microbiologie, chimie, physico-chimie des sols et de leurs constituants fournissent là encore une partie des bases nécessaires à la définition d'une politique cohérente.

III. — CONCLUSION

Dans la version française « Changer ou disparaître » de « Blueprint for survival », Goldsmith, Allen et leurs collaborateurs estiment que : « le grand art, pour une agriculture soucieuse de sa réussite à long terme, consisterait à rechercher le palier optimum (de fécondité d'un écosystème complexe) en imitant l'écosystème préexistant de telle sorte que les espèces inoffensives pour les cultures servent à la régulation naturelle des espèces indésirables ».

Une telle expression ne peut représenter qu'une fraction de l'objectif d'une agriculture moderne qui, tout en conservant peut-être certaines caractéristiques d'un art, a de plus en plus un rôle de « service » vis-à-vis de l'ensemble de la société, pour ce qui est de son approvisionnement en denrées alimentaires, de la conservation et si possible de l'amélioration d'un capital productif dont nos successeurs auront plus besoin que nous encore, enfin de l'entretien d'un espace de détente indispensable aux urbains dont la proportion croît dangereusement pour eux-mêmes, pour la société... et pour l'écosystème dont l'homme fait partie !

Puissions-nous, grâce à nos efforts, accéder à l'une des dernières visions de l'Apocalypse : « Il me montra aussi un fleuve d'eau vive, brillant comme du cristal... Au milieu de la place de la ville, sur les deux rivages du fleuve, était l'arbre de vie, portant douze fruits, et chaque mois donnant son fruit ; et les feuilles de l'arbre sont pour la guérison des nations. »

J. REBISCHUNG,
Inspecteur Général de la Recherche Agronomique,
I.N.R.A., Paris.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, Sammelbericht Umweltschutz in Land- und Forstwirtschaft, Berichte über Landwirtschaft, 50, 1, 2 et 3, 792 p., 1972.
- F.A.O., *Annuaire de la production*, vol. XXVI, 496 p., 1972.
- GOLDSMITH E., ALLEN R., ATTABY M., DAVULL J., LAWRENCE S., *Changer ou Disparaître*, 158 p., Fayard, Paris, 1972.
- GROS A., « Engrais - Guide pratique de la fertilisation », 356 p., *La Maison rustique*, Paris, 1957.
- HEDIN L., KERGUELEN M., de MONTARD F., *Ecologie de la prairie permanente française*, 229 p., Masson, Paris, 1972.
- I.N.R.A., *L'I.N.R.A., XXV^e anniversaire*, 376 p., S.P.E.I., Paris, 1972.
- I.N.R.A., *L'I.N.R.A. et l'Environnement*, 224 p., I.N.R.A., Paris, 1972.
- I.N.R.A., *Recherches en productions animales (1969-1972)*, 320 p., S.E.I., Versailles, 1973.
- JARRIGE R., *Les recherches bovines à l'I.N.R.A.*, 150 p., I.N.R.A.-I.T.E.B., Paris, 1972.
- KEENEY D.R., WALSH L.M., « Azote disponible dans les écosystèmes ruraux : sources et devenir », *Horticultural Science*, 7, 3, 219-223, 1972.
- MAQUART D., « La Transformation du monde rural », *Analyse et prévision*, 15, 1-2, 849-976, 1972.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, Statistique agricole, 1971 et 1972 - Recensement général de l'agriculture, 1970-1971.
- MOREL R., *Le Champs d'expériences de la station agronomique*, E.N.S.A. de Grignon, 8 p., 1967.
- O.C.D.E., *Statistiques de la consommation des denrées alimentaires, 1955-1971*, 291 p., O.C.D.E., Paris, 1973.
- SKROTZKY N., « La Nature n'en peut plus », 93 p., *La Documentation française*, Paris, 1970.
- TABLEAUX DE L'AGRICULTURE FRANÇAISE, *Paysans*, n° 61, 190 p., 1966.
- VISSAC B., *Problèmes posés par le devenir des populations animales*, doc. ronéo, 16 p., 1974.
- WILLRICH T.L., SMITH G.E., *Agricultural practices and water quality*, 415 p., Iowa St. Un. P. 1970.