

Former pour l'amélioration génétique : questions anciennes et nouveaux défis*

E. VERRIER (1), R. JUSSIAU (2), P. LE ROY (3), P.L. GASTINEL (4), A. DUCOS (5), L. JOURNAUX (4), S. LAGARRIGUE (6), M. MAMBRINI (3), S. MATTALIA (4), L. MONTMEAS (2), A. PAPET (7), X. ROGNON (1)
(1) INA Paris-Grignon, Département des Sciences Animales, 16 rue Claude Bernard, 75231 PARIS cedex 05
(2) MAAPR-DGER, Inspection de l'Enseignement Agricole
(3) INRA, Département de Génétique Animale, 78352 JOUY-EN-JOSAS cedex
(4) Institut de l'Elevage, Département de Génétique, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS cedex 12
(5) ENV Toulouse, Département de Productions Animales, BP 87614, 31076 TOULOUSE cedex
(6) Agrocampus Rennes, Département Sciences de l'Animal, CS 84215, 35042 RENNES cedex
(7) Lycée Général et Technique Agricole de Limoges, les Vaseix, 87430 VERNEUIL-S/VIENNE

RESUME - L'amélioration génétique des animaux est une activité qui intègre de nombreux outils et méthodes et cette caractéristique a toujours marqué son enseignement. L'organisation de la sélection va profondément évoluer dans les prochaines années, tant du fait de la diversification des outils et des connaissances, que du contexte socio-économique. L'importance des problèmes sanitaires et des questions juridiques ne cesse de s'accroître dans le métier de sélectionneur. Le champ des espèces animales concernées se diversifie lui aussi avec, à côté des espèces de mammifères et de volailles de rente, la prise en compte du cheval de course ou de sport, des espèces aquacoles et des animaux de compagnie. Des questions de contenu et de pédagogie sont ainsi posées aux formateurs et ce dans le cadre d'une vaste diversité des publics à former, des métiers pour lesquels former et des structures impliquées dans la formation. Dans cette communication, on décrit l'évolution des métiers et du contexte, on analyse en détail les questions posées en matière de formation et on présente certains éléments de réponse actuels ainsi que des pistes de réflexions susceptibles de conduire à des réponses aux défis identifiés. On insiste sur la nécessité de raisonner de façon intégrée un enseignement d'amélioration génétique et de ne pas se limiter à des enseignements des différentes composantes de celui-ci.

Training for animal breeding: old questions and new challenges

E. VERRIER (1), R. JUSSIAU (2), P. LE ROY (3), P.L. GASTINEL (4), A. DUCOS (5), L. JOURNAUX (4), S. LAGARRIGUE (6), M. MAMBRINI (3), S. MATTALIA (4), L. MONTMEAS (2), A. PAPET (7), X. ROGNON (1)
(1) INA Paris-Grignon, Département des Sciences Animales, 16 rue Claude Bernard, 75231 PARIS cedex 05

SUMMARY - Animal breeding is an activity that involves many different tools and methods. Teaching animal breeding has always been influenced by these characteristics. During the following years, the organisation of animal breeding will change, due to, on the one hand, the use of new tools and the consequences of new knowledge and, on the other hand, strong changes in the social context. In the activity of the animal breeder, an increasing emphasis will be put on sanitary problems and legal questions. Breeding programmes are being developed for an increasing number of animal species: in addition to farm animals and poultry for which breeding programmes are ancient, more recent programmes have been developed for race or riding horses and for aquatic species, and programmes for pets are being developed. Teachers are faced with questions about the content and form of training, within a context of a large diversity of people to be trained, professions for which to train, and institutions in charge of training. In this paper, the evolution of the professions linked to animal breeding and of the context is described. The questions dealing with training are analysed, some current answers are developed and some proposals are made. The need to train globally for animal breeding, instead of teaching separately the different components of animal breeding, is highlighted.

* Les auteurs dédient cette communication à un ami qui demeure un de leurs maîtres, Jacques Bougler.

INTRODUCTION

L'amélioration génétique des animaux est une activité qui intègre de nombreux outils et méthodes et cette caractéristique a toujours marqué son enseignement. La diversification récente des outils, notamment de la génomique et la sophistication accrue des méthodes, notamment statistiques, renforcent la complexité du sujet. De plus, la biologie intégrative conduit à une interpénétration de la génétique et des autres disciplines des sciences animales. Il faut également considérer la vaste diversité du public à former (de l'enseignement secondaire au doctorat puis en formation continue), des métiers pour lesquels former (éleveurs, techniciens, ingénieurs, vétérinaires, chercheurs...) et des structures impliquées dans la formation (lycées agricoles, écoles agronomiques et vétérinaires, université, organismes de recherche, instituts techniques...). Des questions de contenu et de forme pédagogique, parfois fort anciennes, sont posées aux formateurs et l'évolution rapide du contexte les met face à de nouveaux défis : quelles formations pour quels métiers, jusqu'où aller dans l'exposé des méthodes, comment aller du général au particulier, quelles formations pratiques mettre sur pied... ?

1. ELEMENTS DE CONTEXTE

1.1. UNE DIVERSIFICATION DES ATTENTES VIS-A-VIS DES FILIERES ANIMALES

C'est une banalité de rappeler qu'en Europe les demandes de la société vis-à-vis de l'agriculture en général et de l'élevage en particulier, traduites notamment par la Politique Agricole Commune (PAC), ont fortement évolué au cours des dernières décennies. Aujourd'hui, l'Union Européenne est sans aucun doute la partie du monde où le "cahier des charges" relatif aux productions animales et aux produits animaux est le plus multiforme et le plus contraignant. A côté d'une demande de masse, persistante dans les faits, pour des produits alimentaires bon marché, les filières animales doivent satisfaire un grand nombre d'exigences : sécurité sanitaire des aliments, qualité des produits et segmentation du marché, gestion des effluents et contrôle de l'impact environnemental des activités d'élevage, respect de la santé et du bien-être des animaux, etc. Les objectifs de sélection ont évolué ou vont évoluer face à ces nouvelles demandes et le champ de compétences du sélectionneur doit donc s'élargir en conséquence.

1.2. UNE INTERNATIONALISATION DES ACTIVITES DE SELECTION ET UNE EVOLUTION DE LEUR ORGANISATION

L'activité de sélection s'internationalise, les comparaisons internationales de reproducteurs et les échanges de matériel génétique s'intensifient. Dans certains cas, l'activité se situe à l'échelle mondiale : race bovine Holstein, cheval Pur-Sang Anglais, sélection avicole, etc. La vague libérale que connaît le commerce mondial touche le secteur de la sélection animale comme les autres. L'organisation de la sélection va profondément évoluer dans les prochaines années, sans parler d'éventuelles délocalisations. En France, la modification en cours de la loi sur l'élevage de 1966, dans le cadre de la loi de modernisation agricole, en est l'illustration. De façon concomitante à cette internationalisation et à cette libéralisation économique, l'importance des problèmes sanitaires et des questions

juridiques ne cesse de s'accroître dans le métier de sélectionneur.

1.3. DE MOINS EN MOINS D'ELEVEURS ET UNE SOCIETE TOUJOURS PLUS URBAINE

Au sein de l'Union Européenne, hormis chez quelques-uns des nouveaux adhérents, la population agricole ne représente plus que quelques pourcents de la population active. Le nombre d'éleveurs, toutes espèces confondues, décroît depuis plusieurs décennies. Certains scénarii d'évolution de la PAC (suppression des quotas laitiers, par exemple) indiquent que le mouvement de concentration et d'agrandissement des structures n'est pas sur le point d'être enrayé. Cette évolution démographique et structurelle a des conséquences directes sur l'organisation, l'encadrement et le financement du développement agricole, en général et des actions collectives nécessaires à la sélection en particulier : on assiste à des regroupements, à des redistributions des tâches et à des mutualisations de moyens. Par ailleurs, la diminution du nombre d'agriculteurs rend notre société moins sensible aux problèmes spécifiques de ces derniers. Le regard porté sur les animaux, leur rôle et leur place dans la société, devient de plus en plus citoyen.

1.4. UN CHAMP D'ESPECES ELARGI

Si l'homme a exercé depuis les débuts de la domestication une sélection plus ou moins empirique des animaux qu'il élevait, des programmes intégrés de sélection, valorisant toutes les avancées de la génétique comme celles d'autres disciplines, n'ont été développés que depuis la moitié du 20^{ème} siècle et ont tout d'abord concerné les espèces de rente. Depuis quelques décennies, des programmes se sont développés pour d'autres espèces domestiques, comme les chevaux de sport ou de course, ou d'autres espèces dont le statut domestiqué prête à discussion, comme les poissons d'élevage. L'application des nouveaux outils et des moyens de la génétique est en cours également chez les animaux de compagnie, notamment le chien, espèce pour laquelle la sélection de certaines aptitudes (travail, gardiennage...) et l'identification de facteurs génétiques de résistance ou sensibilité à certaines maladies peuvent revêtir une importance capitale.

1.5. DES OUTILS DIVERSIFIES ET DES METHODES SOPHISTIQUEES

La cartographie des génomes des espèces d'élevage a permis d'enrichir la palette des outils mis à la disposition des sélectionneurs : en donnant accès à une analyse fine du génome, les marqueurs moléculaires permettent par exemple d'exercer une pression de sélection préférentielle sur certaines portions chromosomiques impliquées dans les variations de certains caractères (Sélection Assistée par Marqueurs ou SAM), voire sur certains gènes aux fonctions connues. L'extraordinaire développement des outils et méthodes moléculaires (séquençage de génome complet, génomique fonctionnelle, bio-informatique...) va donner accès à une meilleure connaissance du fonctionnement des gènes, ce qui pourra avoir des répercussions en matière de techniques d'élevage comme en matière de critères de sélection. Par ailleurs, les méthodes statistiques employées pour analyser les données nécessaires à la sélection n'ont cessé de se sophistiquer, qu'il s'agisse d'estimer des paramètres génétiques des caractères (Maximum de vraisemblance restreint, en anglais REML), de détecter des

QTL (*Quantitative Trait Locus*) grâce aux marqueurs ou d'effectuer l'indexation des reproducteurs (Meilleur prédicteur linéaire non biaisé, en anglais BLUP, appliqué à un modèle animal). Le recours à des techniques d'intelligence artificielle devient nécessaire pour exploiter, documenter et interpréter, les quantités de résultats produits par les nouveaux outils, notamment les résultats de génomique fonctionnelle. Cette évolution rapide des connaissances, des outils et des méthodes, a pour corollaire une plus grande spécialisation des acteurs de la recherche et un risque accru d'isolement de ces derniers vis-à-vis des acteurs de la sélection.

2. LA FORMATION INITIALE

La formation initiale (ou formation première) des élèves, depuis l'enseignement secondaire dans les lycées agricoles jusqu'à la formation de doctorants, doit prendre en compte les spécificités de la discipline "amélioration génétique" et les évolutions évoquées plus haut. Il est tout d'abord nécessaire de prendre la mesure du nombre modéré d'emplois dans le secteur de la sélection et de la génétique animale (en comparaison d'autres secteurs des filières animales) : une délimitation entre formation générale et formation spécialisée est ainsi nécessaire. L'enseignement de la génétique à proprement parler soulève de sérieuses questions de didactique. La définition des apports en dehors de la génétique constitue également un problème en soi.

2.1. UNE NECESSAIRE DELIMITATION DES OBJECTIFS

Seule une petite fraction des élèves des cursus agricole, agronomique ou vétérinaire travailleront dans le domaine de la sélection et de la génétique animale. Il est ainsi nécessaire de bien différencier les objectifs de formation de ces derniers de ceux des autres...

2.1.1. La formation générale

Quels messages essentiels faire passer en formation initiale aux élèves (toutes formations confondues) qui, sans travailler dans le domaine de la génétique ou de la sélection, travailleront dans les filières animales (incluant les industries de transformation et la distribution) ? Comment leur assurer un bagage qui leur permette de dialoguer avec des généticiens ou des sélectionneurs ou de faire une expertise globale de systèmes d'élevage dont la stratégie génétique est une composante ? La définition des bases à apporter, alors que les connaissances évoluent vite et que les volumes horaires ne sont pas extensibles, revêt donc un aspect critique. Sans doute plus que d'autres branches de la biologie, car touchant au cœur du processus de la vie et de la transmission héréditaire, la génétique est encore, au début du 21^{ème} siècle, l'objet d'idées reçues, de mythes, voire de fantasmes.

Il ne faut donc pas craindre de se cantonner ici à des choses simples, par exemple :

- Les bases de l'hérédité et la compréhension des mécanismes de la transmission de caractères à déterminisme simple (lois de Mendel, sur les exemples de certaines maladies ou de la coloration).
- Les sources de variation (plusieurs gènes, plusieurs types d'effets de milieu) des caractères à déterminisme complexe ; les possibilités d'interaction entre le génotype et le milieu, qui peut rendre toute relative la notion d'animal amélioré.
- L'idée que, malgré la complexité du déterminisme, il est possible de se représenter la variation des caractères (notion

de modèle) et d'agir dessus, avec de nombreuses illustrations montrant que "ça marche" ; les notions de valeur génétique et d'héritabilité.

- Le principe de l'indexation : la combinaison de plusieurs informations (performances individuelles, performances d'apparentés) pour prédire la valeur génétique d'un animal et donc celle de sa descendance

- Le rôle du hasard (en réalité de ce que l'on ne maîtrise pas) dans le résultat d'un accouplement ; en corollaire, le fait que pour juger précisément de la valeur d'un reproducteur, il faut mesurer un grand nombre de descendants et non pas un seul.

- L'inertie "démographique" qui pèse sur l'évolution des populations d'élevage et le temps qui s'écoule entre des décisions de sélection et leur répercussion à grande échelle en élevage.

- La liaison génétique entre caractères, qui peut favoriser ou au contraire entraver l'amélioration simultanée de plusieurs caractères.

- L'intérêt et l'importance du croisement en amélioration génétique et en élevage.

- L'apport des outils moléculaires, qui permettent de dépasser le stade où le génome est considéré comme une "boîte noire", mais qui ne permettent néanmoins pas d'identifier tous les gènes responsables des variations d'un caractère (une vision intégrale du déterminisme des caractères est hors d'atteinte et pour longtemps encore).

- La nécessaire insertion des programmes d'amélioration génétique dans un contexte économique et social et la nécessaire organisation, collective ou privée, pour la sélection (y compris pour la collecte des informations élémentaires).

- Etc.

2.1.2. Les formations spécialisées

On s'adresse ici à ceux qui se destinent aux métiers de la génétique, dans les organismes ou les entreprises de sélection, les organismes d'encadrement et de développement, la recherche et l'enseignement supérieur. A l'évidence, le stade des principes de base n'est plus suffisant et il est nécessaire d'asseoir la formation sur de solides apports en méthodologie. Ces derniers doivent cependant être adaptés à la nature du métier et à la qualification de l'emploi.

Schématiquement, on peut distinguer deux niveaux d'approfondissement :

- L'acquisition des bases méthodologiques permettant, d'une part, de comprendre le détail des méthodes en cours, de les mettre en œuvre dans des situations "standard" et d'en interpréter les résultats et, d'autre part, de mettre à jour ses compétences au cours de la carrière (voir plus loin).

- L'acquisition d'une maîtrise poussée des méthodes relatives à l'analyse de la variabilité génétique des caractères complexes et des méthodes employées en amélioration génétique, permettant leur mise en œuvre dans une gamme variée de situations et, le cas échéant, d'innover dans ce domaine.

Les formations d'ingénieurs, les formations vétérinaires et celles conduisant au BTS, dans le cadre d'un cursus "productions animales", peuvent répondre à l'un ou l'autre de ces objectifs, selon le degré d'approfondissement (options, stages...). Les formations de master "recherche" et autres formations doctorales visent le second, avec des débouchés dans la recherche (évidemment) mais aussi dans les entreprises de sélection et les organismes d'encadrement.

2.2. QUESTIONS DE DIDACTIQUE

Des questions de didactique, souvent anciennes et récurrentes, se posent au formateur en amélioration génétique. Cela tient notamment à l'importance de la formalisation mathématique et à la difficulté d'organiser des travaux pratiques.

2.2.1. Jusqu'où aller dans la formalisation mathématique ?

A différents stades, notamment lors de l'évaluation génétique des reproducteurs, l'amélioration génétique des animaux implique un usage intense de la modélisation et des statistiques. Selon les objectifs et le niveau de formation, on peut aller plus ou moins loin dans l'abstraction et la formalisation mathématique.

Un problème majeur consiste alors à trouver le point jusqu'où on peut aller sans risque de décrocher, voire de désespérer, son auditoire. Il est ainsi nécessaire de recourir à un certain nombre de "boîtes noires", c'est-à-dire des "postulats" que l'on demande aux élèves d'admettre. D'autres moyens sont possibles, qui nécessitent une bonne dose de créativité de la part de l'enseignant : des simplifications (parfois à gros traits), des détours didactiques (par exemple, collectif, 1990), voire des formes ludiques d'apprentissage (par exemple, Gastinel, 1994).

Plus la formation est courte et moins elle est spécialisée, plus cette question des "boîtes noires" et autres "raccourcis" est cruciale. La grande difficulté en la matière est de ne pas donner une vision simpliste des choses, ce qui pourrait nuire à la crédibilité des méthodes. Une erreur serait ainsi de passer sous silence l'existence de modèles et le recours aux statistiques nécessités par la discipline elle-même. Afin d'éviter ces deux écueils, il est possible d'aménager les documents écrits remis aux élèves ou utilisés par les enseignants pour préparer leur cours : renvoi de certaines démonstrations dans des encadrés (Minvielle, 1990 ; Verrier *et al.*, 1993), alternance d'un corps de texte relativement dépouillé et de compléments en police plus petite où les démonstrations sont données (Bonnes *et al.*, 1986). Les hyper-textes, sur CD-Rom ou sur Internet, offrent une très grande souplesse de ce point de vue.

Par ailleurs, une bonne coordination avec l'enseignement de mathématiques et si possible l'organisation de séances conjointes, ne peuvent être que favorables à une bonne appréhension du degré de formalisation que l'on peut adopter. Il en va de même avec les enseignements d'autres disciplines comme la génétique évolutive et la biologie moléculaire.

2.2.2. Quelles formations pratiques ?

En génétique animale, pour des raisons de coût et de durée, les expérimentations sont impossibles à réaliser dans le cadre du déroulement "normal" d'un enseignement d'amélioration génétique (même si l'on envisage d'utiliser des animaux de laboratoire comme les souris ou les drosophiles).

De nombreuses possibilités existent néanmoins pour offrir un enseignement qui ne soit pas que théorique et qui permette aux élèves d'être acteurs.

- Certains matériels végétaux étant en général moins coûteux à obtenir et pouvant se conserver relativement longtemps

offrent une excellente alternative. Par exemple, en première année de l'INA P-G, dans le cadre d'un enseignement conjoint entre généticiens des plantes et des animaux, une séance de TP a lieu depuis une petite dizaine d'années avec prise de mesures sur des grains de blé ou sur des graines de haricot, dont les analyses réalisées à la séance suivante de TD donnent accès à la décomposition de la variation des caractères ainsi qu'à la notion de marqueur.

Ce type de TP permet également de faire prendre conscience de la réalité des erreurs de mesure...

- L'étude de documents d'élevage permet de manipuler un certain nombre de notions, notamment en matière d'indexation des reproducteurs. Ce type de matériel est abondant et facile à se procurer. Une solution simple consiste à utiliser les documents relatifs à l'élevage de l'exploitation agricole de l'établissement, lorsque ce dernier en possède une. La conception de formations en collaboration entre établissements d'enseignement et instituts techniques ou de recherche garantit un accès privilégié à des données originales, bien valorisées sur le plan pédagogique : résultats expérimentaux, données de terrain, témoignages de techniciens, etc.

- Des allers-retours entre l'observation de cas concrets et des apports plus formalisés ou plus théoriques, permettant aux élèves de mobiliser leur connaissance sur le cas étudié, sont également permis par l'inclusion de visites ou de voyages d'étude dans l'enseignement (voir par exemple, en dehors de la formation en génétique, Lossouarn *et al.*, 1996).

- La multiplication d'applications numériques variées tout au long de la progression d'un cours est fortement recommandée pour motiver les élèves (par exemple, Papet, 2004).

- La simulation sur ordinateur se révèle un outil puissant à l'appui de l'enseignement de l'amélioration génétique (Verrier et Foulley, 1990). L'expérience montre cependant qu'un minimum de bases doit être acquis avant utilisation, afin que les élèves s'approprient la démarche de la simulation. Des programmes simples permettent de mimer des expériences sur un grand nombre de générations ; certains de ces programmes, faciles d'emploi, sont disponibles sur Internet (par exemple, site web [1]). Des programmes plus élaborés permettent aux élèves de "jouer" au sélectionneur, le plus célèbre de ces jeux de sélection étant sans doute le *Cow-Game* (Willham et Thomson, 1970), importé et utilisé en France sous deux versions légèrement différentes (*Cow-Game*, Foulley et Felgines, INRA-Jouy ; Jeu de Vo, Mallard et Douaire, ENSA-Rennes). Outre l'illustration concrète de certaines notions (rôle du hasard, Coefficient de Détermination...), ce type de jeu de sélection permet aux élèves de vivre, à leur échelle, certaines discussions, voire conflits d'intérêt, qui peuvent exister dans la réalité à propos, par exemple, de l'utilisation en commun de certains reproducteurs.

- Internet permet de mettre à disposition des matériels pouvant servir d'illustrations (par exemple, site web [2]). La navigation entre différentes sources d'information issues des méthodes de biologie et génétique moléculaires couplées à la bio-informatique, permet par exemple de percevoir l'accélération des connaissances dans ce domaine. Une grande difficulté est néanmoins de faire le tri dans la masse d'informations disponibles (voir plus loin).

- Est-il utile d'insister sur l'importance des stages ? Les organismes d'accueil, depuis les entreprises de sélection jusqu'aux institutions de recherche, sont alors des partenaires à part entière de la formation. Les stages de fin d'études, généralement longs, constituent une occasion irremplaçable d'affermir un savoir-faire. Les stages plus précoces et plus courts sont également très importants pour la découverte des métiers.

2.3. LE CHAMP DES ESPECES ET LES ILLUSTRATIONS

2.3.1. Le choix des espèces

Il y a longtemps que l'enseignement de la zootechnie n'est plus divisé en deux, la zootechnie générale (principes) puis la zootechnie spéciale (étude des différentes espèces d'élevage). Il n'en demeure pas moins nécessaire de gérer les aller-retours entre le général et le spécifique ainsi que le champ des espèces où l'on va puiser des illustrations ou dont on va traiter le cas en tant que tel.

Sans disposer de données précises à ce sujet, l'impression qui se dégage est que dans de nombreux établissements, les espèces "dominantes" en tant que support d'illustrations sont les bovins laitiers et les porcs. Ceci n'est pas sans raison :

- 1- dans ces deux espèces, les programmes d'amélioration sont anciens, particulièrement bien aboutis et efficaces,
- 2- ces deux espèces constituent un support pédagogique de premier choix pour traiter de sélection et de croisement, respectivement et
- 3- l'information nécessaire est abondante et facilement accessible, ce qui n'est pas toujours le cas.

Toutefois, même quand on dispose d'un temps limité, il est toujours enrichissant de diversifier les illustrations et les espèces, ce qui suppose une recherche documentaire poussée. Les élèves sont généralement sensibles à cette ouverture. On peut même remarquer que certains élèves qui montrent peu d'attrait pour la discipline, notamment sous ses aspects mathématiques, se révèlent plus réceptifs dès que l'on aborde une espèce qu'ils connaissent ou qui les motive plus particulièrement : le cas du cheval est exemplaire à cet égard. Par ailleurs, l'homme pouvant influencer sur l'évolution génétique de certaines populations sauvages (prélèvements, repeuplements, conservation...), il peut également être intéressant d'inclure quelques exemples traitant de la faune sauvage.

2.3.2. Le cas des animaux de compagnie

La formation en amélioration génétique concerne peu ou pas du tout les animaux de compagnie. Dans les lycées agricoles et les Ecoles d'ingénieurs, cette situation est liée au champ des débouchés de ces établissements, en lien avec les espèces de rente. Cela prévaut également, sans doute dans une moindre mesure, dans les Ecoles vétérinaires (alors que les animaux de compagnie ont une place de choix dans le domaine de l'alimentation et dans les disciplines cliniques). Compte tenu de la place de ces espèces dans nos sociétés et du marché potentiel du conseil génétique, on est en droit de se demander si la position actuelle ne doit pas être remise en cause. Un autre argument en faveur d'une composante "animaux de compagnie" réside dans le pouvoir attractif de ces espèces vis-à-vis de certaines catégories d'étudiants (au minimum ceux se destinant à la pratique vétérinaire de

cabinet et une partie de ceux d'origine citadine). En Amérique du Nord, les facultés vétérinaires intègrent d'ores et déjà une telle composante dans leur formation. En dehors du cursus vétérinaire, c'est également le cas de certaines universités. Pour ne prendre qu'un exemple prestigieux, l'Université de Cornell a développé d'importants cours de génétique canine et de génétique féline qui, aujourd'hui, figurent parmi les cours offerts aux étudiants présents sur le campus et constituent l'essentiel du programme de formation à distance (site web [3]). Une des motivations d'un tel investissement est l'attractivité de ces espèces face à une relative désaffection des étudiants vis-à-vis de la formation en "*animal breeding*" (Oltenu, 2002).

2.3.3. Le choix des caractères ou fonctions supports d'illustrations

En matière de caractères ou fonctions analysées, là encore la diversité est souhaitable. Il faut, par exemple, tenir compte de l'image péjorative du terme "production" (assimilé au productivisme et à certaines de ses répercussions négatives) auprès d'étudiants citadins qui n'ont vu les filières animales qu'au travers de ce que les médias en présentent. Sans devoir céder à des phénomènes de mode, il faut reconnaître que travailler à partir de la qualité des produits (sous ses différentes acceptions), le comportement ou la résistance aux maladies, permet de faciliter l'apport de notions de base en focalisant l'attention sur des problématiques susceptibles d'intéresser bien plus le public étudiant que des caractères comme la production laitière ou la croissance. Cela favorise également la transversalité : le cas de la résistance aux maladies constitue un très bon exemple dans ce sens.

2.4. APPORTS EN DEHORS DE LA GENETIQUE

2.4.1. Sciences, techniques et outils

L'enseignement de l'amélioration génétique, discipline de synthèse, doit pouvoir reposer sur une formation scientifique préalable, notamment en biologie et en mathématiques. Plus le cursus est court, plus les apports de base doivent être intégrés à l'enseignement d'amélioration génétique proprement dit et venir en tant que de besoin plutôt que de façon indépendante. Parmi les outils d'usage quotidien dans les métiers de la génétique animale, signalons l'informatique, dont l'apprentissage doit aller bien au-delà de la bureautique. Ceci est une évidence pour les futurs chercheurs qui devront utiliser et développer des programmes de calculs. Un minimum de formation sur l'utilisation et la conception de bases de données est aussi nécessaire pour les futurs ingénieurs ou techniciens évoluant dans d'autres organismes "de terrain" car la gestion de données et les échanges formalisés sont de plus en plus importants dans ce domaine.

2.4.2. Sciences sociales

Compte tenu de l'insertion des activités de sélection animale dans l'économie, de la dimension collective des programmes et de l'importance des aspects d'organisation et de l'irruption du consommateur dans le monde des filières animales (suite aux diverses crises récentes), les sciences sociales ont évidemment toute leur place dans la formation. Les évolutions récentes en la matière (pratiques de plus en plus procédurières, brevetabilité du vivant, droit d'accès aux ressources génétiques...) militent même pour un renforcement de l'enseignement du droit.

2.4.3. L'aptitude à la communication

L'aptitude à la communication, écrite comme orale, est certes une nécessité pour tous, mais est particulièrement utile dans les métiers du développement agricole, de la recherche et de l'enseignement. Si la communication vers ses pairs ne pose pas de problème majeur (et encore !), la bonne vulgarisation, c'est-à-dire qui exclue les à-peu-près, est un exercice bien particulier. Les personnes censées faire de la vulgarisation dans le cadre de leur métier y sont, en fait, peu ou pas entraînées dans le cadre de leur formation initiale. Or, du fait de l'avancée des connaissances et de la complexification des méthodes, une telle capacité à maintenir un lien et un dialogue entre les acteurs de la recherche et ceux de l'élevage et de la sélection, demeure une impérieuse nécessité.

2.4.4. L'aptitude à la négociation

L'internationalisation de la sélection, l'accroissement des échanges, la disparition programmée de certains monopoles, les regroupements d'activités, etc. renforcent le besoin d'une bonne aptitude à la négociation dans le métier de sélectionneur. Dans ce domaine également, les possibilités d'apprentissage sont aujourd'hui restreintes. Comment intégrer dans la formation initiale l'apprentissage de la vulgarisation et celui de la négociation constitue un champ de réflexion ouvert pour les différents établissements concernés.

2.4.5. L'ouverture internationale

L'ouverture internationale va bien au-delà du nécessaire apprentissage de l'anglais. Il s'agit de permettre aux élèves de se confronter à des modes de vie et à des façons d'aborder les questions différentes des nôtres. Il faut bien reconnaître que les moyens pour y parvenir existent essentiellement dans l'enseignement supérieur, où l'obligation pour qu'un élément de son cursus se passe à l'étranger (semestre dans une université, stage long...) est en voie de généralisation. L'Europe de l'enseignement supérieur se construit, à son rythme, dans le domaine de l'"*animal breeding*" comme dans les autres (Verrier *et al.*, 2002) : outre les programmes Erasmus/Socrate d'échanges d'étudiants, qui sont bien rodés, on assiste à une intensification des échanges entre équipes enseignantes (on ne parle pas encore d'harmonisation des cursus), à une mutualisation de certaines formations (cours doctoraux internationaux...) et à la multiplication des actions "Marie Curie" pour l'accueil et la formation de doctorants et jeunes chercheurs venus de divers pays (par exemple, site web [4]).

3. LA FORMATION CONTINUE, LA FORMATION EN LIGNE ET LES T.I.C.E.

3.1. UNE OFFRE DE FORMATION CONTINUE PAR NATURE EVOLUTIVE

Pour une activité comme l'amélioration génétique, dont les outils, les méthodes et l'organisation évoluent parfois rapidement, la formation continue est une nécessité.

En France, la première formation offerte selon un rythme régulier dans ce domaine, le Cours Approfondi d'Amélioration Génétique des Animaux Domestiques (devenu ultérieurement Cours Supérieur, CSAGAD, site web [5]) a été créé en 1969, dans le sillage de la Loi sur l'Elevage de 1966, par Jacques Bougler, Professeur à l'INA

P-G. Fonctionnant comme un cycle, annuel puis bis-annuel, de sessions hebdomadaires dont on peut suivre tout ou partie, ce cours a contribué à former une proportion importante (sinon une grande majorité) des cadres de la sélection animale et un nombre significatif d'enseignants des lycées agricoles. D'autres formations, régulières ou ponctuelles, ont vu le jour, sous l'égide d'établissements d'enseignement (ENESA-Dijon, Agrocampus Rennes, Université, ...) ou des Instituts techniques d'Elevage (par exemple, site web [6]). Par nature, ces formations suivent de près l'évolution des méthodes et des pratiques de l'amélioration génétique. Aujourd'hui, par exemple, un effort particulier est porté sur de nouvelles formations en génomique pour éviter qu'un "fossé" ne se creuse entre les avancées importantes de la recherche dans ce domaine ces dernières années et les applications que l'on pourrait en attendre en élevage. De même, une des conséquences de la loi de modernisation agricole (en cours de débat), sera sans doute une demande de mise à jour en matière d'organisation de la sélection.

3.2. LES POSSIBILITES ET LES LIMITES DE LA FORMATION EN LIGNE

Il convient d'évoquer l'évolution des outils pédagogiques avec les TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation), qui induisent (ou induiront) nécessairement des bouleversements dans l'organisation des formations. A l'évidence, l'auto-formation à distance est la forme la plus concernée mais des applications en formation initiale ou continue sont déjà en cours et sont envisageables.

Les principales applications sont les suivantes :

- L'usage de la visio-conférence pour mutualiser certains cours entre des publics éloignés géographiquement. C'est une façon de réaliser simplement des cours internationaux.

- La mise à disposition sur Internet de matériels pédagogiques de diverse nature : diaporamas, notes de cours, illustrations didactiques, textes rédigés, etc. parmi lesquels il est possible de naviguer, sans contrainte particulière. Cette forme peut convenir également pour une communication vis-à-vis du grand public (par exemple, site web [7]).

- Le développement de réels modules ou logiciels de formation tutorée, avec évaluation possible en ligne, accessibles en Intranet (existe déjà dans certaines Ecoles) ou sur Internet (par exemple, site web [8]) ou bien diffusés sur CD-Rom (par exemple, site web [9]). Cette solution est bien plus lourde à mettre en œuvre que la précédente et nécessite un temps conséquent, de l'ordre de plusieurs dizaines d'heures de conception et de développement pour un module correspondant à une heure de travail de la part de l'apprenant.

Une des grandes forces de l'Internet est la possibilité de mise en réseau et donc de partage de ressources pédagogiques. A titre d'exemple, on peut citer le réseau GENET d'enseignement en ligne de la génétique (tous aspects confondus, incluant l'amélioration génétique). Créé en 1999 et coordonné par l'Université de Tours (Georges Periquet), ce réseau implique 10 établissements de 5 pays (France, Suisse, Bénin, Togo, Burkina-Fasso). Soutenu par

l'Agence Universitaire de la Francophonie, il propose l'accès gratuit, depuis un site central (site web [10]) et selon un canevas d'ensemble défini en commun, des matériels pédagogiques développés par les différents partenaires et mis en ligne sur leur propre site. Cette structure souple et évolutive s'est révélée très opérante, bien que le temps que les enseignants impliqués ont à y consacrer soit un facteur très limitant.

Il ne faut cependant pas négliger le rôle du formateur pour guider l'utilisation d'Internet, surtout en formation initiale, notamment parce que, contrairement à des siècles de pratique avec l'écrit, les informations mises en ligne peuvent ne faire l'objet d'aucune validation par l'extérieur. De même, il ne faudrait pas perdre de vue la nécessité et le bienfait des interactions sociales entre les personnes formées, entre ces dernières et les formateurs et entre formateurs : les classes 100 % virtuelles ne sont pas encore, nous l'espérons, pour demain.

CONCLUSION

Un certain nombre de questions évoquées rapidement dans cette communication se posent sans doute également dans l'enseignement d'autres branches de la zootechnie comme dans d'autres disciplines agronomiques. Néanmoins, parce qu'il est difficile en génétique animale de faire à petite échelle des observations qui débouchent sur des lois générales (on se situe plutôt dans le domaine des grands nombres) et du fait de la place que tiennent dans la pratique la modélisation et l'analyse statistique, l'enseignement de l'amélioration génétique soulève des questions spécifiques de délimitation des objectifs et de didactique. Ceci milite pour la conception de formations intégrées, c'est-à-dire qui partent de la finalité de l'activité d'amélioration génétique, qui introduisent en tant que de besoin les concepts et les bases méthodologiques et qui favorisent les allers-retours permanents entre connaissances biologiques, modélisation

et analyses statistiques et considérations pratiques. Les nouveaux outils de communication permettent d'enrichir les méthodes pédagogiques et l'internationalisation gagne progressivement les activités de formation. L'avancée de la biologie, les défis à relever pour le secteur de la sélection comme dans celui des ressources génétiques et de la biodiversité et les perspectives dans le domaine de la pédagogie constituent un contexte enthousiasmant pour les formateurs. Pour que cet enthousiasme demeure, il faudrait néanmoins que les moyens dédiés aux établissements d'enseignement se situent à la hauteur des ambitions affichées.

Collectif, 1990 (mise à jour 1994). La sélection et les index chez les bovins laitiers. Jeu de fiches ITEB/INRA/INA P-G.

Bonnes G., Darré A., Fugit G., Gadoud R., Jussiau R., Nadreau N., Papet A., Valognes R., 1986. Amélioration génétique des animaux d'élevage, Editions Foucher, Paris, 286 p.

Gastinel PL., 1994. Institut de l'Élevage, CR n°2255.

Lossouarn J., Mariojouis C., Chapoutot P., Rognon X., 1996. 2nd European Symposium on Rural and Farming Systems Research, Grenade, Espagne, 27-29 mars 1993, 4 p.

Minvielle F., 1990. Principes d'amélioration génétique des animaux domestiques. INRA Editions, Versailles & Presses de l'Université laval, Québec, 211 p.

Oltenu T., 2002. 7th WCGALP, Montpellier, August 19-23, 2002, CD-Rom, communication n°29-02.

Papet A., 2004. Exercices corrigés de génétique, Bac et BTS. Livrets du Centre National de Promotion Rurale.

Verrier E., Foulley J.L., 1990. Séminaire "simulation", Station de Génétique Végétale du Moulon, 17-18 mai 1990, 6 p.

Verrier E., Brabant P., Gallais A., 1993 (mise à jour 1999). Faits et concepts de base en génétique quantitative. Polycopié INA P-G 1^{er} année, 126 p.

Verrier E., Rohe R., Groen A.F., Ojala M., Ligda C., Blasco A., Carnier P., Gengler N., Klemmetsdal G., Malmfors B., Petersen P.H., Vissche, P., Willam A., 2002. 7th WCGALP, Montpellier, August 19-23, 2002, CD-Rom, communication n°29-03.

Willham R.L., Thomson G., 1970. *Instructions for use of beef cattle simulation program*, Iowa State University (user notes).

[1] University of Connecticut, *Population biology simulations*
<http://darwin.eeb.uconn.edu/simulations/simulations.html>

[2] Rumimedia, connaissance et apprentissage à la reconnaissance des races domestiques de ruminants
<http://www.rumimedia.com/>

[3] Cornell University, *Animal breeding and genetics*
<http://www.ansci.cornell.edu/abc.html>

[4] RIVAGE, *Early Stage Training*, Jouy-en-Josas
<http://www.jouy.inra.fr/rivage/fr/>

[5] CSAGAD, Cours Supérieur d'Amélioration Génétique des Animaux Domestiques
http://www.inapg.inra.fr/dsa/ger_genetique/csagad/csagad.htm

[6] Formations de l'Institut de l'Élevage
http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/rubrique.php?id_rubrique=1

[7] Les races domestiques françaises, INA P-G/FUS
<http://www.inapg.inra.fr/dsa/especes/especes.htm>

[8] GENUP, *Computer aided learning for quantitative genetics*
<http://www-personal.une.edu.au/~bkinghor/genup.htm>

[9] GENEPI, Logiciel de formation à l'amélioration génétique des races bovines
<http://62.160.236.86/Document.htm&numrec=031034868921660>

[10] GENET, réseau francophone de formation en ligne en génétique
<http://www.univ-tours.fr/genet/>