

COMMUNICATIONS

Les polygastriques : Evolution des techniques de production et perspectives d'avenir

par Jacques DELAGE*

RÉSUMÉ

Les ruminants transforment des végétaux cellulosiques et des sous-produits industriels en produits animaux répondant à la demande du marché. Au cours des dernières décennies les performances des bovins, des ovins et des caprins se sont accrues notablement. Cette évolution s'est inscrite dans un processus d'intensification s'accompagnant d'une spécialisation, d'une augmentation des intrants, des investissements et de la productivité du travail.

Les techniques responsables de l'accroissement des performances relèvent essentiellement, hors l'état sanitaire, de l'alimentation et de la génétique ainsi que des modalités de la reproduction.

Des progrès sensibles basés sur une meilleure connaissance des mécanismes nutritionnels, notamment dans le rumen, ont été enregistrés en ce qui concerne l'estimation de la valeur des aliments et des besoins des animaux, l'appréciation de la capacité d'ingestion, la conception du rationnement et le recours à de nouvelles matières premières. La recherche d'une optimisation des fermentations ruminales laisse la voie ouverte aux avancées futures.

Le progrès génétique résulte de l'évolution raciale et du développement de programmes d'amélioration utilisant au mieux les données de la génétique quantitative. Les éleveurs peuvent ainsi disposer de reproducteurs de plus en plus performants pour une utilisation en race pure ou en croisement. L'insémination artificielle a très largement contribué, notamment en élevage bovin laitier, à diffuser le progrès génétique.

Les biotechnologies animales ouvrent de nouvelles voies prometteuses pour accélérer le progrès génétique et sa diffusion. Déjà, la transplantation embryonnaire se développe, le sexage des embryons de bovins se met en place,

* Directeur honoraire de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon.

constituant un premier exemple d'utilisation de sondes d'acide nucléique qui devraient permettre l'estimation précoce de caractères génétiques. La fécondation in-vitro et le clonage annoncent d'intéressantes perspectives, la transgénèse projette sur le futur.

Les perspectives techniques, incluant les biotechnologies animales, apparaissent comme de nouveaux outils du progrès s'inscrivant dans l'application des principes de base de l'amélioration des productions des ruminants qui continuera à s'affiner tandis que de nouvelles voies s'ouvriront.

SUMMARY

POLYGASTRIC ANIMALS:

EVOLUTION OF PRODUCTION TECHNIQUES AND FUTURE PERSPECTIVES

Ruminants transform roughages and industrial by-products into animal products which correspond to market demands. During the last decades the performance of cattle, sheep and goats has increased notably. This evolution is based on a process of intensification accompanying a specialization and an augmentation of inputs, of investments and of work productivity.

The techniques responsible for the increase in performance come essentially, when not including improvements in health status, from feeding and genetic improvements notwithstanding improved methods of reproduction.

The noticeable progress made in nutrition is founded on a better understanding of the mechanisms concerned, notably in the rumen. This development is based on a better estimate of the feeding value of materials and the needs of the animals, the concept of ingestive capacity, the feeding concepts and the use of new raw materials. The search to optimise ruminal fermentation leaves open the way for future progress.

Genetic progress comes from breed evolution and development of improvement programmes which use more effectively the results of quantitative genetics. Producers also have access to reproductive animals of higher genetic merit, for use as crossed or pure breeds. Artificial insemination has contributed greatly, notably in dairy cow breeding, in the spread of improved genetic material.

Animal biotechnology opens new promising ways to accelerate genetic progress and its diffusion. Embryo transfer is already developing. The technique of sexing cattle embryos is progressing and this constitutes an example of the utilisation of nucleic acid probes which will permit the early estimation of genetic characteristics. In vitro fertilization and cloning indicate interesting perspectives, and the transgenic project is a very towards the future.

Future techniques including animal biotechnology appear to be the new tools of progress which join in the application of the basic principles for the improvement of ruminant production, which will continue to be refined while new possibilities arise.

LE CHEPTEL ET SON RÔLE

Les ruminants que sont les polygastriques occupent dans le cheptel communautaire la première place. Les bovins, les ovins et les caprins représentaient en effet, suivant les pays, en 1983, 60 à 90% des U.G.B., à l'exception du Danemark où ce taux n'était que de 40%. La France, avec 77%, venait en seconde position après l'Irlande (91%). En 1990, les ruminants y ont assuré, en valeur de livraison, 31 % de la production agricole et 68 % des produits animaux [1].

La signification de l'élevage des ruminants reste essentiellement la transformation de produits végétaux celluloseux spontanés ou cultivés et de sous-produits industriels en produits animaux conformes à la demande du marché. Le développement de leurs productions dépend très largement des disponibilités fourragères, des structures agricoles, des aides et des limitations communautaires, ainsi que de la situation et des perspectives régionales, nationales, communautaires et internationales.

Le cheptel bovin français, dont les effectifs avaient peu varié pendant une décennie avec 24 millions de têtes, régresse depuis 1984, les effectifs se situant en 1988 à environ 21 millions dont 9 millions de vaches.

La diminution de l'effectif de vaches laitières qui s'était amorcée en 1976 s'est affirmée avec les mesures communautaires de maîtrise de la production laitière pour n'atteindre que 5,7 millions en 1988 et 5,3 en 1990, tandis que les vaches allaitantes ont progressé de 2,3 millions en 1970 à 3,5 en 1988. A fin 1990, le nombre de producteurs de lait était, avec 229 000 livreurs de lait, à peu près égal aux nombres des éleveurs de vaches allaitantes.

Pour les ovins, après une chute spectaculaire pendant plus d'un siècle jusqu'en 1949, les effectifs ont progressé régulièrement pendant trois décennies pour atteindre 13 millions en 1980. Depuis cette période, ils ont à nouveau régressé à l'image des cours de la viande. Ils étaient estimés à moins de 11 millions en 1986 et le nombre des brebis figurant au Recensement Général de l'Agriculture en 1988 ressortait à 7752 000.

Quant à l'élevage caprin, le cheptel de 1 million de têtes, dont 850 000 chèvres, justifie pour la France une place notable.

L'ACCROISSEMENT DES PERFORMANCES

Au cours des dernières décennies, les performances se sont accrues à des degrés divers suivant les espèces et les productions. Citons pour les vaches laitières des accroissements en 20 ans de 100 à 150 kg de lait supplémentaires par vache et par an, passant pour les lactations de 3 475 kg en 1969-71 sur 1 million de vaches contrôlées à 6 165 kg en 1990 sur 2,6 millions de résultats.

En race Prim'Holstein (ex Française Frisonne avant novembre 1990), la moyenne en 1990 était de 6637 kg de lait en 294 jours à 3,96% de taux butyreux et 3,08% de taux protéique, soit 467 kg de matières utiles pour 1587671 lactations. Cette même année, la moyenne des 50 meilleures lactations s'est établie à 13182 kg en 305 jours à 4,31% de taux butyreux et 3,18% de taux protéique, soit 987 kg de matières utiles, cinq vaches dépassant 1000 kg de matières utiles et la première se situant à 1162 kg avec 15858 kg de lait à 3,81% de taux butyreux et 3,52% de taux protéique en 2^e lactation.

Dans les races bovines allaitantes, on enregistre en 25 ans des accroissements de poids à 12 mois de 100 à 150 kg, suite à une augmentation de la vitesse de croissance sensible après 6-7 mois ; on constate actuellement des gains de poids atteignant sur de courtes périodes 1800 g chez les taurillons recevant des régimes très concentrés, catégorie qui représente globalement 31% de la production de viande bovine en 1990.

Pour les ovins, la prolificité, exprimée en nombre moyen d'agneaux par brebis, atteint en 1988-89, pour les races dont les effectifs représentent plus de 5% du cheptel ovin, 1,85 en Charolais, 1,75 en Texel et 1,65 en Ile-de-France.

Malheureusement, dans le même temps, la baisse des prix et l'accroissement des charges ont compensé l'accroissement de productivité.

L'augmentation des performances individuelles s'est inscrite dans une évolution des systèmes de production, identifiée au processus d'intensification s'accompagnant d'un accroissement des intrants industriels et des investissements.

Ce mouvement d'intensification s'est assorti d'une spécialisation qui s'est manifestée à partir des années 60 et a particulièrement touché la production bovine laitière. La répartition classique des élevages laitiers tend à se remodeler. Le cheptel se concentre notamment dans le "Grand Ouest" (Basse-Normandie, Bretagne, Pays de Loire), un peu dans le Nord-Est ainsi que dans quelques bassins des zones de montagne (Auvergne, Franche-Comté, Rhône-Alpes, Pyrénées) où la production laitière se maintient grâce à sa valorisation par la fabrication de fromages traditionnels de qualité [2].

Concernant les ovins, on constate aussi une modification de leur répartition géographique avec l'abandon progressif de l'association mouton-céréales dans le Bassin Parisien et le Nord et l'accroissement des effectifs dans les régions situées au sud de la Loire. Le mouton demeure l'animal le mieux adapté aux parcours du Centre-Ouest, des zones de montagnes sèches et, plus généralement, des régions sous influence méditerranéenne. 76% des brebis sont élevées dans des zones défavorisées [13].

Quant à l'élevage caprin, il est surtout localisé dans trois régions : Poitou-Charentes, Centre et Rhône-Alpes.

Dès la fin des années 50, la productivité du travail est devenue l'élément moteur de l'évolution de l'agriculture (J.C. TIREL, 1991). En outre, les productions animales dont certaines, comme le lait, sont astreignantes et particulièrement exigeantes en main-d'œuvre, requièrent toutes de la qualification. La comparaison de systèmes laitiers de 30 à 50 ha et de systèmes viande bovine de 70 à 100 ha entre 1960 et 1984 montre que la production en volume par travailleur s'est accrue, avec de fortes variations régionales, au rythme de 5% par an, le capital par travailleur au taux de 5,3 à 5,5% et la Surface Agricole Utile par travailleur de 2,1 à 2,3% [15]. La production et le capital par SAU tant en lait qu'en viande ont pour leur part pendant cette même période approximativement doublé.

LES TECHNIQUES RESPONSABLES

Quelle est l'évolution des techniques responsables de l'accroissement des performances? Pour répondre à cette question on peut analyser tour à tour l'arsenal des méthodes dont dispose l'élevage: l'amélioration génétique, la reproduction, l'alimentation, la maîtrise sanitaire qui est traitée par ailleurs, les conditions d'élevage et le bien-être des animaux, l'organisation, l'économie et le développement des productions animales qui permettent de définir les tailles, les structures et les modes d'exploitation les plus appropriés, enfin, l'organisation de la commercialisation et les prix. Ces deux derniers points, qui sont capitaux, ne rentrent pas directement dans notre sujet mais il n'est pas possible de les passer sous silence car ils conditionnent pour une très large part le devenir des productions.

Pour tenter de hiérarchiser la réponse à la question posée, nous nous sommes tournés vers des amis et parents éleveurs de bovins lait et viande, d'ovins et de caprins et nous les avons questionnés. La réponse a été unanime: *l'alimentation et la génétique*, que l'on donne ici par ordre alphabétique tant il est vrai qu'elles sont solidaires et imbriquées. L'alimentation permet de bénéficier des potentialités héréditaires et révèle les hautes performances, elle ne crée pas les animaux à haut rendement mais elle permet à ceux-ci de réaliser leurs aptitudes génétiques en évitant, dans le cas des femelles laitières, l'épuisement des réserves corporelles puis des phénomènes de carence dont les baisses de production. B. BONAITI *et al.* (1982) relèvent d'ailleurs qu'en production laitière les gains de productivité liés au choix des taureaux sont plus sensibles dans les élevages offrant un milieu favorable. Une constatation analogue pourrait être faite pour les bovins des races allaitantes où les conditions optimales d'alimentation permettent de révéler de fortes capacités de croissance. C'est un exemple d'interaction hérédité-milieu que nous proposait en 1970 B. VISSAC dans un essai se rapportant à la vitesse de croissance de veaux Aubrac purs ou croisés Charolais qui montrait que l'avantage des croisés ne s'exprimait pas dans le milieu le moins favorable.

L'ALIMENTATION

Son premier facteur limitant reste la capacité d'ingestion et la valeur nutritionnelle des aliments, lesquelles sont d'ailleurs partiellement liées, le second, le déroulement optimal des processus fermentaires dans le rumen aboutissant à la fourniture appropriée de nutriments.

Valeur des aliments et besoins

Pour mieux apprécier la valeur des aliments, mieux estimer les besoins, mieux élaborer les plans de rationnement il fallait affiner les méthodes dont on disposait en s'ajustant sur les données scientifiques les plus récentes. Une aide précieuse a été apportée par la recherche, en particulier en France par l'INRA qui publiait en 1978 sous la direction de Robert JARRIGE "Le livre rouge" [9] donnant les principes et l'application des nouvelles recommandations pour l'alimentation des ruminants. Une mise à jour a été publiée en 1988 [10], elle permet de mieux cerner les besoins et les apports ainsi que les réponses marginales. En prolongement, les travaux et publications de l'ITEB et de l'ITOVIC ont assuré le pont avec la pratique.

L'évolution des besoins et des apports énergétiques tient compte d'une façon plus explicite des différences de rendement de l'énergie métabolisable en énergie nette suivant la nature des besoins et les circonstances alimentaires. L'appréciation des apports azotés prend en considération les processus digestifs microbiens du rumen et l'inter-relation avec l'apport énergétique. La distinction entre les apports de matières azotées alimentaires fermentescibles ou non est beaucoup plus précise. La notion de vitesse de dégradation dans le rumen est introduite. L'évaluation de la capacité d'ingestion est mieux cernée et permet notamment de progresser dans l'appréciation des quantités ingérées d'aliments grossiers distribués à volonté ce qui devient la règle avec la stabulation libre et l'automatisation de la distribution. Des progrès s'enregistrent aussi pour l'évaluation du taux de substitution d'un aliment concentré et d'un fourrage, c'est-à-dire la répercussion de l'accroissement de la consommation du premier sur l'ingestion du second.

Les recommandations alimentaires se précisent. Ainsi pour la production de viande, les besoins s'expriment en fonction de la race et de sa précocité. On n'alimente pas un taurillon Pie-Noire comme un taurillon Charolais.

La mise en pratique des recommandations permet notamment d'alimenter les animaux à haut potentiel de production, de valoriser au maximum les fourrages de l'exploitation, de réduire les importations de protéines, par exemple grâce au tannage des tourteaux et à l'utilisation d'urée, d'adapter les systèmes de production.

Les principes et les règles ont été largement diffusés mais beaucoup reste à faire pour que leur application soit pleinement généralisée. C'est là un problème d'enseignement et de développement.

Le logiciel INRAtion prend en compte l'ensemble des connaissances en janvier 1988 et constitue un outil original de calcul des rations des ruminants et de raisonnement du rationnement de différents types de bovins, ovins et caprins. Il s'adresse aux Techniciens, Ingénieurs, Vétérinaires et Enseignants déjà formés à ce travail.

La pratique de l'alimentation

En pratique, l'évolution des techniques alimentaires a été dominée par trois tendances :

1. Un accroissement de la production individuelle assurée par les fourrages, les concentrés intervenant comme des compléments indispensables. Le développement de nouvelles variétés fourragères plus appétentes, l'amélioration des techniques de production, d'exploitation, de récolte, ce qui suppose des équipements appropriés, et de conservation des fourrages, l'extension du maïs-ensilage, joints à un accroissement de la consommation d'aliments composés assurant le complément énergétique azoté, minéral et vitaminique ont été autant de facteurs favorables.

● Les fourrages

Les prairies demeurent le pivot des systèmes fourragers. Elles sont liées à la production des ruminants. Les surfaces toujours en herbe (STH) représentent 40% de la Surface Agricole Utile Nationale. L'herbe assure 62% des apports énergétiques, dont 40% en provenance de la STH et 22% des prairies semées avec de fortes variations régionales. Depuis une vingtaine d'années, le maïs-ensilage s'est considérablement développé, en particulier dans certaines exploitations spécialisées en élevage bovin. En Bretagne et dans les Pays de Loire il apporte plus de 20% des u.f. consommées et plus de 10% en Normandie, Lorraine et Poitou-Charentes [7].

L'intensification des surfaces fourragères dans les années 55, puis le développement du maïs-ensilage à partir de 1970, ont permis d'apporter aux ruminants des rations beaucoup plus énergétiques et d'augmenter notablement la production de lait assurée par les fourrages. En effet, l'ensilage de maïs, riche en matière sèche, présente une bonne valeur énergétique et une forte ingestibilité.

L'ensilage de maïs a lui-même ses limites nutritionnelles, sa carence en protéines et ses risques d'utilisation, on voit alors réapparaître des régimes multi-fourrages avec introduction de foin de luzerne ou d'ensilage d'herbe. On peut aussi citer le recours à de l'ensilage de pulpes surpressées à 20-25% de matière sèche qui améliore le niveau d'ingestion et semble favorable aux fermentations du rumen.

L'automatisation de la distribution et le souci d'accroître l'ingestion peuvent aussi conduire à envisager la distribution de rations complètes comportant un mélange d'aliments humides, de fourrages secs et d'aliments concentrés. En fait, ce mélange peut être établi pour équilibrer 20 à 25 kg de lait sous forme d'une ration semi-complète qui demanderait, pour les plus

fortes productrices, à être complétée par la distribution d'aliments composés au moment de la traite ou mis à la disposition des vaches par des distributeurs, en fonction de leur niveau de production.

Un autre système poursuivant les mêmes objectifs peut comporter un apport fractionné et régulier d'aliments grossiers qui tendrait à stimuler la consommation par les animaux. Un tel dispositif est en vigueur à la ferme expérimentale de Grignon où les vaches reçoivent en 3 à 4 repas pendant la journée un mélange d'ensilage de luzerne, d'ensilage de maïs et de pulpes surpressées. Cette distribution fractionnée réduit, en outre, le gaspillage.

Par ailleurs, les aliments liquides et le traitement des fourrages de médiocre qualité doivent être évoqués pour les vaches allaitantes.

● Concentrés

En complément des fourrages, les apports d'aliments concentrés s'accroissent avec l'élévation des performances, leur distribution peut aussi s'automatiser. L'industrie de l'alimentation animale a augmenté régulièrement sa production d'aliments composés dans la période 1980-85. Le tonnage des aliments bovins, qui représente 22% des fabrications en 1990, a été multiplié par 2,45 depuis 1973, tandis que la production pour l'ensemble des espèces s'accroissait de 1,68. La part des aliments pour ovins et caprins reste faible avec 2,3% de la production totale d'aliments composés. Les aliments d'allaitement qui correspondent à 3,6% des fabrications, ne sont pas pris en compte dans ces évaluations.

L'emploi de certaines matières premières est apparu ou s'est développé dans un passé récent. On peut citer les protéines tannées qui soustraient cet apport azoté à la dégradation dans le rumen, rapprochant ainsi les ruminants des monogastriques, laissant à leur disposition la valeur biologique d'origine des protéines mais il faut, bien entendu, assurer à la flore du rumen la fourniture azotée qui lui est nécessaire. L'emploi de protéagineux demeure subordonné aux conditions du marché. Le tourteau de colza a été plus utilisé au cours de la dernière décennie, les nouvelles variétés 00 pauvres en glucosinolates étant mieux consommées par suite d'une diminution de l'amertume.

L'incorporation de graisses dans le concentré des vaches laitières, pour assurer 14 à 15% de l'énergie totale de la ration sous forme lipidique par l'apport d'aliments composés dosant 5 à 6% de matières grasses, présente un intérêt variable selon le contexte économique. Elle accroît la production du lait quand la ration est carencée en énergie, elle agit plutôt sur le taux butyreux si l'apport énergétique était déjà assuré. Cette pratique accroît la fourniture à la mamelle d'acides gras longs en C_{16} et C_{18} . Les graisses utilisées sont des graisses saturées dont la digestibilité est de l'ordre de 80%, telle l'huile de palme. On préfère recourir à des "lipides protégés" pour éviter les effets néfastes sur le rumen en particulier sur la cellulolyse. Les matières premières sont des savons ou des graisses cristallisées qui comportent généralement une grande majorité d'acides gras saturés. On peut aussi

employer des graines oléagineuses souvent traitées à la chaleur ou à la pression humide ou non (extrusion, floconnage, etc.).

2. La prise en compte de l'ensemble de la ration. A la lumière des connaissances actuelles, des "Stratégies de complémentation des vaches laitières" ont été proposées par l'ITEB en 1988 [11]. Elles intègrent la substitution concentré-fourrage, les interactions digestives et la réponse marginale de l'apport énergétique complémentaire.

La variation des apports de concentrés s'accompagne d'une variation inverse de la consommation de fourrage. Le taux de substitution, exprimé par le rapport entre la diminution de la consommation de fourrage par kilo supplémentaire de concentré, s'accroît avec l'ingestibilité du fourrage et l'augmentation des apports de concentré. Mais, l'influence d'autres facteurs, tels que la teneur en azote du concentré ou la nature glucidique de l'énergie, sont responsables de la variabilité des réponses. Des essais récents ont permis de compléter les données disponibles dans le sens d'une cohérence, mais ce chapitre est loin d'être clos.

Les interactions digestives, qui influencent négativement la digestibilité, en relation avec l'augmentation de la proportion du concentré et du niveau d'alimentation, sont d'autant plus grandes que les performances sont plus élevées et la qualité des fourrages plus faible. Ces phénomènes sont déjà intégrés dans les recommandations alimentaires.

Quant à la réponse de la production de lait à un supplément d'énergie, on sait qu'elle décroît avec l'élévation du niveau des apports énergétiques et l'avancement de la lactation et qu'elle s'accroît avec le potentiel génétique des animaux.

3. L'insertion du programme de rationnement dans un cycle de production.

Ainsi pour les femelles reproductrices, les différentes étapes de la reproduction, les caractéristiques nutritionnelles des différentes phases de la lactation et la période de tarissement sont globalement prises en compte pour utiliser au mieux les potentialités physiologiques et les aptitudes génétiques.

Concernant les vaches laitières, l'évolution spectaculaire des besoins entre la période de tarissement et le pic de lactation, alors que l'appétit ne suit que lentement, est associée à un déficit énergétique qui est d'autant plus important que le potentiel de production de la vache est plus élevé. Les fortes productrices donnent en effet la priorité à la production laitière en mobilisant leurs réserves corporelles, à condition que celles-ci existent au vêlage et qu'elles soient reconstituées au milieu ou en fin de lactation ce qui conduit à des décalages entre les recommandations d'apports et les besoins, et peut se traduire par une gestion de l'alimentation par grande période au lieu d'un ajustement fréquent à la production.

Pour les vaches allaitantes, la réduction des coûts de production passe par un régime alimentaire adapté en fonction des cycles de la production

fourragère et de la capacité des animaux à utiliser leurs ressources corporelles en cas de déficits sans nuire à leur production, à leur reproduction et à leur santé, puis à les reconstituer à bon marché au pâturage. Des périodes de sous-alimentation sont acceptables sous réserve de ne pas avoir d'effet sur le poids des veaux à la naissance. L'état corporel est pris en compte, un minimum d'état doit être réalisé pour avoir une saillie fécondante précoce.

Les observations formulées pour les vaches laitières s'appliquent aux chèvres laitières. Comme toutes les fortes productrices, la chèvre passe par des "phases sensibles", en particulier en fin de gestation et en début de lactation, pendant lesquelles des déviations métaboliques peuvent perturber la production. Les stratégies alimentaires visent à réduire de tels risques. Dans ces conditions, on est conduit à rechercher un accroissement du potentiel laitier de la ration de fourrages, les mélanges d'aliments concentrés assurant le complément énergétique, azoté et minéral indispensable. L'amélioration des ressources fourragères et des méthodes de conservation, notamment d'ensilage, a constitué la clé de voûte des progrès avec une utilisation appropriée des aliments concentrés au cours du cycle de production.

Chez les brebis, les performances de reproduction sont fortement influencées par les conditions d'élevage et, en particulier, le niveau alimentaire. Le taux d'ovulation et le taux de mortalité embryonnaire dépendent de l'alimentation au cours des premiers mois de la vie des jeunes femelles, au cours des trois mois qui précèdent la lutte et pendant les 2 à 3 semaines qui suivent la saillie. Le flushing, augmentation temporaire du niveau alimentaire, permet d'améliorer la fertilité et la prolificité des brebis en moyen ou bon état avant la lutte. La fin de gestation (6 semaines) et le début de la lactation (4 à 6 semaines) demandent à être particulièrement surveillés avec apport des meilleurs fourrages et d'aliments concentrés.

Vers une optimisation du rumen

Deux tiers à trois quarts de la biomasse des aliments sont digérés dans le rumen sous l'action des micro-organismes : 10 milliards de bactéries, dont environ 200 espèces ont été isolées et identifiées, 1 million de protozoaires et 1 million de champignons par ml de jus de rumen.

On connaît le rôle des bactéries cellulolytiques qui se fixent sur les particules alimentaires et digèrent les parois végétales, les bactéries de la phase liquide fermentant surtout les substrats solubles. Les protozoaires interviennent également dans la dégradation des fibres et des protéines alimentaires. Ils ont en outre un rôle de prédation des bactéries. Quant aux champignons, leur rôle demande encore à être précisé.

Concernant les composants des aliments, les polymères glucidiques (cellulose, amidon...) sont dégradés en sucres simples fermentés selon des voies métaboliques anaérobies conduisant à la formation d'acides gras volatils (acétate, propionate, butyrate) et de gaz (dioxyde de carbone,

méthane...). On connaît par ailleurs la dégradation partielle des protéines alimentaires et la capacité des bactéries à utiliser les acides aminés et l'azote ammoniacal issus de cette dégradation. L'ammoniac peut aussi dériver des apports d'urée provenant de l'alimentation ou du recyclage. La prolifération microbienne utilise ces nutriments azotés pour élaborer de la biomasse riche en protéines (55-60% de protéines brutes dans la matière sèche des microbes), l'énergie nécessaire étant fournie par l'ATP produit au cours des fermentations anaérobies.

Les protéines microbiennes quittent le rumen et sont digérées dans l'intestin grêle où elles représentent 50 à 95% des apports des acides aminés. Les acides gras volatils sont absorbés par la muqueuse du rumen puis métabolisés par l'animal pour fournir 60 à 70% de ses besoins énergétiques. Les gaz sont érucés (plus de 1 000 l./j./bovin adulte).

Le rumen constitue ainsi un excellent "bio-fermenteur" anaérobie. Pour s'affranchir des contraintes liées à l'utilisation d'animaux fistulés et des régulations de l'animal-hôte, les chercheurs de l'INRA ont parfois recours à un fermenteur "in vitro", "Le Rusitec", simulant la digestion microbienne qui se déroule naturellement dans la panse du ruminant (Station de Recherches sur la Nutrition des Herbivores).

La recherche d'une optimisation des fermentations ruminales laisse la voie ouverte aux avancées futures. Elle intéresse par exemple la synchronisation des vitesses de dégradation des glucides fermentescibles et des protéines pour assurer une utilisation microbienne optimale; déjà fleurissent les systèmes d'évaluation. Elle concerne aussi les relations entre l'ingestion et la microflore, l'accroissement de la dégradation des glucides des parois végétales, la réduction de pertes sous forme de méthane, la limitation de la dégradation des protéines, la réduction des troubles digestifs et métaboliques et l'orientation vers certaines voies métaboliques. A ce sujet, on pourrait mieux maîtriser l'orientation du métabolisme microbien vers la fermentation d'acétate utilisée pour la synthèse des acides gras du lait jusqu'en C₁₆ ou de propionate plus favorable à la synthèse des protéines du lait et à la production de viande.

La microflore est en rapport avec la composition du lait. On connaît les relations entre la composition des aliments et le taux butyreux, par l'intermédiaire de la flore, mais il faut aussi évoquer ses effets sur le taux protéique du lait, ce qui est d'actualité.

Le taux protéique du lait est lié au niveau d'énergie, probablement par l'intermédiaire de la synthèse microbienne, mais quand l'énergie est déficitaire, l'apport de protéines de haute qualité faiblement fermentescibles, telles les farines de poisson déshydratées, voire même des acides aminés essentiels protégés, tendent à accroître le taux protéique, ce qui peut être intéressant en début de lactation. Plus généralement, on sait que le taux protéique est le critère le mieux relié aux principaux paramètres technologiques du lait et que le niveau d'alimentation peut avoir une influence dépressive sur l'aptitude fromagère des laits en cas d'apports nettement

réduits ; il en est ainsi avec des réserves fourragères hivernales insuffisantes. Par contre, avec d'excellents fourrages offerts à volonté, des écarts de 2 à 3 kg d'aliments concentrés restent sans effet.

Des additifs peuvent avoir un effet favorable sur la microflore. Ils peuvent modifier les orientations fermentaires vers une production accrue d'acide propionique ce qui est favorable, comme il vient d'être dit, pour les bovins en croissance et à l'engrais ainsi que pour les vaches à haut potentiel. Chez ces dernières, ils accroissent la fourniture de glucose en début de lactation et favorisent le taux protéique au détriment du taux butyreux. D'autres molécules, telles que les acides gras volatils ramifiés sont également susceptibles d'activer certaines activités microbiennes, cellulolytiques en particulier.

On peut enfin envisager que, par manipulation génétique, des microorganismes transgéniques aient des effets favorables à la double condition qu'ils s'implantent dans le rumen et qu'ils ne polluent pas l'environnement. En fait, parmi les projets qui sont à l'étude, on peut mentionner les travaux qui tendent à accroître la production de laine chez le mouton par le recours à des microorganismes transgéniques qui augmenteraient la transformation de la sérine en cystéine, laquelle est un facteur limitant la production de laine (REES *et al.*, 1990) [12].

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

La contribution des progrès génétiques à l'accroissement de la productivité résulte de l'évolution raciale et du développement de programmes de sélection très efficaces utilisant au mieux les données de la génétique quantitative qui a ses limites inhérentes à ses hypothèses de base mais qui n'a pas encore été complètement exploitée. Les éleveurs peuvent ainsi disposer de reproducteurs de plus en plus performants pour une utilisation en race pure ou en croisement. La diffusion du progrès génétique est assurée par des voies de reproduction qui se diversifient et qui jouent un rôle capital, telle l'insémination artificielle. Ainsi, pour la production laitière on peut penser qu'une sélection rigoureusement planifiée de taureaux d'insémination artificielle sur leurs filles est responsable au moins de la moitié de l'accroissement des performances laitières.

L'évolution raciale

Le paysage des races des différentes espèces s'est modifié au bénéfice des races les plus performantes avec des variations suivant les espèces. En élevage bovin, la composition raciale s'est considérablement simplifiée bien qu'elle comporte toujours plus d'une douzaine de races laitières et autant de races allaitantes. Mais, les six races dont les effectifs sont les plus élevés, Française Frisonne, devenue Prim'Holstein depuis novembre 1990, Charolaise, Normande, Montbéliarde, Limousine et Blonde d'Aquitaine, qui représentaient 70% du cheptel national, en 1963, en constituent 85,6%

au recensement de 1988. Les trois races traites assurent 61,1% du cheptel et 96,4% des vaches laitières. Les trois races spécialisées dans la production de viande comptent 68,5% des vaches allaitantes et 24,5% du cheptel.

La Prim'Hoshtein est devenue la race laitière la plus répandue (41%). Elle intéresse à elle seule plus de 65% du cheptel trait. La Normandie régresse régulièrement depuis 1967. La Montbéliarde (8,4%) se développe modérément et s'étend dans d'autres régions que sa zone d'origine. Cinq races d'implantation régionale co-existent : Abondance, Brune, Pie-Rouge de l'Est, Pie-Rouge des plaines et Tarentaise ; leurs cheptels demeurent stables ou décroissent légèrement [2].

Dans le groupe des races allaitantes une double évolution est apparue. Les races spécialisées dans la production de viande, la Charolaise, la Limousine, la Blonde d'Aquitaine, sont en nette progression, leurs effectifs sont passés respectivement de 1980 à 1988 de 11 à 15,6%, de 4,5 à 6,1% et de 1,7 à 2,8% du cheptel bovin national. A l'inverse, les effectifs des races rustiques (Aubrac, Gasconne, Bazadaise) ou anciennement mixtes (Salers, Maine-Anjou, Parthenaise) ont régressé.

Chez les ovins, par contre, une très grande gamme de races subsiste ; une cinquantaine sont en rapport avec des situations très diverses, mais nombre ont des effectifs faibles. Dix-sept races qui comptent plus de 1% du cheptel de brebis représentent en fait 70% du cheptel dont la moitié des animaux de races identifiées se rapporte aux races rustiques et aux races laitières et l'autre moitié aux races bouchères de bergerie et d'herbage et aux races bouchères d'herbage ainsi que, pour une faible part, aux types Mérinos. Quatre races seulement dépassent chacune 5% du cheptel : la Lacaune, l'Île-de-France, le Texel et le Charolais.

En élevage caprin, deux races principales sont élevées, l'Alpine (49%) et la Saanen (23%). D'autres races aux effectifs faibles se cantonnent dans des zones limitées ; il en est ainsi de la Poitevine.

A la production dominante de lait, il convient d'ajouter le développement récent de troupeaux de chèvres angora, productrices de mohair, dont on comptait en 1988 environ 1 500 animaux de race pure et 2 000 à 2 500 en croisement d'absorption.

Les programmes de sélection

L'amélioration génétique des différentes races résulte de la mise en œuvre de programmes de sélection qui reposent sur la définition d'objectifs, l'extension de la base de sélection constituée par l'ensemble des animaux contrôlés, un choix rigoureux des reproducteurs mâles et femelles, et un choix raisonné des accouplements.

Les objectifs visent des caractères de quantité, telles la production du lait ou la croissance, des caractères de composition comme les taux butyreux et protéique ou de matières utiles du lait, des caractères d'élevage et de reproduction, des caractères de conformation et de production de

viande. Ils devraient aussi tenir compte de caractères de résistance et d'adaptation.

Les objectifs évoluent avec les conditions économiques mais la lenteur du processus et les délais nécessaires à l'obtention des résultats génétiques doit être soulignée. En production laitière, on récolte actuellement le fruit des efforts de sélection entrepris au début des années 70.

A titre d'exemple d'adaptation des objectifs, on peut citer les recommandations de la Confédération des éleveurs de la race bovine Pie-Noire à Leeuwarden (Pays-Bas) en juin 1991 : vache orientée vers la production de lait et de protéines, adaptée à la traite mécanique, avec une capacité à la production de viande et une santé parfaite.

Pour sélectionner il faut trier sur des bases fiables, il s'ensuit la nécessité de disposer de suffisamment de données pour asseoir la sélection. Or, on constate que la base de sélection s'est notablement accrue dans toutes les espèces concernées au cours des dernières décennies. Ainsi, le nombre de vaches laitières contrôlées est passé en France de 360 000 en 1962 à 2 605 540 en 1990. Près de 50% des vaches laitières sont actuellement soumises au contrôle contre 5% en 1962. Pour les races bovines allaitantes la base de sélection a atteint 249 573 vaches en 1990, et pour les ovins elle compte 400 000 brebis en races allaitantes et 221 000 en races laitières.

En élevage caprin, le nombre de chèvres contrôlées est de 254 380, soit environ 30% du cheptel ; il n'était que de 139 860 en 1985-86.

Sur la base des résultats des contrôles de performances et des qualifications de conformation estimées à partir de tables de pointage le plus souvent renouvelées, on peut estimer la valeur des reproducteurs potentiels dans des conditions qui permettent de les comparer quant à la valeur espérée de leurs descendants et, par suite, de choisir ceux sur lesquels on peut fonder le plus d'espoir.

L'appréciation tient compte pour les mâles des performances des ascendants et des descendants ainsi que de leurs propres caractéristiques, pour les femelles des performances de leurs ascendants, voire de leur descendance et de leurs propres performances. Dans les deux cas des index de sélection permettant l'utilisation la plus efficace de l'information disponible ont été mis au point par l'INRA et constituent des critères pour le choix des reproducteurs.

Pour faciliter l'interprétation des résultats de performances et détecter les meilleurs reproducteurs, des Stations de contrôles ont été développées. On peut ainsi citer les Stations de contrôles individuels pour la croissance des jeunes taurillons en races bovines allaitantes pour le choix des mâles destinés à l'insémination artificielle, les Centres d'Élevage en races allaitantes en vue de la monte naturelle et, pour ces mêmes races, des Stations pour le contrôle des qualités reproductrices des filles de taureaux testés.

Le choix des reproducteurs s'insère dans un programme de sélection. Ainsi, en race Montbéliarde : cinq mères à taureaux potentiels sont détectées par taureau mis à l'épreuve de descendance, 100 taureaux sont annuellement soumis à ce test, ils seront appréciés sur 50 filles en 1^{re} lactation, 20 seront conservés comme taureaux et 5 seront retenus comme pères à taureaux. Le critère de sélection est l'index de quantité moyenne de matières utiles.

En race Pie-Noire, plus de 2 500 taureaux sont actuellement testés tous les ans dans les 12 pays de la CEE, soit 1 000 de plus qu'aux Etats-Unis et Canada réunis.

L'organisation

L'amélioration génétique est une œuvre collective qui nécessite une organisation.

Pour les bovins, les ovins et les caprins, les objectifs et les programmes de sélection sont définis au sein des Unités de Sélection et de Promotion de Races (UPRA) qui réunissent les éleveurs détenteurs du cheptel de la base de sélection, les Centres d'Insémination Artificielle en tant que Centres de production de semence et Centres de mise en place, et les utilisateurs.

Créées en application de la Loi sur l'élevage de 1966, les UPRA se sont progressivement substituées aux associations tenant les livres généalogiques qui s'y sont intégrées par la voie des éleveurs sélectionneurs afin de tendre vers une définition des objectifs au sein de la filière et une cohérence entre les activités des éleveurs sélectionneurs et celles des Centres de production de semence. Des variantes se manifestent avec les races concernées, les équilibres ne sont pas encore toujours trouvés, les filières ne se sentent pas toujours concernées. Des tentatives ont lieu pour intégrer l'amélioration génétique dans la filière. Ainsi, en 1989, le souci de faire identifier par le consommateur la viande limousine sur le marché a conduit à créer une marque internationale unique "Limousine Gourmet" permettant d'identifier le produit.

Les croisements

Les reproducteurs s'utilisent en race pure ou en croisement. Pour la production de viande, les croisements traditionnels se sont développés. Les taureaux des races bovines allaitantes sont utilisés en croisement, le plus souvent industriel, avec des races laitières ou rustiques pour améliorer les aptitudes bouchères des veaux tant en France qu'à l'étranger. Une large part des reproducteurs exportés est d'ailleurs destinée aux croisements soit dans des conditions difficiles avec des races bovines locales ou des zébus pour associer l'adaptation au milieu, la résistance aux maladies et une meilleure productivité (à ce titre, la forte expansion de la race Charolaise tient d'abord aux résultats obtenus en croisement), soit pour mieux répondre à la demande du marché. Il en est ainsi en zone tempérée où les races bovines françaises allaitantes sont utilisées en croisement pour permettre de

bénéficier de leur capacité à accroître la vitesse de croissance et à réduire la proportion de gras dans la carcasse. Ainsi, en Grande-Bretagne, le Milk Marketing Board rapporte qu'en 1986-87, les races Limousine, Charolaise et Blonde d'Aquitaine assuraient ensemble 58,4% des inséminations effectuées en Angleterre et au Pays-de-Galles avec des semences de race à viande.

En élevage ovin, où le croisement industriel est fréquent, l'accroissement de la prolificité a parfois été recherché par la mise en œuvre de programmes de croisement plus complexes à double étage. Ainsi, à Grignon, partant d'un troupeau de race Berrichon du Cher, deux croisements successifs sont pratiqués. Le premier entre un mâle d'une race prolifique, la Romanov, le second entre un mâle d'une race précoce comme le Suffolk, ou le Berrichon du Cher et des femelles issues du premier croisement. Une variante consiste à croiser les femelles de première génération 1/2 sang Romanov avec des béliers INRA 401 qui permettent d'assurer le renouvellement du troupeau dans un schéma "d'absorption" des brebis 1/2 sang Romanov. Sur un troupeau de 600 brebis (dont 220 de race Berrichon du Cher et 380 croisées) appliquant ce programme la prolificité moyenne s'établit à 2,4 agneaux par brebis.

BIOTECHNOLOGIE ET GÉNÉTIQUE ANIMALES

La biotechnologie, qui applique les données de la biologie moléculaire, ouvre de nouvelles voies d'approche pour l'amélioration génétique [8]. Nous retiendrons ici l'observation des animaux par sondes moléculaires et l'analyse du génome d'une part, la transgénèse, d'autre part.

Les sondes moléculaires

Des sondes d'acide nucléique permettent de détecter certaines caractéristiques du patrimoine héréditaire des animaux avant même qu'elles ne soient exprimées. Elles devraient ainsi assurer une amélioration du progrès génétique grâce à une sélection précoce des reproducteurs si une relation peut être établie entre l'expression d'un caractère héréditaire et la séquence d'un fragment d'ADN donné repérable par une sonde spécifique.

Quelques sondes sont déjà disponibles pour faire l'objet d'applications. Il en est ainsi des *sondes d'ADN spécifiques du chromosome Y bovin* qui permettent le sexage d'un embryon, technique dont on comprend l'importance économique lors d'un transfert. Quatre sondes sont disponibles sur le marché mondial : une américaine, une australienne, une canadienne en cours de développement, et une française. Cette dernière, identifiée en 1986 par l'INRA, est aujourd'hui développée avec le concours d'un groupe industriel pharmaceutique et vétérinaire français par l'UNCEIA [14] dont toutes les coopératives adhérentes peuvent, depuis le 1^{er} septembre 1990, sexer les embryons.

Le sexage se réalise en pratiquant une biopsie puis une manipulation en laboratoire. Le nombre de cellules prélevées est faible (moins de 10), le délai de connaissance des résultats est court (4 heures) ce qui permet de conserver éventuellement l'embryon par réfrigération.

D'après Michel THIBIER (1990), au plan pratique, un opérateur exercé arrive à réaliser des biopsies contenant 5 ± 1 cellules, celles-ci sont mises à incuber et font l'objet de diverses préparations : technique d'amplification spécifique de gènes PCR (en français : Réaction en chaîne de la Polymérase), séparation par électrophorèse, obtention de gels qui permettront d'obtenir sur chaque bande examinée en lumière ultra-violette et, en référence à des témoins, un certain nombre de bandes spécifiques de l'ADN de bovin ainsi que des bandes spécifiques du chromosome Y qui indiquent que l'on a alors affaire à un embryon de sexe mâle. La méthode possède une grande sensibilité et une excellente exactitude. L'espérance de gestation ne semble pas être altérée par la technique du sexage.

Un autre exemple d'application des sondes d'acide nucléique se rapporte aux *gènes des protéines du lait des ruminants*. On sait que les protéines existent sous la forme de plusieurs variants qui confèrent au lait des qualités fromagères variables. L'inventaire de ces variants a été fait pour un certain nombre de races et une sélection génétique est possible (F. GROSCLAUDE, 1988) [6] ; elle repose classiquement sur l'examen du lait des femelles en lactation. Mais des sondes d'acide nucléique maintenant disponibles ouvrent de nouveaux horizons. Elles permettent en effet de révéler la présence de tel ou tel variant aussi bien chez le mâle que chez la femelle dès les premiers stades de leur vie, rendant ainsi possible une sélection précoce dans le sens d'une meilleure aptitude fromagère. L'analyse se fait à partir des globules blancs sanguins, elle peut être mise en œuvre dès la naissance, en particulier avant la mise en testage des taurillons. Dans le cas des mâles, elle peut être effectuée à partir du sperme. L'INRA fait évoluer les techniques dans le sens de la simplification donc de l'application à de plus grandes séries.

L'analyse du génome

L'identification de gènes contrôlant des caractères d'importance économique, la détection de leur polymorphisme et l'évolution de leurs relations permettraient de franchir une nouvelle étape dans le perfectionnement des méthodes de sélection. Dans un premier stade, il sera intéressant de détecter des "gènes marqueurs" ou des sites polymorphes situés dans le voisinage des gènes directement impliqués dans le contrôle des caractères d'intérêt économique.

L'évolution spectaculaire des techniques ouvre de nouvelles voies auxquelles s'attache le Département de Génétique Animale de l'INRA.

Chez les espèces d'élevage, les cartes génétiques sont encore très rudimentaires : 116 gènes étudiés chez les bovins, 35 chez les ovins contre 1631 chez l'homme.

Un grand nombre d'équipes dans le monde s'intéresse à l'établissement des cartes génétiques. Pour les bovins, un groupe a pris de l'avance dans la fabrication des sondes aux Etats-Unis, en association avec une équipe suisse, un autre est engagé dans un projet similaire en Australie. En Europe, une collaboration est en cours d'organisation avec au moins quinze laboratoires sous l'égide de la Société Internationale de Génétique Animale.

J. GELLIN et F. GROSCLAUDE (1991) décèlent au moins cinq domaines d'application potentielle: un accroissement substantiel d'efficacité de la sélection pour les caractères à faible héritabilité et la prise en compte de caractères actuellement partiellement délaissés (caractères de reproduction, de résistance aux maladies, d'adaptabilité), un intérêt pour le clonage et la transgénèse, une caractérisation précoce des génotypes, l'appréciation de la diversité génétique des races, l'amélioration du contrôle des filiations par une meilleure identification [5].

La transgénèse

La transgénèse consiste à introduire un gène isolé dans un embryon, de faire en sorte qu'il s'exprime chez l'animal et soit transmis à sa descendance.

La microinjection directe de gènes en solution dans l'un des pronucléi de l'embryon de mammifère au premier stade de son développement a été la première méthode utilisée avec succès et reste la seule pratiquée à grande échelle. Elle implique que les embryons aient été isolés, microinjectés puis réintroduits dans une mère adoptive. Elle est relativement peu efficace puisque 2% seulement des embryons de souris manipulés deviennent des adultes transgéniques.

L.M. HOUDEBINE (1991) rapporte que pour obtenir un animal transgénique, il est admis qu'il est nécessaire de disposer de 10 souris (donneuses et receveuses d'embryons), 20 brebis et 40 vaches. En outre, une partie non négligeable des animaux transgéniques n'expriment pas ou très peu le transgène qui s'insère dans des régions totalement imprévisibles du génome des animaux hôtes.

D'autres méthodes ont été proposées qui varient avec les espèces animales: injection d'ADN dans le cytoplasme des embryons au stade une cellule, utilisation de rétrovirus jouant le rôle de vecteur, utilisation de cellules souches embryonnaires,... L'introduction directe d'un gène dans les spermatozoïdes avant la fécondation semblerait donner des résultats chez les bovins.

Indépendamment de l'utilisation possible d'animaux transgéniques pour produire des protéines d'intérêt thérapeutique dans leur lait ou leur sang, le véritable intérêt de la transgénèse en élevage serait la modification de caractères d'intérêt économique. Le transfert de gènes conférant aux animaux une résistance contre les maladies (vaccination génétique) paraît actuellement l'opération la plus abordable. On peut aussi imaginer que la transgénèse permette de modifier la composition du lait, touchant

notamment à la proportion des différentes caséines, aux taux et à la composition des lipides [8].

LA REPRODUCTION

Les techniques de reproduction développées au cours des dernières décennies ont eu pour objectif de maîtriser au mieux la reproduction des mâles et des femelles pour obtenir des jeunes de qualité au meilleur moment et au moindre coût. Les biotechnologies ouvrent dès à présent et pour l'avenir de nouvelles voies [4].

L'insémination artificielle

L'insémination artificielle (IA) s'est imposée en élevage avec la maîtrise de la technologie de la semence. Initiée dans un souci sanitaire, elle s'est avérée un formidable outil de progrès génétique. Dans le monde, environ 100 millions de bovins sont inséminés chaque année. En France, en 1989, 2 000 inséminateurs ont réalisé plus de 5,7 millions d'IA dont 4 millions en races laitières, ce qui correspond à 75% de l'ensemble des vaches traitées et à plus de 90% des vaches Française Frisonne.

Chez les ovins et les caprins, l'IA est loin d'être aussi répandue bien qu'en nette augmentation. Le nombre de chèvres inséminées en France (51 073 en 1989) atteint 20% des animaux contrôlés. Pour les ovins, la situation est très différente en élevage laitier et allaitant. Ainsi, 36% des brebis laitières sont inséminées et 4% seulement du cheptel allaitant (soit au total 696 955 IA en 1990 avec une progression de 15% par rapport à 1989).

Notons que la technique de la congélation de la semence est maîtrisée depuis peu sur le bouc (CORTEEL *et al.*, 1988) et reste insuffisante pour le bélier dont le sperme est plus difficile à congeler [4]. De plus, la nécessité d'inséminer avec un grand nombre de spermatozoïdes (400.10^6) et la production saisonnière de sperme chez les petits ruminants ont représenté des freins majeurs à l'efficacité et à l'utilisation de l'IA dans ces espèces mais des solutions apparaissent. L'IA intra-utérine sous laparoscopie, qui est maintenant efficace, requiert un nombre plus faible de spermatozoïdes. Elle assure une fertilité de 55 à 60% avec l'utilisation d'au moins 20.10^6 spermatozoïdes congelés dans chaque corne utérine. Cette technique nécessite un chantier d'insémination, elle a débuté en France depuis 1990 mais elle est déjà largement répandue en Australie où 300 000 brebis ont été ainsi inséminées en 1989/1990 (MAXWELL et WILSON, 1990).

Quant au caractère saisonnier de la production de semence, elle peut aujourd'hui être levée grâce à la mise au point par l'équipe de PELLETIER de traitements adaptés: en combinant des "flashes" lumineux, mimant les jours longs, et l'administration de mélatonine, hormone peptidique sécrétée par l'épiphyse pendant la phase nocturne du nyctémère, mimant les jours courts, les béliers et les boucs peuvent être transformés en mâles

potentiellement aptes à la production de semence de bonne qualité tout au long de l'année.

Enfin, il convient de rappeler que la maîtrise de la réussite de l'insémination passe par l'amélioration de la connaissance du moment de l'ovulation, et ce pour toutes les espèces. Le contrôle de l'œstrus reste donc un objectif important.

La transplantation embryonnaire

La transplantation embryonnaire (TE) est la deuxième grande innovation dans le domaine de la reproduction. Initiée en 1975, elle permet une plus large utilisation des femelles dans les schémas de sélection des bovins. Cependant son développement est, et restera, inférieur à celui de l'IA. Cette technique lourde nécessite une superovulation, une insémination, et un lavage des cornes pour récolter les embryons. Bien que réalisée sans acte chirurgical chez les bovins, elle s'accompagne d'un surcoût technique élevé et est réservée à des animaux d'élite.

Plus de 200 000 transferts ont été réalisés en 1989 dans le monde, dont 25 788 en France qui se place au premier plan européen. Un avantage, et non des moindres, de la TE est la sécurité sanitaire quasiment absolue des embryons inclus dans leur zone pellucide, sous réserve d'un contrôle strict de la phase *in vitro* entre collecte et transfert (THIBIER et NIBART, 1987). Cette sécurité, combinée avec la possibilité de congeler (donc de conserver) et de sexer les embryons de 7-8 jours font de l'embryon un matériel génétique performant sur le marché national et international.

Chez les petits ruminants, la TE est fonctionnelle mais le rapport coût/intérêt très défavorable, la récolte et le transfert devant se faire par voie chirurgicale. Aussi, cette technique reste réservée à des cas très particuliers (conservation de races en péril ou réorientation dans la filière de production : chèvres angora par exemple).

Le futur : fécondation in-vitro et clonage

La fécondation in-vitro est encore une technique naissante dans l'élevage des polygastriques. De nombreux obstacles subsistent : obtention d'un nombre suffisant d'ovocytes, maîtrise de la maturation *in-vitro* de ceux-ci, capacitation des spermatozoïdes, survie et développement des embryons fécondés...

Le taux de réussite actuel ne dépasse pas 25% dans les meilleures conditions et des recherches doivent être poursuivies. Les potentialités de cette technique sont en effet considérables. Outre son intérêt pour l'étude des mécanismes biologiques de la fécondation et du développement embryonnaire précoce, elle devrait contribuer à la production d'animaux de haute valeur génétique, pouvoir être associée à la transgénèse et au clonage des embryons et permettre le pronostic de la fertilité des mâles.

Le clonage, c'est-à-dire la réplication d'un grand nombre d'animaux génétiquement identiques, introduit une intéressante perspective pour le progrès génétique. La bissection de très jeunes embryons est une méthode de choix mais elle ne fournit que deux individus. Par contre, le clonage, par transfert nucléaire, rend possible l'obtention d'un plus grand nombre d'animaux identiques. Il est obtenu par fusion d'une cellule d'un embryon à un stade précoce de développement avec un ovocyte mûr énucléé [16]. Cette fusion donne un nouvel embryon porteur du matériel génétique de la cellule de l'embryon initial. Le mécanisme de la reprogrammation du noyau qui passe d'une cellule d'un embryon dans le cytoplasme d'un ovocyte reste pour l'essentiel inconnu [8] mais elle a été réalisée avec succès chez les bovins et les ovins. Toutefois, l'efficacité de la technique doit être considérablement améliorée pour en envisager l'application. Son rendement est actuellement de l'ordre de 1% dans de bonnes conditions. Beaucoup d'études et d'investissements sont encore nécessaires [14]. De plus, la technique actuelle partant de 16 ou 32 cellules limite l'obtention théorique à 32 copies mais il est possible de cloner des embryons issus eux-mêmes de clonage (BONDIOLI *et al.*, 1990). En fait, le plus grand clone vivant publié pour les bovins est de 8 aux Etats-Unis.

Impact de nouvelles techniques de reproduction sur la création et la diffusion du progrès génétique

Pour les transferts d'embryons, la première idée évoquée est la multiplication des femelles d'élite. Le transfert embryonnaire peut servir à l'autorenouveau du troupeau utilisant comme donneuses les meilleures vaches de ce troupeau. Les embryons surnuméraires peuvent être commercialisés. Il existe d'ailleurs aujourd'hui un tel marché où la part de la spéculation n'est toutefois pas négligeable.

J.J. COLLEAU (1990) [3] a étudié les répercussions génétiques de l'autorenouveau. En fait, l'impact génétique est limité et le retour sur investissement différé dans le temps de 6 ans. Par contre, l'introduction de ces nouvelles techniques dans des programmes collectifs d'amélioration génétique adaptés peut être bénéfique. Ainsi, la transplantation embryonnaire utilisée dans un programme dit "accélééré" devrait pouvoir assurer chez les bovins laitiers un accroissement du progrès génétique de l'ordre de 20% en la pratiquant sur des génisses de 16-18 mois. Dans le cas de l'utilisation traditionnelle du transfert embryonnaire sur vaches laitières plus âgées, le sexage permet de transférer le nombre exact d'embryons mâles dont on a besoin et d'utiliser toutes les autres receveuses pour des embryons femelles. Le sexage des embryons permet donc le retour à des vaches donneuses et non plus à des génisses, ce qui facilite la conduite des programmes en faisant notamment disparaître la contrainte de l'élevage des jeunes veaux mâles dans l'attente des résultats de leurs mères.

On peut aussi recourir au transfert d'embryons pour changer rapidement l'orientation d'un troupeau, pour organiser une production de types extrêmes, tel le transfert d'embryons de type culard sur des receveuses

à bonnes qualités maternelles, pour limiter les importations et pour assurer la diffusion de certains types d'animaux.

Pour sa part, le clonage permettrait la multiplication d'animaux à fort potentiel génétique, il pourrait assurer la diffusion de clones d'animaux extrêmes, par exemple celle de taureaux culards destinés à des croisements avec des femelles laitières dotées de bonnes qualités maternelles ; il pourrait aussi assurer en races allaitantes la fourniture de clones mâles pour la monte naturelle correspondant à des animaux ayant eu des performances exceptionnelles en Station.

Dans les programmes collectifs d'amélioration génétique, tous les paramètres du progrès génétique peuvent, à des degrés divers, se trouver améliorés :

- La transplantation embryonnaire peut améliorer l'intensité de sélection et diminuer l'intervalle entre générations dans le cas d'un programme "accélééré".

- Le clonage peut permettre d'améliorer de façon considérable la précision de l'estimation des valeurs génétiques des reproducteurs. Ainsi, avec une héritabilité de 0,25 le degré de précision serait analogue avec un clone de 5 vaches indexées sur leur production et un taureau connu sur 25 filles, ou un clone de 10 vaches et un taureau connu sur 50 filles.

En combinant toutes les méthodes, l'augmentation du progrès génétique peut être de près de 50% et plus. Mais, la variabilité génétique doit être conservée et l'utilisation de ces nouvelles approches aurait plutôt tendance à la réduire.

En conclusion, ces techniques, d'un coût élevé, nous imposent de les utiliser de façon très raisonnée. Leur utilisation ne remet pas en cause la conception des programmes de sélection qui doivent rester basés sur la mise en évidence et la plus large utilisation des meilleurs géniteurs. Elles s'inscrivent dans leur cadre en apportant des outils nouveaux au potentiel prometteur.

STRUCTURES ET MÉCANISATION

La France se caractérise, comparée aux Pays-Bas ou au Royaume-Uni, par de petites structures de production laitière avec 57,6% des troupeaux de 20 vaches au plus et 2,3 % de plus de 60 contre 28,8% et 22% aux Pays-Bas, 15,8% et 43,1% au Royaume-Uni. On observe toutefois une tendance continue à la concentration que les aides à la cessation d'activités ont accélérée.

Les producteurs de lait de demain appartiennent dès aujourd'hui à la catégorie d'exploitants plus ou moins modernisés avec 80 à 140 vaches mettant en jeu tout l'arsenal des techniques modernes.

Pour les ovins, la taille moyenne des troupeaux demeure faible (48 brebis en 1985), notamment si on la compare au Royaume-Uni (200). Mais, cette taille moyenne recouvre des situations très diverses. Plus de 50% des exploitations ont un troupeau de moins de 20 brebis et détiennent au total moins de 10% du cheptel; à l'opposé, 5% des exploitations ont un troupeau de plus de 200 brebis et se partagent plus du tiers du cheptel. Depuis une quinzaine d'années, les effectifs de gros troupeaux progressent régulièrement, ceux de petits troupeaux, entretenus le plus souvent par des agriculteurs à temps partiel, se maintiennent ou se développent eux aussi. La taille des troupeaux laitiers (115 brebis en moyenne) est beaucoup plus élevée.

Pour les caprins, le nombre moyen de chèvres par élevage varie beaucoup d'une région à l'autre en liaison avec des systèmes différents (30 en Poitou-Charentes, 16 dans le Centre, 9 en Rhône-Alpes).

L'accroissement des tailles des troupeaux et l'allègement des besoins en main-d'œuvre vont souvent de pair avec un accroissement des équipements qui, à leur tour, constituent un facteur de développement.

Il est actuellement possible de mécaniser complètement la production, la distribution des aliments, l'évacuation des déjections, la récolte, le stockage et le transport du lait (tank à lait réfrigéré à 4 °C avec ramassage tous les 3 jours). Mais la mécanisation n'est concevable que si elle s'accompagne d'une réduction du temps de travail susceptible d'être valorisée. Pour une production donnée, suivant le degré de mécanisation, le nombre d'animaux pouvant être confié à un homme varie dans des conditions importantes. On peut admettre dans des exploitations équipées : 1 vacher pour 330 000 l. de lait correspondant à 40-45 vaches et leur suite; à Grignon, on compte 1 berger pour une production annuelle de 1 200 à 1 500 agneaux.

Lors de la prise de décision de mécaniser, l'éleveur doit tenir compte de ce que la mécanisation entraîne une augmentation des charges, elle peut être à l'origine d'une baisse des productions individuelles, elle exige l'emploi maximal du matériel.

Dans les troupeaux de grande taille hautement mécanisés, toutes dispositions doivent être prises pour que les animaux continuent à être suivis individuellement. Il faut multiplier les étapes où il est possible d'observer leur comportement. Il en est ainsi pendant la traite et pour le contrôle de la consommation d'aliments concentrés dans la mesure où celle-ci est automatisée, programmée et contrôlée.

Dans les pays industrialisés, le développement de la mécanisation est le plus souvent inéluctable. Par contre, dans les pays en voie de développement, il faut considérer les conditions socio-économiques propres à chaque pays.

Extensification

Une révision profonde de la PAC est en cours. Toute une série de mesures visent pour l'essentiel à réduire le montant des aides communau-

taires à la production. Déjà on a enregistré une tendance à la baisse du prix des produits. Cette tendance a été partiellement compensée par les accroissements de productivité. Les contraintes portent aussi désormais sur les volumes et des aides incitatives se mettent en place pour la mise en jachères de terres consacrées à des productions végétales ou pour la diminution volontaire du volume des productions (lait).

Simultanément, le déficit en successeurs potentiels et les difficultés de reprise d'exploitation, face en particulier aux besoins de capitaux qui s'accroissent avec la mécanisation, peuvent accélérer la réduction du nombre d'exploitations. Les terres libérées peuvent être soit reprises par des agriculteurs pour accroître la dimension de leur exploitation, soit laissées à d'autres usages dans une problématique de déprise agricole, laquelle pose le problème de l'aménagement de l'espace rural. L'agrandissement peut être techniquement bénéfique mais il suppose résolu le financement et le poids des charges fixes liées au foncier [15].

L'extensification est-elle une voie de solution ? Peut-on mettre au point des systèmes de production permettant de retrouver des marges économiques satisfaisantes pour des valeurs plus faibles de rendement et de consommation d'intrants ?

La recherche des possibilités offertes par l'extensification pour des systèmes d'élevage de ruminants nécessite une analyse globale de l'exploitation. Il existe vraisemblablement une multiplicité de voies à étudier dans le contexte de chaque type d'exploitation.

Un récent colloque à Dijon (Cl. BERANGER, 1990) a montré la prolifération des études et la diversité de leurs contextes. Les nouvelles approches reposent le plus souvent sur une très haute technicité de l'éleveur. Les animaux, comme les technologies de conduite, devront être adaptés aux nouvelles conditions. En tout état de cause, le prix de la terre reste élevé, avec certes de fortes variations régionales, les charges sociales et fiscales sont élevées, une forte productivité du travail impliquera la gestion de surface et de troupeaux importants.

Reste à mettre au point des techniques dont le faible coût et la fiabilité seraient compatibles avec de tels systèmes. La parole est à la Recherche.

EN CONCLUSION

L'accroissement des performances, qui se justifie par une diminution des coûts unitaires de production, a ses limites tant que les problèmes nouveaux qu'il suscite ne sont pas résolus.

Ainsi, chez les vaches laitières, un niveau de production moyen pour un troupeau supérieur à 7 500 – 8 000 kg de lait par lactation s'accompagne d'une "fragilité" qui se traduit par des troubles digestifs (acidose), métaboliques

(acétonémie), de reproduction (diminution de fertilité, mortalité embryonnaire), de locomotion (accidents des pieds), des réformes prématurées après 2 à 3 lactations de vaches dont les carcasses sont peu appréciées et des frais vétérinaires qui s'accroissent. Plus généralement, les charges dites "fixes" cessent de l'être. En production de viande, des taurillons à vitesse de croissance trop élevée peuvent être victimes d'une pathologie particulière des membres. Chez les ovins, la prolificité exagérée des brebis (plus de 2 agneaux) risque d'aboutir à des agneaux trop petits à la naissance, dont la croissance reste limitée et qui font du gras précocement. Il en résulte des dépenses accrues (allaitement artificiel) et un prix de revient plus bas.

La nécessaire réduction des coûts de production doit être recherchée par la meilleure utilisation possible des intrants disponibles. L'amélioration de la production fourragère et de son utilisation, le recours à des sous-produits industriels sont à l'ordre du jour avec une distribution complémentaire d'aliments concentrés s'inscrivant comme un prolongement des efforts consentis pour les fourrages.

L'amélioration de la qualité des produits intéressant leur hygiène et leur composition est stimulée par les modalités d'établissement des prix. La production laitière, l'instauration des quotas laitiers et la surproduction de matières grasses ont conduit à privilégier davantage, mais encore insuffisamment, le taux protéique, ce qui interpelle l'amélioration génétique et l'alimentation.

La recherche d'une telle amélioration suppose une association étroite avec l'industrie de transformation qui devrait se sentir concernée, et, plus généralement, une réflexion au sein de la filière.

Le contexte général de la production évolue, le chef d'exploitation prend désormais sa décision en fonction non seulement de contraintes techniques, économiques et sociales, mais aussi de l'environnement au double plan des nuisances, dues en partie à l'accroissement des effectifs, et de la gestion de l'espace rural.

Les principes de base de l'amélioration des productions restent valables. Leur application continuera à s'affiner et de nouvelles voies s'ouvriront.

L'ère des biotechnologies animales est engagée. La complexité même des organismes animaux rend cette démarche relativement lente et difficile. Les sondes d'acide nucléique ouvrent des voies vers des estimations précoces de certains caractères dont le déterminisme génétique est relativement simple. La transgénèse a encore rencontré peu de succès mais des tentatives doivent être poursuivies tant sur les animaux que sur les micro-organismes du rumen.

Dans le domaine de la reproduction, après l'explosion de l'insémination artificielle, la transplantation embryonnaire se développe, le sexage des embryons de bovins se met en place, la fécondation in-vitro et le clonage

appellent de nouvelles études avant de passer au stade des applications dans la pratique de l'élevage des polygastriques. Mais déjà commencent à être cernées les conséquences génétiques de toute la gamme de ces nouvelles voies.

Les perspectives techniques, incluant les biotechnologies animales, apparaissent comme de nouveaux outils susceptibles de favoriser le progrès génétique et la valorisation des aliments. Elles s'inscrivent, avec des applications à plus ou moins long terme, dans le champ de la réflexion et de l'action d'une amélioration des productions des ruminants au bénéfice de la consommation, et des hommes et femmes qui se consacrent à ces productions.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie pour leur collaboration J. BOUGLER, professeur, C. DISHENHAUS, maître-assistant, C. DUVAUX-PONTER, assistant, P. MORAND-FEHR, directeur de Recherches et D. SAUVANT, professeur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.P.C.A., 1991. - La situation de l'agriculture. *Chambres d'Agric.*, suppl. au n° 792.
- [2] BOUGLER (J.), 1989. - Les Bovins. INRA-SCEES. *Le Grand Atlas de la France rurale*, 276-283.
- [3] COLLEAU (J.J.), 1990. - Quelles conséquences attendre des nouvelles techniques de reproduction en matière d'amélioration génétique? *Journ. Et. UNLG*, 21 nov. 1990 (16, rue Claude-Bernard 75005 Paris).
- [4] COUROT (M.) et VOLLAND-NAIL (P.), 1991. - Conduite de la reproduction des mammifères domestiques : présent et futur. *INRA, Prod. Anim.*, 4 (1), 21-29.
- [5] GELLIN (J.) et GROSCLAUDE (F.), 1991. - Analyse du génome des espèces d'élevage : projet d'établissement de la carte génétique du porc et des bovins. *INRA, Prod. Anim.*, 4 (1), 97-105.
- [6] GROSCLAUDE (F.), 1988. - Le polymorphisme génétique des principales lacto-protéines bovines. *INRA Prod. Anim.*, 1, 5-17.
- [7] HENTGEN (A.), 1989. - Les productions fourragères. INRA-SCEES, *Le Grand Atlas de la France rurale*, 222-229.
- [8] HOUDEBINE (L.M.), 1991. - Les biotechnologies animales. *INRA, Prod. Anim.*, 4 (1), 81-88.
- [9] INRA, 1978. - Alimentation des ruminants - Ed. INRA Publications, Route de Saint-Cyr - 78000 Versailles.
- [10] INRA, 1988. - Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA, Paris.
- [11] ITEB, 1990. - Stratégies de complémentation des vaches laitières. Public. ITEB, 149, rue de Bercy - 75595 Paris cedex 12.
- [12] REES (W.D.), FLINT (H.J.), FULLER (M.F.), 1990. - A molecular biological approach to reducing dietary amino acid needs. *Biotechnology*, 8, 629-633.
- [13] ROUX (M.), 1989. - Les ovins. INRA-SCEES, *Le Grand Atlas de la France rurale*, 284-289.
- [14] THIBIER (M.), 1990. - Quoi de neuf en matière de reproduction? *Journ. Et. UNLG*, 21 nov. 1990 (16, rue Claude-Bernard 75005 Paris).
- [15] TIREL (J.C.), 1991. - L'extensification : chance ou défi pour les exploitations agricoles? *INRA, Prod. Anim.*, 4 (1), 5-12.
- [16] WOOLIAMs (J.A.), WILMUTI (I.), 1989. - Embryo manipulation in cattle breeding and production. *Anim. Prod.*, 48, 3-30.