

VI. LE CROISEMENT : APPORTS POTENTIELS DU CROISEMENT, PRINCIPAUX PLANS DE CROISEMENT

Dans le chapitre consacré à la sélection, nous avons envisagé les moyens de modifier la composition génétique d'une population de façon graduelle, à la faveur du renouvellement des générations. Cette voie d'amélioration génétique, la sélection, se situe intra-population, sans intervention de reproducteurs extérieurs. Dans ce chapitre, nous envisageons comment on peut exploiter la variabilité entre populations, au travers du croisement entre reproducteurs issus de populations différentes, pour faire de l'amélioration génétique. Après avoir effectué quelques rappels, nous envisagerons les apports potentiels du croisement puis nous décrirons les principaux plans de croisement qui ont pu être adoptés dans diverses situations.

A. Rappels et définitions (cf. GQ, Ch.V, disponible en ligne)

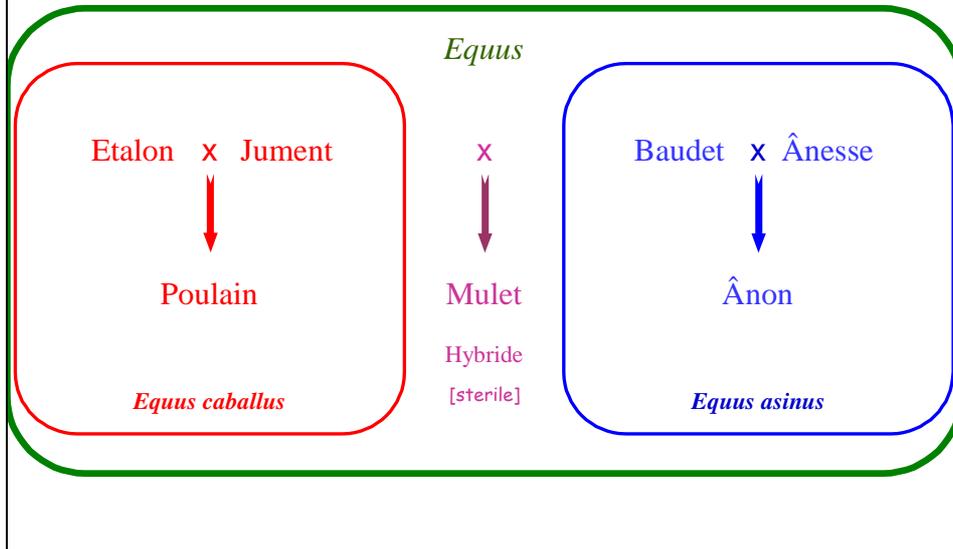
Dans le domaine des productions animales, les régimes de reproduction se définissent généralement par rapport aux notions de race, plus généralement de population, et d'espèce :

- **Race pure** : les reproducteurs s'unissent au sein d'une même population.
- **Croisement** : les reproducteurs viennent de populations différentes de la même espèce.
- **Hybridation**²⁶ : les reproducteurs appartiennent à des espèces différentes.

Appartiennent à une même *espèce* des animaux dont l'accouplement est fertile, car il donne naissance à un ou plusieurs jeunes viables, eux-mêmes féconds, c'est-à-dire capables de produire, l'âge venu, des gamètes fonctionnels. Au dessous de l'espèce, il est possible de distinguer des sous-ensembles d'animaux présentant entre eux un certain nombre de caractéristiques héréditaires communes, qui les distinguent d'autres sous-ensembles : on parle généralement de *races*. Pour désigner des populations fermées sélectionnées en vue d'objectifs précis, on parle également de *souches* (aviculture) ou de *lignées* (secteur porcin). Chez les animaux domestiques, ces subdivisions de l'espèce correspondent également à des subdivisions sociales : éleveurs qui se regroupent pour présider à la destinée d'une race, firmes de sélection qui détiennent des souches ou des lignées.

²⁶ Le terme hybridation est aussi employé en aviculture et, dans une moindre mesure, en élevage porcin, pour désigner le croisement entre souches ou lignées commerciales. Voir la discussion en GQ, § V.A.2.b

Genre – Espèce -Hybridation

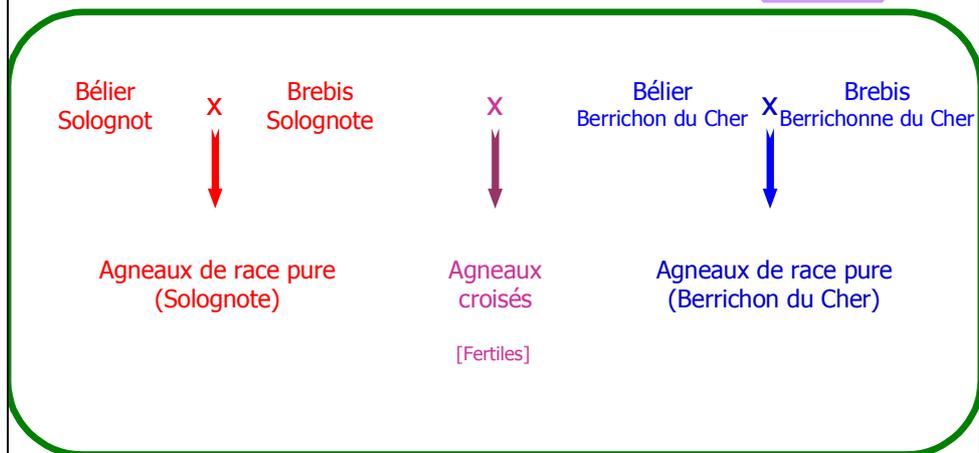


Photos:
E. Verrier
SOPEXA
Genovin Services

Subdivision de l'espèce Elevage en race pure - Croisement

Ensemble d'animaux présentant un certain nombre de caractères héréditaires communs

Race
Lignée
Souche



Au dessus de l'espèce, le genre correspond, en principe, au cas où l'accouplement est fertile mais donne un produit infécond. Les équidés en constituent une bonne illustration, avec un genre, *Equus*, et deux espèces domestiquées actuellement : l'âne, *Equus asinus*, et le cheval, *Equus caballus*. L'accouplement intergénérique est fertile, mais le produit est infécond, qu'il s'agisse du mulet (baudet x jument) ou du bardot (étalon x ânesse). Une situation aussi bien tranchée se retrouve chez les palmipèdes domestiques, avec le canard commun et le canard de Barbarie, dont le produit, canard mulard, utilisé pour la production de foie gras, est infécond.

Les bovins, en revanche, correspondent à une situation beaucoup plus floue. Il s'agit d'un groupe comprenant différents genres (d'après la systématique) : *Bos*, le bœuf, *Bibos*, le gaur, *Bison*, le bison et *Poephagus*, le yack. Ces « genres » correspondraient plutôt à des espèces que l'on pourrait regrouper au sein d'une « super-espèce » puisque, entre elles, l'accouplement est fertile et donne des produits féconds quand ils sont de sexe femelle et inféconds quand ils sont de sexe mâle. Le genre *Bos* quant à lui est divisé en deux espèces : *Bos taurus*, le bœuf d'Europe, et *Bos indicus*, le bœuf d'Asie ou zébu. Ces deux « espèces » sont parfois considérées comme deux groupes de races, correspondant vraisemblablement à deux centres de domestication indépendants : leur accouplement est fertile et leurs produits mâles et femelles sont généralement féconds.

B. L'élevage en race pure et ses limites

1. Intérêt historique et actuel de l'élevage en race pure

Les conditions naturelles et socio-économiques ont largement contribué à orienter et façonner les races actuelles. La correspondance entre une race et un milieu reste nette dans de nombreux cas, notamment en zone difficile. L'élevage en race pure a été à la base de l'organisation de l'élevage dans à peu près tous les pays d'élevage développé, et cela dès la fin du XIX^{ème} siècle. Ce type d'organisation était en effet le seul possible jusqu'à récemment, tant que l'encadrement technique de l'élevage était faiblement développé et que les opérations d'identification du cheptel étaient peu étendues.

2. Inconvénients de l'élevage en race pure

a. Lenteur relative du progrès génétique et antagonismes entre caractères

Le progrès génétique que l'on attend ou que l'on constate est lié à l'évolution des fréquences alléliques en un certain nombre de locus. Or ce processus, bien qu'efficace, est relativement lent (voir GP) et se heurte à la fraction du génome non polymorphe, qui constitue un élément de stabilité, que les mutations ne font qu'effleurer. En outre, l'amélioration vise le plus souvent à l'amélioration simultanée de plusieurs caractères. Les méthodes correspondantes (cf. Ch.V) peuvent se heurter à des oppositions génétiques trop grandes. Ainsi, il peut être impossible, ou difficile et très long, de réunir au sein d'une même race toutes les aptitudes que l'on recherche (par exemple, aptitudes de reproduction et développement musculaire).

b. Non utilisation de la variabilité génétique non additive

La sélection, on l'a vu, consiste à exploiter les différences d'origine génétique additive entre individus. L'élevage en race pure ne peut ainsi qu'exploiter la variabilité génétique additive d'un caractère. Or, la variabilité génétique non additive (dite « de dominance », cf. GQ Ch.III) peut être une composante non négligeable de la variabilité totale d'un caractère. Il y a donc là des possibilités d'action, qui ne sont pas valorisées par l'élevage en race pure. Cela est particulièrement fâcheux pour les caractères très peu héréditaires.

d. Risques liés à l'élévation de la consanguinité

L'élevage en race pure revient, sur le plan de la génétique des populations, à maintenir la race en question comme une population fermée. Dans ce type de population, la consanguinité s'élève inéluctablement (voir GP), ce qui s'accompagne généralement d'inconvénients (voir GQ, Ch.V) : augmentation de l'incidence des anomalies à déterminisme génétique simple, diminution de la moyenne de certains caractères quantitatifs (aptitudes de reproduction et de viabilité), diminution de la variabilité génétique intra-population. A long terme, l'ensemble de ces problèmes peuvent remettre en cause l'élevage en race pure. Il est néanmoins des cas où il est impossible d'éviter toute consanguinité : souches avicoles réellement maintenues fermées, races en conservation, etc. Cependant, on recherche toujours une élévation du coefficient de consanguinité moyen la plus lente et la plus régulière possible (éviter les à-coups).

B. Les apports potentiels du croisement et ses principales utilisations

D'une manière générale, le croisement vise à exploiter la variabilité génétique entre races et les apports potentiels du croisement correspondent schématiquement aux inconvénients de l'élevage en race pure. Dans les différents plans de croisement, on ne cherche pas toujours à bénéficier des mêmes avantages liés à ce mode de reproduction.

1. Apport de gènes nouveaux et/ou d'une supériorité génétique

Des races différentes présentent en général des structures génétiques différentes relativement à plusieurs locus et peuvent différer pour leur moyenne génétique additive pour un ou des caractères donnés. Dans ce cas, le croisement peut permettre de progresser sur les caractères que l'on recherche, plus que ce n'est possible par sélection intra-race. L'amélioration de la taille de portée dans l'espèce porcine illustre cet intérêt du croisement ainsi que les précautions qui s'imposent dans ce domaine.

Apports potentiels du croisement

1) Apports de gènes nouveaux et/ou d'une supériorité génétique

 **Permet d'aller plus vite qu'en sélection**

Conditions : Il faut que la race « extérieure »

- possède une réelle supériorité génétique pour le caractère recherché**
- ne possède pas de défaut rédhibitoire pour d'autres caractères**

En effet, des races porcines chinoises, la Meishan notamment, ont été importées en Europe dans les années 1970/1980 du fait de leurs exceptionnelles aptitudes reproduction. L'objectif était, entre autres, de bénéficier de ces aptitudes pour améliorer la taille de portée de certaines races porcines européennes. Ces races chinoises présentent cependant des défauts, notamment un excès d'adiposité incompatible avec les conditions actuelles du marché Européen. L'intérêt du croisement, et le type de croisement pratiqué dans cette optique, dépend alors du bilan entre le gain sur les caractères recherchés et les défauts sur d'autres caractères (voir plus loin).

2. Complémentarité entre caractéristiques

Le croisement permet de réunir, chez les mêmes animaux, des aptitudes complémentaires, chaque race apportant des aptitudes spécifiques. Ceci est particulièrement intéressant quand, du fait d'antagonisme génétique, ces aptitudes sont difficiles à sélectionner simultanément au sein d'une seule race. Il est par exemple intéressant, dans le cadre de la production de viande, de croiser, d'une part, des femelles présentant de bonnes aptitudes de reproduction et de bonnes aptitudes maternelles avec, d'autre part, des mâles présentant un bon développement musculaire : il en résultera un nombre élevé de jeunes sevrés dans de bonnes conditions, ayant hérité d'une partie du développement musculaire paternel. Ici, l'intérêt du croisement peut se manifester, soit pour des caractères à déterminisme polygénique (ou supposés tels), soit pour des caractères pour lesquels l'existence d'un gène majeur a été démontrée. L'exemple du gène de sensibilité à l'halothane²⁷ chez le porc est exemplaire à cet égard. Dans certaines conditions, en effet, le génotype le plus favorable est le génotype hétérozygote (impossible à fixer par sélection). Le meilleur moyen d'obtenir à coup sûr des hétérozygotes consiste évidemment à fixer un allèle différent dans deux races et à croiser ces dernières entre elles.

3. Effet d'hétérosis

Nous ne faisons ici que des rappels sur un phénomène présenté et largement discuté ailleurs (cf. GQ, Ch.V). Pour un caractère donné, nous définissons l'effet d'hétérosis comme la supériorité de la population croisée par rapport à la moyenne des valeurs des deux populations parentales. La valeur de cet effet est établie sur la base de résultats moyens.

Apports potentiels du croisement

2) Effet de complémentarité

Exemple : championnat du monde des races porcines



Développement musculaire

Piétrain
(Belgique)



Taille de portée

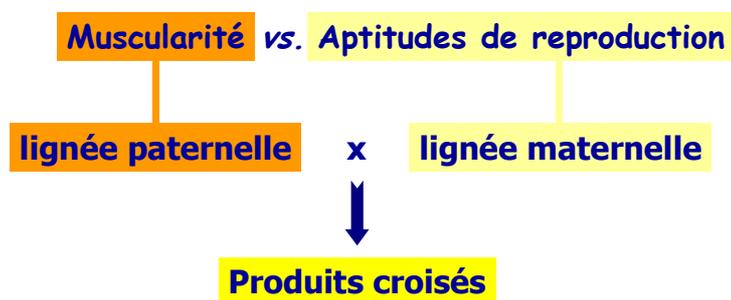
Erhualian
(Chine)

Est-il possible de combiner ces deux aptitudes dans une même race ?

Photos : ITP, INRA

Principe de la complémentarité

Antagonisme génétique entre caractères

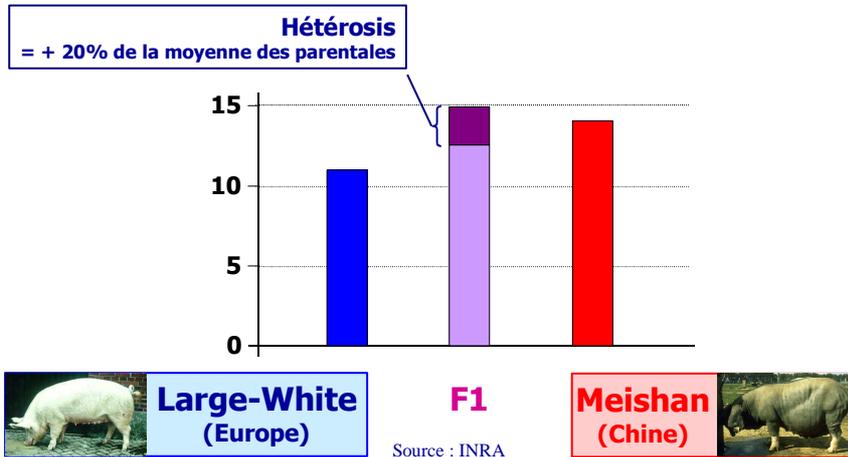


²⁷ <http://www.inapg.inra.fr/dsa/uvf/AG/genes/haloth/haloth.htm>

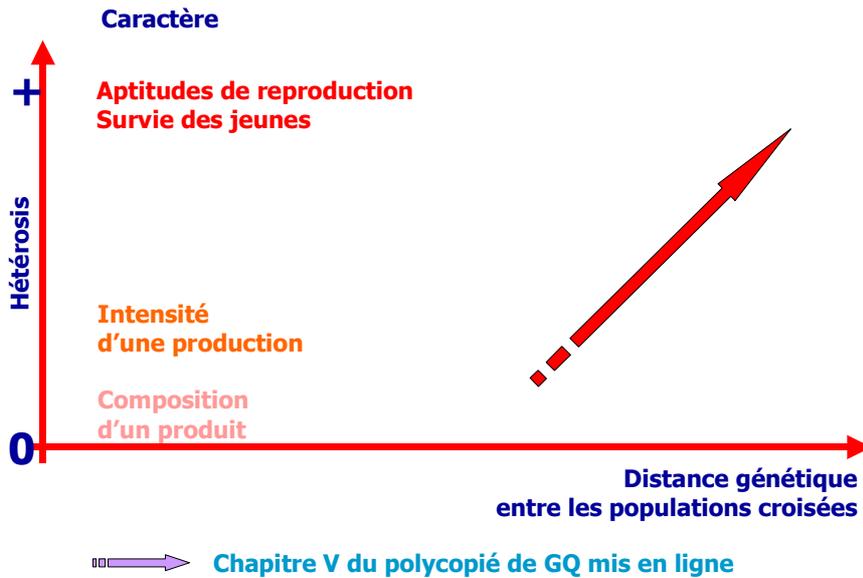
Apports potentiels du croisement

3) Effet d'hétérosis

Exemple de la taille de portée chez le porc



Facteurs de variation de l'hétérosis



L'hétérosis varie selon le caractère considéré (cf. GQ, ch.V, tableau 15). Les caractères qui manifestent le plus d'hétérosis sont ceux liés à la reproduction et à la viabilité des jeunes. Les caractères très héréditaires ($h^2 \geq 0,5$) manifestent très peu ou pas d'hétérosis ; la réciproque n'est pas toujours vraie. L'hétérosis correspond à un écart à l'additivité des effets des gènes : on peut évoquer l'existence d'une dominance orientée, voire des phénomènes d'épistasie.

L'hétérosis varie avec les races parentales employées : il est d'autant plus important que ces races sont éloignées génétiquement. Chez le porc²⁸, dans des croisements impliquant la race européenne Large-White, l'hétérosis observé sur la taille de portée est plus élevé avec la race chinoise Meishan qu'avec la race Landrace Français, européenne elle. Chez les bovins, l'hétérosis observé sur divers caractères est plus important lorsque l'on croise une race taurine et une race de zébu (on dit aussi « zébuine ») que lorsque l'on croise deux races taurines. Les développements que l'on peut faire d'un modèle génétique avec dominance orientée rendent bien compte de ces observations (cf. GQ, Chap. V).

4. Accroissement de la variabilité génétique

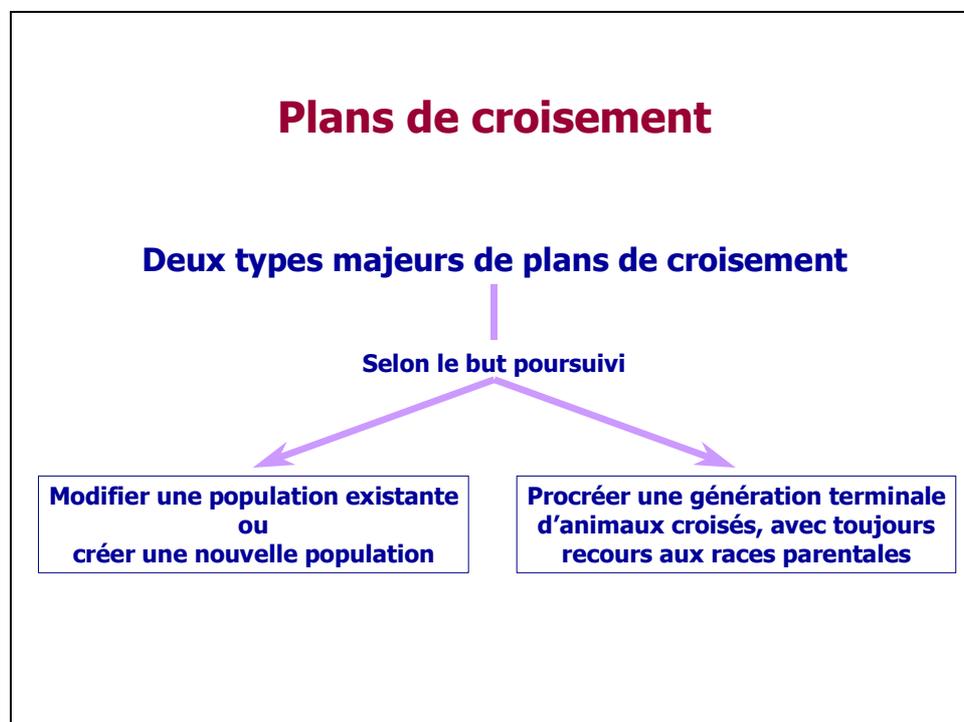
Le polymorphisme au sein d'une population, et la variance génétique de caractères quantitatifs, dépendent des fréquences alléliques. Le croisement entre deux races ramène systématiquement les fréquences alléliques vers des valeurs intermédiaires (c'est évident pour les locus où les deux races sont homozygotes chacune pour un allèle différent). Par ce biais, le croisement permet une augmentation de la variabilité génétique, ce qui peut permettre un redémarrage de la sélection. De même, le croisement brise les liens de parenté qui ont pu s'instaurer entre les individus d'une population fermée d'effectif limité. L'emploi du croisement dans cette perspective doit être raisonné en fonction d'éventuels inconvénients que cette pratique peut receler. Il faut veiller, par exemple, à ce que la race pourvoyeuse d'originalité n'introduise pas de gènes ou d'aptitudes génétiques défavorables. Pour une race locale ou en conservation, l'identité et l'image de la population, parfois renforcées par l'association avec des produits de terroir (AOC), constituent une dimension importante à laquelle les éleveurs sont souvent attachés : dans ce cas, des pratiques abusives de croisement peuvent soulever des questions quant à ce que l'on conserve réellement et peuvent être à l'origine d'opposition entre sous-groupes d'éleveurs poursuivant des objectifs différents.

²⁸ <http://www.inapg.fr/dsa/especes/porcins.htm>

5. Les deux principaux types de plans de croisement

Les avantages du croisement correspondent aux inconvénients de l'élevage en race pure, ce qui indique déjà l'intérêt d'utiliser ces deux modes d'amélioration génétique de façon complémentaire. Les différents types de croisement que l'on peut pratiquer sont très divers. On peut cependant les classer en deux principaux groupes :

- **Les croisements qui sont destinés à création ou à la modification de races.** Dans ce cas, on part de races pures pour créer une autre population. Dans la majorité des cas, après un certain nombre de générations, la population résultante fonctionne de façon autonome, c'est-à-dire sans recours à des reproducteurs des races parentales.
- **Les croisements destinés à la production d'une génération terminale d'animaux croisés** tous destinés à être abattus. Dans ce cas, on a en permanence recours à des reproducteurs de toutes les races parentales impliquées.



C. Création ou modification de races par croisement (figure 2)

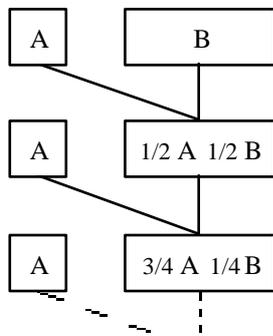
1. Le croisement d'absorption (figure 2.a)

Le croisement d'absorption consiste à employer de façon continue des reproducteurs d'une certaine race avec ceux d'une autre race, qui se trouve donc « absorbée » par la première. Le plus souvent, mais pas de manière exclusive, on utilise des mâles de la race absorbante et des femelles de la race absorbée. Si, les mâles utilisés sont systématiquement originaires de la race absorbante, la proportion de gènes originels dans la population absorbée décroît de moitié à chaque génération : 1/2, 1/4, 1/8, etc. On considère souvent, par convention, que le processus est achevé, et que l'on n'a plus besoin de recourir à des reproducteurs extérieurs, lorsqu'une proportion de 15/16 ou 31/32 de gènes de la race absorbante est atteinte.

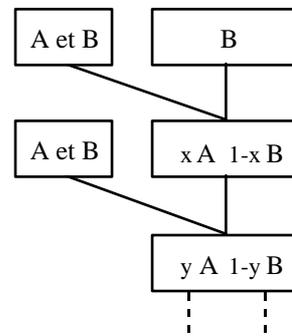
On opère ainsi pour substituer progressivement à une population locale, dont les aptitudes ne correspondent plus au contexte économique, une race à meilleure productivité. Cela suppose que la race absorbante ne possède pas de défaut majeur dans le contexte où l'on se situe, notamment en matière d'adaptation aux conditions de milieu et au(x) système(s) d'élevage. Cette méthode présente l'avantage d'être économique par rapport à l'achat d'un nouveau cheptel de femelles reproductrices, tout particulièrement chez les grosses espèces et si l'insémination artificielle est répandue. Par ailleurs, le fait que le processus soit progressif peut constituer un avantage, notamment lorsque l'implantation de la race absorbante nécessite certaines améliorations des conditions d'élevage, ce qui ne peut se faire que progressivement. Le croisement d'absorption a une importance historique considérable, beaucoup de races très répandues aujourd'hui s'étant développées en absorbant diverses populations locales.

Un exemple récent de croisement d'absorption à grande échelle est fourni par la substitution de la Holstein Nord-américaine au cheptel bovin laitier Frison européen (pie-noir) à partir des années 1970. Les deux « rameaux », européen et américain, tous deux originaires de la province néerlandaise de la Frise, se sont séparés au début du XX^{ème} siècle et ont ensuite évolué dans des contextes très différents. A la fin des années 1960, compte tenu de l'écart de niveau génétique moyen entre ces deux populations, il est alors apparu intéressant d'intégrer les gènes nord-américains au sein de la population européenne, afin d'en améliorer la production laitière (en terme de quantité) ainsi que certains caractères de morphologie.

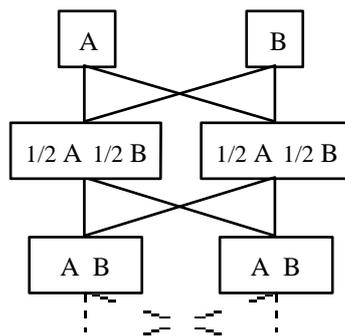
Figure 2. Principaux types de croisement pour la création ou l'amélioration de races. Les fractions représentent, à une génération donnée, la part de gènes des différentes races, désignées par des lettres capitales.



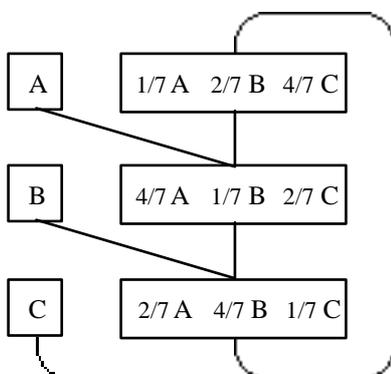
a. Croisement d'absorption



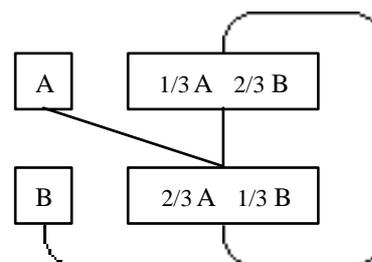
b. Croisement d'amélioration



c. Création de lignée synthétique



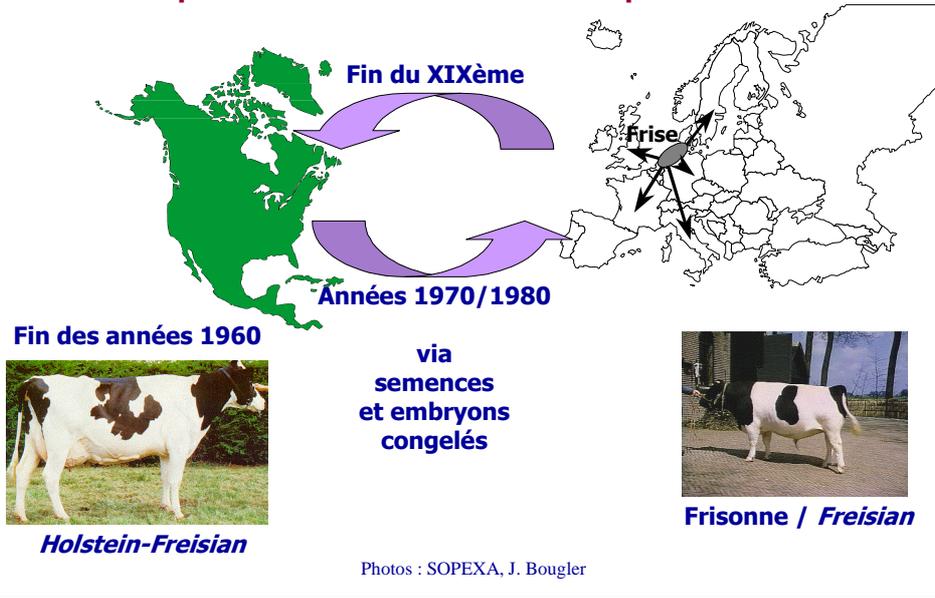
d. Croisement alternatif



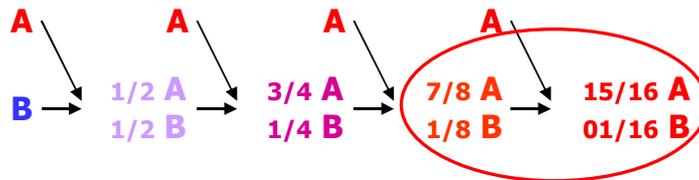
e. Croisement rotatif

Le croisement d'absorption

■ L'exemple de la « Holsteinisation du cheptel bovin laitier » ■

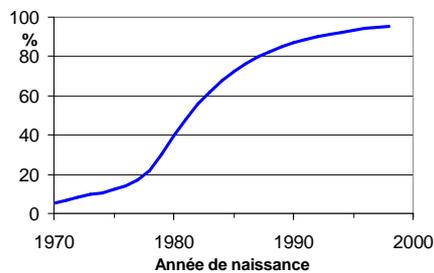


Temps nécessaire pour l'absorption



Exemple :
Evolution du pourcentage de gènes Holstein (Nord-Américains) chez les vaches Pie-Noir élevées en France

Source : Moureaux et al. (2001)



2. Le croisement d'amélioration (figure 2.b)

Il se peut que l'on souhaite bénéficier, dans une race donnée, de l'apport d'une race extérieure soit pour accélérer le progrès dans une direction donnée, soit pour augmenter la variabilité génétique, mais sans aller jusqu'au remplacement de la race originelle. Dans ce cas, on effectue, par croisement, un apport passager de gènes de la race extérieure : on parle de croisement d'amélioration. La principale difficulté consiste à définir clairement ses objectifs et à s'y tenir, faute de quoi, ce croisement peut se transformer en croisement d'absorption.

L'exemple de plusieurs races bovines²⁹ laitières européennes de type pie-rouge illustre cette difficulté. Des croisements d'amélioration ont été effectués avec la Holstein nord-américaine, choisie pour ses capacités de production, mais dans sa version colorée pie-rouge (Red-Holstein) qui correspond pour le gène concerné à l'homozygote récessif (cf. Ch.III). Le choix de ce rameau rouge a été motivé par le peu de modification que ce croisement apporte à la robe des animaux, qui est leur caractéristique la plus immédiatement visible. En France, les races Montbéliarde (race nationale originaire de Franche-Comté) et Abondance (race locale des Alpes du Nord) ont connu des apports Holstein au cours des années 1970 et 1980 et l'analyse des origines des gènes a permis de montrer que la fraction Holstein reste faible dans ces deux races (de l'ordre de 5%) et est stable, voire en décline depuis la fin des années 1990. En revanche, ce même type d'analyse montre que ce qui aurait dû demeurer un croisement d'amélioration a tourné à la quasi-absorption : c'est le cas en France de la race Pie Rouge des Plaines (race issue de l'ancienne race Armoricaire) et en Suisse de la race Simmental.

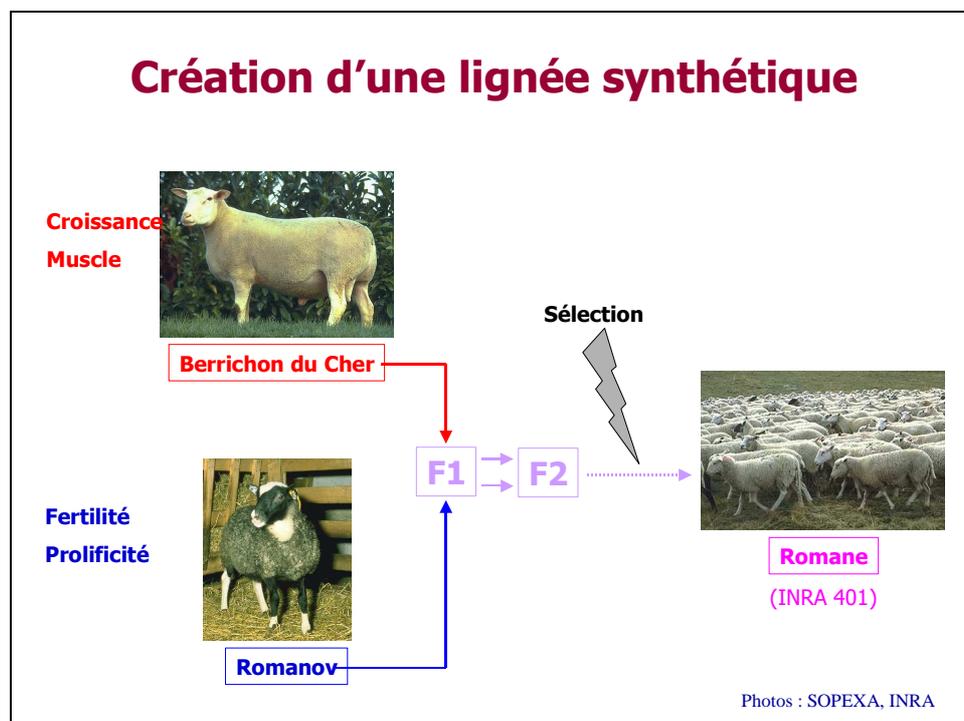
3. La création d'une race synthétique (figure 2.c)

L'objet de ce type de croisement est de créer, à partir de plusieurs races ou populations, une nouvelle race dite synthétique (ou lignée composite), dans laquelle on cherche à rassembler les qualités des diverses races parentales. En pratique, on réalise des croisements entre les races parentales (deux le plus souvent) et on accouple ensuite entre eux, à chaque génération, les produits issus du croisement en éliminant tous les animaux non conformes à l'objectif poursuivi. Après plusieurs générations, quand les animaux présentent une certaine homogénéité, on peut considérer qu'une nouvelle race est créée et entreprendre sa sélection de façon valable du fait d'une variabilité génétique suffisante.

Ce type de croisement a eu une grande importance historique : on peut citer les exemples de la race bovine Rouge des Prés (ancienne Maine-Anjou), de la race ovine Ile-de-France (longtemps dénommée race de Grignon en référence au lieu où furent réalisés les premiers croisements), de la race équine Anglo-Arabe, etc. L'intérêt de ce type de croisement est de permettre, de façon plus rapide que la sélection en race pure, d'obtenir des combinaisons favorables de caractères. Ceci est particulièrement intéressant quand l'objectif d'amélioration correspond pour plusieurs caractères importants à une position approximativement intermédiaire entre les deux races parentales.

La recherche de l'amélioration des aptitudes de reproduction des femelles, dans le cadre de la production de viande, a été à l'origine de récents programmes de création de races ou lignées synthétiques aujourd'hui d'usage courant :

- La race ovine Romane (anciennement désignée INRA 401) fut obtenue par l'INRA, par croisement entre le Berrichon du Cher, race bouchère spécialisée, et la Romanov (issue, comme son nom l'indique, de Russie), race très prolifique mais aux performances bouchères médiocres.
- Plusieurs lignées composites porcines, intégrant en proportions variables des gènes de races chinoises, tout particulièrement la Meishan.



²⁹ <http://www.inapg.fr/dsa/especes/bovins.htm>

D. Croisements aboutissant à une génération terminale (figure 3)³⁰

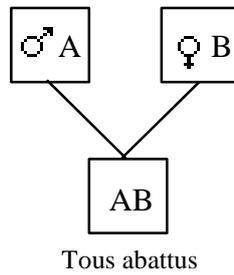
1. le croisement de première génération (figure 3.a)

Ce type de croisement, dénommé également croisement simple ou croisement industriel, vise à donner des produits qui sont tous abattus. Ici, l'objectif principal est de bénéficier de l'effet de complémentarité et, le cas échéant, de bénéficier d'un effet d'hétérosis pour des caractères s'exprimant avant l'abattage chez les jeunes. Ce croisement se réalise dans un sens bien défini, du fait des aptitudes différentes recherchées chez la femelle (fertilité, le cas échéant prolificité, qualités maternelles et laitières chez les mammifères, rusticité) et chez le mâle (croissance et développement musculaire, qui font généralement défaut à la race maternelle).

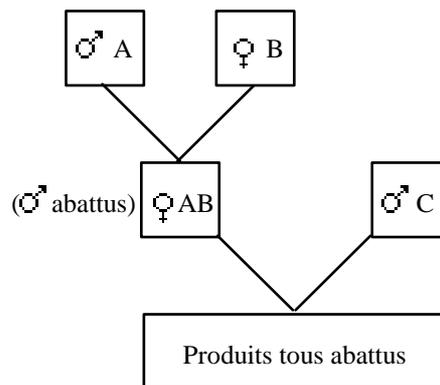
Le croisement de première génération est très développé au sein des races bovines et ovines allaitantes dites rustiques, qui sont élevées dans les zones plus ou moins défavorisées. Dans certains cas, comme pour les races bovines du Massif Central, Salers et Aubrac, le taux de femelles croisées (avec la Charolaise) atteint les 2/3, ce qui laisse juste le nécessaire en descendants femelles de race pure. En effet, le croisement de première génération nécessite un réapprovisionnement continu en mâles et en femelles de race pure. Si l'approvisionnement en mâles ne pose en général pas de problème, le renouvellement des femelles suppose qu'une proportion suffisante de femelles de la race maternelle se reproduise en race pure. En cas d'insuffisance de jeunes femelles de race pure, on peut être conduit à conserver des femelles F1 pour le renouvellement, ces dernières ne présentant plus *a priori* toutes les aptitudes de la race maternelle, en matière de rusticité et de qualités d'élevage notamment. Une pratique non maîtrisée du croisement simple peut ainsi entraîner une substitution progressive d'un type croisé à la race maternelle de départ, voire son absorption par la race paternelle. C'est ce qui faillit arriver à la race Aubrac dans les années 1960-1970, du fait d'un développement non maîtrisé du croisement avec la race Charolaise à cette époque. Une prise de conscience du risque lié à la perte d'une race possédant des aptitudes originales et utiles dans des conditions difficiles a conduit à la mise en oeuvre d'un plan de relance en 1979. Ces actions, et le choix d'un bon équilibre entre élevage en race pure et croisement première génération, ont permis de développer l'élevage de cette race qui, dès le milieu des années 1990, avait retrouvé des effectifs permettant la conduite d'un programme de sélection.

³⁰ Ce type de croisement fera l'objet, sur le cas de la production porcine, du 2ème TD d'amélioration génétique.

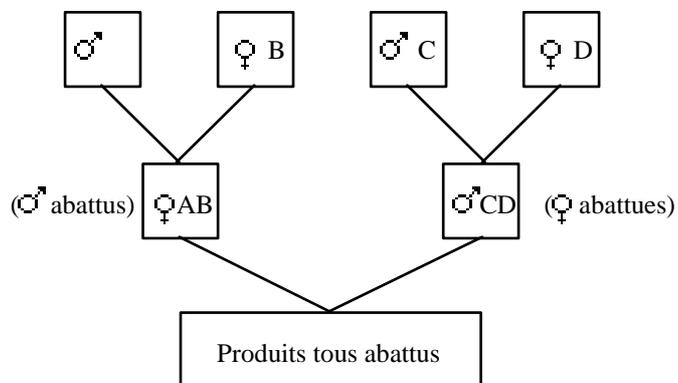
Figure 3. Principaux types de croisement aboutissant à une génération terminale.



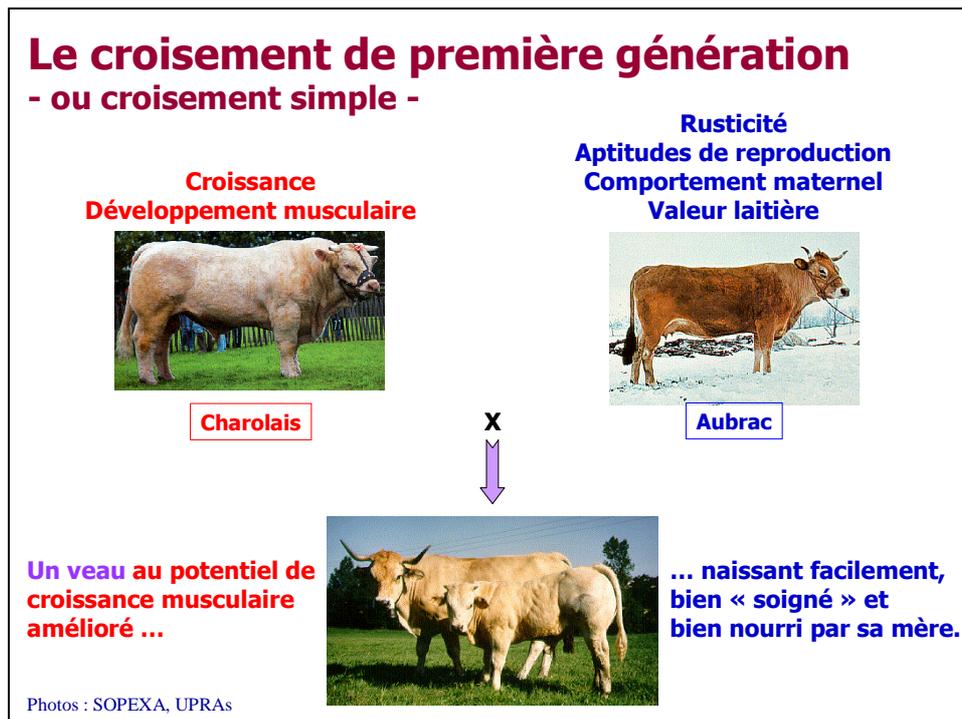
a. Croisement de première génération



b. Croisement à double étage (3 voies)



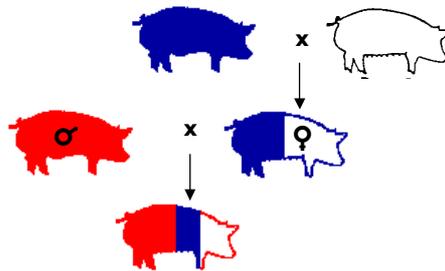
c. Croisement à double étage (4 voies)



2. Le croisement à double étage (figures 3.b et 3.c)

Ici, on utilise des femelles elles-mêmes croisées que l'on fait reproduire avec un mâle, dit terminal, pour aboutir à une génération d'animaux qui seront tous abattus sans laisser de descendance. Le mâle terminal peut être lui-même de race pure : il s'agit d'un croisement à trois voies, car impliquant au maximum trois races pures. Le mâle terminal peut être lui-même croisé : il s'agit d'un croisement à quatre voies. Comme le croisement de première génération, le croisement à double étage permet de bénéficier de la complémentarité entre les types paternel et maternel. Ce type de croisement permet de bénéficier pleinement des effets d'hétérosis, les performances de reproduction des femelles croisées en étant, en principe, affectées, ainsi que la viabilité et la vigueur des jeunes produits terminaux. Se pose enfin là encore le problème du renouvellement des femelles de race pure et, plus généralement, celui d'une bonne maîtrise technique, compte tenu de l'importance des échanges d'animaux.

Le croisement à double étage



Complémentarité entre lignées paternelle et maternelle

Hétérosis

- **Direct** : viabilité des jeunes, croissance, ...
- **Maternel** : taille de portée

Croisements visant à une génération terminale : conclusions

Permettent une réelle complémentarité

- entre types génétiques
- entre territoires
- entre acteurs de la filière

Sont très bien valorisés pour la production de viande

→ Contribuent à structurer les filières - porcs, volailles -

Supposent :

- une bonne fécondité des femelles
- une grande maîtrise sanitaire
- un haut degré d'organisation
- une juste répartition des bénéfices aux différents étages
- l'entretien et la sélection des races (lignées) (grand-)parentales

Le croisement à double étage est surtout utilisé en vue de la production de viande, dans toutes les espèces. Pour les bovins et les ovins, il est relativement courant dans les pays anglo-saxons, nettement moins en France. Le croisement à double étage est en revanche généralisé pour le porc et pour les volailles (y compris les poules pondeuses). Dans le cadre de la production de viande, l'hétérosis joue surtout sur la productivité numérique des femelles et le mâle terminal apporte des aptitudes de croissance et de développement musculaire. Il s'ensuit que l'on a un report d'une grande partie du bénéfice commercial en deuxième génération seulement, c'est-à-dire lors de la vente des animaux commerciaux (le mâle croisé de la première génération étant beaucoup moins intéressant car ne possédant pas d'aptitude bouchère particulière). Le croisement à double étage ne peut donc se développer qu'au sein d'une organisation de la production assurant une juste répartition des revenus entre les deux étages de croisement.

Le croisement à double étage s'adapte très bien à une organisation pyramidale (cf. Ch.II) et à la séparation des fonctions qu'elle implique : un ou plusieurs sélectionneurs fournissent les animaux de race pure qui sont croisés entre eux par des éleveurs multiplicateurs qui, eux, revendent aux éleveurs producteurs soit les femelles croisées (cas de la production porcine) soit les animaux de seconde génération (cas de l'aviculture). On peut dire également que, chez le porc et les volailles, l'orientation de l'amélioration génétique autour de programmes de croisement a contribué au développement d'une organisation de la sorte.

Le croisement à double étage peut également permettre d'associer la complémentarité entre races avec une complémentarité entre territoires. C'est le cas d'une part importante de la production ovine au Royaume-Uni. Dans les régions montagneuses de l'Ecosse et du Pays de Galles, des races particulièrement rustiques et très peu prolifiques, la *Scottish Blackface*, et la *Welsh Mountain*, sont élevées en race pure. A la fin de leur carrière, les femelles de ces races sont croisées avec des races relativement prolifiques, pour produire des femelles F1, dénommées *North of England Mules*, ou *Welsh Mules*. L'essentiel de la production est ensuite assuré par le croisement de ces femelles F1 par des mâles terminaux issus de races bouchères spécialisées : *Dorset Down*, *Hampshire*, *Suffolk*, etc. L'ensemble de cette organisation, qui est en partie soutenue par des compensations monétaires gouvernementales versées aux éleveurs des races rustiques, permet de maintenir une agriculture dans des régions difficiles, voire ingrates, et contribue à l'efficacité et à la compétitivité de la filière ovine au Royaume-Uni, notamment en matière de prix de revient.

E. Croisement et race(s) pure(s)

Une utilisation optimale du croisement nécessite de pouvoir disposer de races pures et de races pures de qualité. Il n'est pas inutile de rappeler cette lapalissade qui renforce, s'il en était besoin, la nécessité de maintenir une certaine diversité des races exploitées. Comme déjà signalé, sélection et croisement sont des voies complémentaires d'amélioration : Par l'une on exploite la variabilité intra-race, par l'autre la variabilité entre races. Le fait d'utiliser des races en croisement peut être pris en compte dans la sélection de ces races.

1. La spécialisation des races ou des lignées

Le principe même de la complémentarité repose sur le fait que les différentes races n'apportent pas toutes les mêmes aptitudes. Cela peut mener à la spécialisation de certaines races en vue de cette complémentarité, spécialisation qui peut aller nettement plus loin que ce que l'on pourrait rechercher si la population concernée était élevée uniquement en race pure. Cette spécialisation concerne particulièrement les races ou lignées paternelles dans le cadre de la production de viande. Ces dernières peuvent être sélectionnées quasiment exclusivement sur les aptitudes bouchères, et ce malgré les répercussions défavorables que cela peut avoir sur les aptitudes de reproduction du fait des antagonismes génétiques existants. Dans les races ou lignées paternelles hautement spécialisées, l'hypertrophie musculaire, et le gène majeur correspondant (cf. Chap. III) sont souvent recherchés : citons chez les bovins, la souche INRA 95 ou la race Blanc Bleu Belge, chez les ovins le Texel Belge, chez le porc la race Piétrain et les lignées qui en ont été dérivées, etc. Le secteur de l'aviculture (toutes espèces confondues) est celui où le processus de spécialisation est sans doute allé le plus loin. Notamment, dans certaines souches de poulets de chair et dans celles de dinde, la croissance et le développement musculaire ont été augmentés de telle façon que les reproducteurs peuvent atteindre des poids adultes excessivement élevés : coq, 6 kg, dindon, jusqu'à 30 kg. Ceci s'est traduit par des troubles de la locomotion, ce qui a conduit à entreprendre une sélection pour améliorer la solidité des membres postérieurs, et a rendu obligatoire l'insémination artificielle du fait d'un dimorphisme sexuel considérable.

2. Le maintien d'une diversité des races³¹

La possibilité d'exploiter la variabilité entre races, au travers du croisement, suppose que cette variabilité demeure substantielle. Or un regard sur l'évolution des productions animales ces dernières décennies conduit à s'interroger à ce sujet. En effet, la modernisation de l'agriculture qui a suivi la seconde guerre mondiale s'est traduite dans la plupart des espèces animales domestiques par une intensification des productions, ainsi qu'un agrandissement et une spécialisation des troupeaux. Dans ce contexte, quelques grandes races, bien adaptées aux conditions de production et à la demande du marché, se sont imposées. A l'inverse, beaucoup d'autres races ont décliné, certaines ont disparu. Ce phénomène a touché tous les pays industrialisés, et se pose également aux pays en développement.

Le problème soulevé dépasse en fait largement le cadre du fonctionnement des programmes de croisement. Il concerne également l'élevage en race pure, notamment sous l'aspect des liaisons entre une race, avec ses aptitudes spécifiques, et les conditions dans lesquelles elle est élevée. La nécessité du maintien d'une diversité des populations exploitées s'intègre dans une vaste problématique de conservation et de gestion de nos ressources génétiques. Cette nécessité peut prendre un caractère d'urgence pour les races dont les effectifs sont tels qu'on peut les considérer comme menacées de disparition à brève échéance.

La conservation des ressources génétiques animales s'effectue essentiellement *in situ*, c'est à dire en maintenant les populations concernées chez des éleveurs. Après quelques initiatives isolées, les premiers programmes systématiques de conservation ont démarré en France dans les années 1970. Les acteurs de la conservation ont des statuts et des motivations très divers : on trouve des associations d'éleveurs, des instituts techniques (notamment l'Institut de l'Élevage et l'Institut du Porc, qui assurent le suivi direct de plusieurs races menacées), des parcs naturels, des collectivités territoriales, etc. A ces dispositifs de conservation *in situ* s'ajoute, depuis 1999, une cryobanque nationale destinée à collecter et à conserver sur la longue durée des matériels biologiques (sperme, embryons, cellules, ...) de diverses origines. Le Bureau des Ressources Génétiques (BRG, créé sous la forme d'un Groupement d'Intérêt Scientifique en 1983) a pour mission de coordonner à l'échelle nationale les recherches et les actions relatives à la gestion des ressources animales, végétales et microbiennes.

³¹ Ces notions sont développées dans les enseignements consacrés aux ressources génétiques.

VII. PLACE DE L'AMELIORATION GENETIQUE DES ANIMAUX ET BREF APERCU DES METIERS CORRESPONDANTS

Depuis des siècles, les éleveurs sélectionnent leur cheptel. Ce sont eux qui sont à l'origine de la quasi totalité des races exploitées aujourd'hui. Ils ont fortement contribué à en améliorer progressivement les qualités pour en permanence les adapter aux conditions du moment.

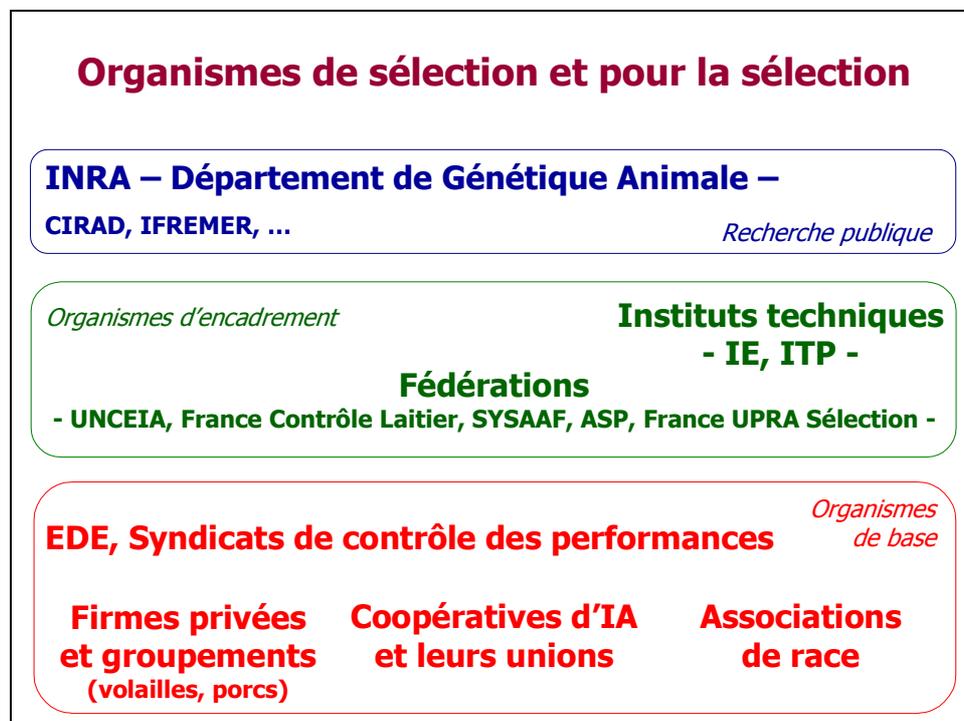
Les *sélectionneurs* ont été fortement aidés dans cette démarche, par les *généticiens*. Les méthodes objectives proposées par ces derniers, et perfectionnées au fil des ans, ont ainsi conduit les cheptels sur la voie de rapides progrès à chaque fois que les programmes mis en oeuvre remplissaient les conditions suivantes : des objectifs de sélection clairement définis et assez stables dans le temps, une évaluation fiable de la valeur génétique des reproducteurs, une utilisation différentielle des meilleurs d'entre eux. Naturellement, les modalités de mise en oeuvre de ces programmes sont variables selon les espèces. Il est ainsi possible en aviculture de gérer de tels programmes au sein d'entreprises, ce qui renforce considérablement alors le rôle du généticien. Dans les autres espèces, la nécessité de gérer de grands ensembles d'animaux implique une organisation associant un grand nombre d'éleveurs, qui pratiquent une certaine mutualisation du risque génétique et du coût des programmes.

Le progrès génétique ainsi créé a, jusqu'à la charnière des années 1980 et 1990, principalement concerné la *productivité* des animaux ainsi que la *qualité des produits*, éléments essentiels du revenu des éleveurs producteurs. Ensuite, dans toutes les espèces, la prise en compte des *caractères fonctionnels* et d'*adaptation des animaux aux conditions d'élevage* sont devenus des objectifs et des critères importants de sélection.

L'amélioration génétique est ainsi un outil incontournable de l'amélioration des productions animales, tant pour conforter la place et le revenu des éleveurs que pour garantir aux consommateurs la fourniture des produits et des services qu'ils attendent.

Parmi les organismes du domaine de l'amélioration des animaux, il faut distinguer (i) les organismes de base, firmes privées (peu nombreuses) et organismes collectifs, (ii) les organismes d'encadrement (instituts techniques, fédérations) et (iii) les organismes de recherche (en France, principalement l'INRA). Ces organismes sont, bien évidemment, appelés à collaborer pour réaliser leurs missions. Depuis les années 1980/90, l'amélioration génétique est par ailleurs devenue une activité avec une forte dimension internationale.

Parmi les métiers de l'amélioration génétique, on peut distinguer (i) des métiers de recherche et (ii) des métiers d'ingénierie. Là encore, ces métiers ne sont pas exclusifs l'un de l'autre, mais très complémentaires. Compte tenu de l'évolution très rapide des outils et des méthodes (cf. la biologie moléculaire) et de la place de l'amélioration génétique en amont des filières de production, une grande caractéristique de tous ces métiers est la nécessité d'effectuer un vrai travail d'intégrateur. Compte tenu de la dimension collective de la sélection, dans la plupart des espèces, ces métiers nécessitent également une grande capacité de dialogue.



Quelques métiers

- Métiers de recherche (publique ou privée) -

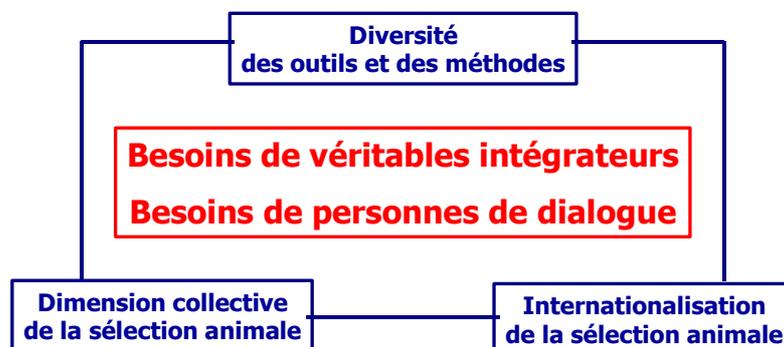
Faire évoluer les connaissances, les outils, les méthodes dans des domaines variés

- Métrologie
- Biologie moléculaire
- Analyse du génome, génomique
- Bases de données
- Analyses statistiques
- Caractérisation de la biodiversité
- Modélisation des populations
- Gestion génétique des populations
- Conservation des ressources génétiques
- ...

Quelques métiers

- Métiers d'ingénierie -

Développer les outils, Mettre en œuvre les méthodes,
Valoriser les résultats



Une formation européenne

EM-ABG : *European Master in Animal Breeding and Genetics*

<http://www.emabg.eu/>

Erasmus Mundus MSc. programme



Scope EM-ABG Course

Expertise

A	Animal Breeding
B	Statistical Genetics
G	Genomics
Other	

Biodiversity Productivity, health and welfare Quality

Jobs
Industry
Research
Extension

Farm animals Aquatic species Companion animals Natural populations

POUR EN SAVOIR PLUS

Lire le polycopié

<http://www.inapg.fr/dsa/uvf/>

etienne.verrier@agroparistech.fr

xavier.rognon@agroparistech.fr

valerie.loywyck@agroparistech.fr

thomas.heams@agroparistech.fr

VIII. OBSERVATIONS SUR L'AMELIORATION GENETIQUE A EFFECTUER EN STAGE DE PREMIERE ANNEE

Pour concrétiser et faciliter l'assimilation de l'enseignement et guider l'étudiant en stage, nous proposons un canevas d'analyse de l'entreprise de stage. La liste des points à aborder n'est sans doute pas exhaustive mais doit permettre au stagiaire de mieux comprendre l'entreprise et peut constituer le point de départ d'une éventuelle réalisation d'un thème technique relatif à l'amélioration génétique. Nous distinguons trois types contrastés d'entreprise de stage.

A. Exploitations agricoles sans activité d'élevage

C'est la situation la plus simple à analyser puisque, dans notre domaine, il n'y a rien à observer. Merci tout de même de votre visite et à bientôt.

B. Exploitations agricoles avec élevage

C'est ici que les investigations devront être le plus détaillées. En voici les grands objectifs :

- Cerner les objectifs de l'amélioration génétique, les hiérarchiser et les discuter en fonction du contexte de l'exploitation.
- Identifier les moyens mis en oeuvre pour atteindre ces objectifs.
- Confronter les objectifs déclarés et les critères effectivement appliqués pour le choix des reproducteurs, et discuter l'efficacité de ces critères au vu notamment de leur liaison avec les objectifs de sélection.
- Identifier et discuter l'utilisation qui est faite des reproducteurs sélectionnés : choix des accouplements, choix de la race pure ou du croisement.
- Rassembler des éléments comptables permettant de faire ressortir les charges liées à l'amélioration génétique ainsi que les produits que l'on en retire.

Cette démarche, justifiée dès qu'il y a des femelles reproductrices sur l'exploitation, devra à l'évidence être adaptée dans le cas d'élevages ne comprenant que des animaux en production : volailles, animaux à l'engrais uniquement, etc.

1. Informations concernant toutes les exploitations

a. En préalable, il est indispensable de *bien situer* l'exploitation, l'(les) espèce(s) en présence, les races concernées (ou les types génétiques, lignées, etc.) et les productions correspondantes. On s'attachera en particulier à *l'étude détaillée des modalités de paiement*, c'est-à-dire les critères qui déterminent le prix payé à l'exploitant pour les produits qu'il vend.

b. Les objectifs visés, c'est-à-dire les caractères à maintenir ou à modifier, seront recueillis auprès de l'exploitant et hiérarchisés. Il est indispensable d'être précis à ce stade, quelle que soit la spéculation de l'élevage.

c. On fera l'inventaire des *contrôles de performances* effectués, en s'attachant à préciser : (i) Les modalités pratiques de contrôle : fréquence, coût, contraintes pour l'éleveur, (ii) les organismes intervenants et (iii) les résultats fournis à l'éleveur en retour.

2. Cas des troupeaux comprenant des femelles reproductrices

a. Choix des reproducteurs

On étudiera successivement les animaux de renouvellement, "autorisés" à débiter une carrière de reproducteur, et les animaux de réforme, "non autorisés" à poursuivre leur carrière. Dans chaque cas, on distinguera les mâles des femelles. Les points suivants seront passés en revue :

a.1. Animaux de renouvellement

- Achat ou autorenouvellement.
- Modalités du choix, critères pris en compte. Le critère de sélection est ce qui est effectivement mesuré ou apprécié, souvent sous forme d'un indice de valeur génétique, et qui sert concrètement à classer divers candidats à la sélection entre eux.
- Quelle utilisation des contrôles est-elle faite dans cette optique ?
- Age à l'achat, prix, identité du vendeur et informations fournies par celui-ci.

a.2. Animaux de réforme

- Age à la réforme (moyenne et distribution).
- Cause de réforme avec, si possible, leur fréquence observée dans l'élevage.

b. Utilisation des reproducteurs

- Nombre de mâles utilisés, nombre de femelles par mâle.
- Choix des accouplements : au hasard, en fonction des caractéristiques des animaux ?
- L'éleveur fait-il du croisement ? Si oui, quel type, quelle importance et pourquoi ?

3. Cas des troupeaux ne comprenant pas de femelles reproductrices

Les investigations seront plus limitées. On recherchera cependant le plus d'information possible, y compris à l'extérieur de l'exploitation : (i) identité et raison sociale du fournisseur des animaux, (ii) degré de liberté de l'éleveur vis-à-vis de ce dernier : l'éleveur peut-il faire lui-même un tri parmi les animaux proposés, ou doit-il accepter des lots complets ?, (iii) âge à l'achat, prix des animaux, et (iv) informations fournies à l'éleveur, garanties qui lui sont données. Si un contrat existe, il est intéressant de pouvoir s'en procurer une copie ou d'en dégager les modalités techniques et financières. Il peut par ailleurs être utile de se renseigner auprès du fournisseur lui-même, notamment si celui-ci conduit un programme de sélection ou de croisement ou s'il est en étroite liaison avec un organisme de sélection.

4. Cas d'exploitations avec transformation des produits animaux à la ferme

Dans ce cas, on pourra aussi s'inspirer des questions relatives à la situation d'entreprises ne faisant que de la transformation de produits animaux (voir ci-après).

C. Entreprises transformant des produits animaux

Dans cette situation, les investigations seront plus limitées. Cependant, il sera toujours intéressant de s'interroger sur l'existence d'une politique de qualité des matières premières, sur les moyens qui y sont affectés et sur la place de la génétique dans une telle politique. On pourra donc se poser les questions suivantes (liste non exhaustive) :

- Comment le responsable de l'entreprise perçoit-il l'impact de la génétique sur la qualité des matières premières ?
- L'entreprise pratique-t-elle une grille de paiement susceptible d'encourager les éleveurs (à titre individuel ou collectif) à sélectionner la qualité ?
- Quelle est la diversité des types génétiques (races pures, produits croisés, etc.) exploités dans la région de collecte de l'entreprise ? Existe-t-il des types qui donnent meilleure satisfaction en tant que fournisseurs de matière première ? Si oui, l'entreprise a-t-elle les moyens d'encourager l'élevage de ces types génétiques et le fait-elle ?
- L'entreprise est-elle en contrat avec des producteurs pour son approvisionnement ? Si oui, les aspects génétiques sont-ils pris en compte dans le contrat ?

