

G. RICORDEAU

avec la contribution de F. Barillet, J.P. Bidanel,
J. Bouix, V. Ducrocq, F. Ménissier et H. de
Rochambeau

INRA Station d'amélioration Génétique des
Animaux BP 27 31326 Casranet-Tolosan Cedex

Les objectifs et les critères de sélection

Synthèse des estimations de la variabilité génétique et des liaisons entre caractères dans les différentes espèces

Résumé. Cet article synthétise les estimations des héritabilités et des corrélations génétiques entre les principaux caractères d'intérêt zootechnique pour différentes espèces de mammifères domestiques (bovins, ovins, caprins, porcins et lapins). Les caractères étudiés sont ceux relatifs à la production de lait et de viande. On donne aussi quelques indications pour des caractères d'adaptation au milieu ou de résistance aux maladies.

La connaissance de ces paramètres génétiques est indispensable pour choisir les objectifs et les critères de sélection. Depuis quelques années on s'intéresse à de "nouveaux" caractères, plus analytiques que ceux qui étaient étudiés traditionnellement. Il s'agit par exemple des composantes de la taille de la portée ou de l'efficacité alimentaire.

Tableau 1. Héritabilité (h^2) des principaux caractères chez le porc (Sellier 1986).

h^2 (%)	Caractères de reproduction	Caractères de croissance	Caractères de carcasse
0	Intervalle sevrage-saillie fécondante		
5	Taille de portée au sevrage		
10	Taille de portée à la naissance	Poids au sevrage	
15		Age à 100 kg ⁽¹⁾	pH ultime de la viande
20		Poids à âge-type (5 ou 6 mois)	Couleur de la viande
25			
30	Age au 1 ^{er} œstrus Nombre de tétines Taux d'ovulation	Gain moyen quotidien ⁽²⁾ Indice de consommation ⁽²⁾	CPK plasmatique ⁽³⁾ Rendement de carcasse
35	Nombre de spermatozoïdes par éjaculat	Appétit (en alimentation à volonté)	Odeur sexuelle de la viande de verrat ⁽⁴⁾
40	Durée de gestation		Épaisseur de lard dorsal ⁽¹⁾
45			Surface de noix de côtelette
50			Épaisseur de lard dorsal ⁽²⁾ Pourcentage de maigre
55			Longueur de carcasse
60			
65			Nombre de vertèbres

(1) Contrôle en ferme.

(2) Contrôle en station de sélection.

(3) Activité de l'enzyme créatine-phosphokinase dans le plasma sanguin.

(4) Jugement olfactif ou teneur en androstérone des graisses.

1 / Porcins (tableaux 1 et 2)

Les corrélations génétiques entre portées successives ne sont pas égales à un (Haley *et al* 1988). La corrélation génétique entre le taux d'ovulation et la survie embryonnaire serait de l'ordre de -0,40, alors que celle qui lie le taux d'ovulation et la taille de la portée serait proche de 0,28. Toutefois ces deux estimations doivent être confirmées (Bidanel 1989).

Sellier (1986) constate que l'information disponible sur les corrélations génétiques entre caractères est abondante et très diverse, voire contradictoire. A l'intérieur d'une race, il existe peu d'antagonismes génétiques vraiment marqués entre les principaux caractères zootechniques. Plusieurs études conduisent, par exemple, à admettre l'hypothèse de l'indépendance génétique entre la prolificité et l'ensemble des caractères d'engraissement et de carcasse. De la même façon, les estimations de corrélations génétiques entre le gain moyen quotidien et les critères de composition corporelle sont généralement proches de zéro. Le plus notable des antagonismes génétiques connus chez le Porc concerne l'association négative entre la teneur en viande de la carcasse et la qualité de cette viande. Parmi les critères de quantité, ce sont plutôt les critères de développement musculaire ("charnure", rapport muscle/os) que les critères d'adiposité de la carcasse qui sont liés de façon défavorable avec la qualité de la viande. On peut voir dans cette opposition génétique entre développement musculaire et qualité de la viande une conséquence du rôle pléiotrope du locus de sensibilité à l'halothane, le gène Hal ayant à la fois un effet favorable sur la charnure et un effet défavorable sur la qualité de la viande.

Tableau 2.
Quelques paramètres chez le porc : hérabilité et corrélations génétiques (Bidanel 1988).

	PR	GMQ	IC	M	ELD	IQV
Prolificté (PR)	0,10	0	0	0	0	0
Gain moyen quotidien (GMQ)	-	0,35	-0,75	-0,10	0,10	-0,10
Indice de consommation (IC)	-	-	0,35	-0,60	0,50	0,25
% muscle dans carcasse (M)	-	-	-	0,50	-0,80	-0,25
Epaisseur de lard dorsal (ELD)	-	-	-	-	0,50	0,10
Indice de qualité de la viande (IQV)	-	-	-	-	-	0,25

Certaines liaisons génétiques étroites entre caractères sont de la plus grande utilité en matière de sélection. Un premier exemple concerne la forte corrélation génétique (de l'ordre de 0,7 à 0,8) entre l'épaisseur de lard dorsal mesurée sur l'animal vivant et la teneur en gras de la carcasse. Le second exemple est la liaison génétique favorable entre le gain moyen quotidien et l'indice de consommation ; il faut cependant remarquer que la corrélation génétique, qui est proche de -1 dans le cas d'une alimentation restreinte, ne dépasse pas -0,5 avec une alimentation ad libitum. Les corrélations génétiques entre l'indice de consommation et la teneur en gras de la carcasse sont généralement positives (0,2 à 0,5). Pour les aspects génétiques des qualités technologiques et organoleptiques des viandes de porc, on se reportera à la synthèse de Sellier (1988).

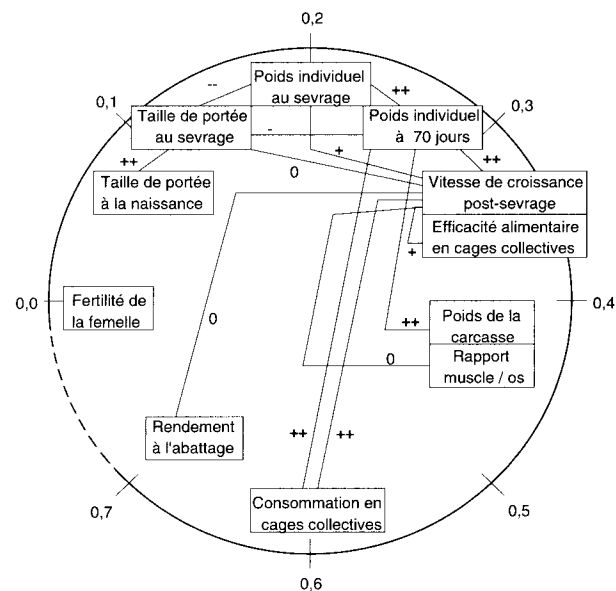
On connaît aussi quelques estimations d'hérabilité de la résistance aux maladies ou de la production d'anticorps. C'est par exemple le cas de la leptospirose avec une valeur de 0,2, de la rhinite atrophique avec une valeur comprise entre 0,12 et 0,42 et enfin des pneumonies enzootique et hémorragique avec des valeurs qui vont de 0,04 à 0,12. La production d'anticorps après une injection de serum albumine bovine a une hérabilité de 0,40 pour le pic de réponse et de 0,51 pour la réponse secondaire. La réaction à la vaccination avec *B. Bronchiseptica* a une hérabilité qui varie entre 0,10 et 0,52 en fonction de l'haplotype SLA (Rotschild *et al* 1984).

2 / Lapins (figure 1)

Les tailles de portée à la naissance et au sevrage sont faiblement hérables. Elle sont linéairement opposées aux poids à âge-type. Le poids individuel au sevrage est fortement corrélé au poids individuel à l'abattage. L'effet maternel persiste jusqu'à l'abattage. En revanche, la vitesse de croissance post-sevrage est peu corrélée aux tailles de portée. Entre le sevrage et 11 semaines, la corrélation entre la vitesse de croissance post-sevrage et l'efficacité alimentaire serait légèrement positive. Pour que cette corrélation s'exprime mieux il faut contrôler les animaux pendant une période plus longue ou terminer le test à poids constant. Lorsqu'on mesure des consommations alimentaires, l'élevage en groupe (4 à 8 lapins dans une même cage) exacerbe les différences par rapport à un élevage en cages individuelles. Le rapport muscle/os et le rendement à l'abattage sont peu corrélés à la vitesse de croissance post-sevrage (Rochambeau 1989).

Le déterminisme génétique de la résistance aux maladies a été peu étudié. On peut cependant signaler que l'hérabilité du nombre d'abcès pulmonaires serait compris entre 0,10 et 0,20.

Figure 1. Hérabilités et corrélations génétiques des caractères de production chez le lapin (d'après Rochambeau 1989).



3 / Les ovins et caprins exploités pour la production de viande et de laine (tableau 3)

Le traitement de synchronisation des oestrus avec injection de PMSG a créé une nouvelle variable (prolificté induite) qui est, génétiquement, moyennement corrélée avec la prolificté naturelle (0,39), et qui augmente la variabilité de la distribution des tailles de portée, ce qui est un inconvénient chez les ovins ou caprins, où l'on souhaite un maximum de doubles et un minimum d'agneaux multiples (3, 4 ou plus) qu'il faut mettre en allaitement artificiel. Par ailleurs, ce traitement hormonal entraîne la production d'anticorps anti-PMSG ayant un effet défavorable sur la fertilité, surtout chez les caprins dont la production d'anticorps est héritable et pourrait dépendre d'un gène majeur. Il est admis maintenant que la sélection directe sur la croissance testiculaire ne permet pas

d'améliorer indirectement le taux d'ovulation, mais cette sélection produirait des brebis précoces (avec un poids adulte plus faible), plus fertiles et plus productives en terme d'agneaux vivants à 7 mois par brebis saillie.

Les 3 groupes de caractères - croissance, épaisseur du gras sous-cutané et développement musculaire - présentent une forte variabilité, même si leurs héritabilités ne sont pas toujours élevées. Les corrélations génétiques entre ces 3 groupes sont nulles, de

Tableau 3.
Héritabilité des principaux caractères chez les ovins ou les caprins.

h ²	Reproduction et production laitière (mesurables dans 1 seul sexe)	Croissance et carcasse	Viabilité et résistance
	Mesurables dans les deux sexes		
0,00			Viabilité des agneaux (naissance ou sevrage)
0,05	Taille de portée (CV = 40%) Viabilité embryonnaire (CV = 15%)		
0,10	Concentration en spermatozoïdes		Résistance à la coccidiose
0,15	Fertilité post-partum à contre saison Intervalle de mise-bas	Poids à la naissance	
0,20		Conformation	Prod. d'anticorps (gène majeur : caprins ?) OIT (clover disease)*
		Indice de consommation (caprins)	
0,25	Date de 1 ^{ère} mise-bas (puberté) Production laitière (allaitement)	Gras sous cutané (Quantité d'herbe consommée au pâturage) Poids adulte	Résistance to body stike
0,30	Date de 1 ^{er} œstrus de saison	Vitesse de croissance	Résistance au froid (h ² _R) Résistance au parasitisme (h ² calculée et h ² _R)
0,35	Diamètre testiculaire	Poids de toison	Résistance au froid
0,40	Taux d'ovulation (CV = 25%)	Fibres musculaires h ² >0,4	
0,45	Niveau de FSH des agnelles 5 sem.	Largeur de la carcasse	
0,50		Longueur de la carcasse	
0,55	Diamètre testiculaire (h ² _R)		
0,60		Surface de noix de côtelette (CV = 7%) Finesse de la laine	
0,65			Réponse à la prod. d'anticorps (ovins)

(*) OIT = Oestrogen-induced transdifferentiation : stérilité due aux œstrogènes du trèfle
h²_R = héritabilité réalisée

sorte qu'il est possible de réaliser une sélection par étapes, dans des sites successifs (ferme, station de contrôle individuel, station de testage sur descendance), avec une précision plus ou moins grande sur chacun des caractères, sans provoquer de contre-sélection sur les autres.

La résistance au parasitisme est un caractère héréditaire. Une expérimentation est en cours pour mesurer l'effet de la sélection directe des mâles (infestation naturelle et provoquée) sur la résistance de leurs descendants. Pour la résistance aux maladies infectieuses, on se reportera à la revue bibliographique de Lantier et Vu Tien (1988).

La sélection des ovins Mérinos sur la finesse de la laine, entraîne une diminution de la "fitness" des agneaux, alors qu'un relâchement de cette sélection produit des toisons plus grossières. On vérifie maintenant qu'il existe une forte corrélation génétique positive entre la résistance au froid et la toison grossière à la naissance (hairy birthcoat). On a mis en évidence, dans la race Scottish Blackface, un gène majeur de résistance au froid lié à la mobilisation de la graisse brune. Pour les caractères relatifs à la pro-

duction de laine, on se reportera à la revue bibliographique de James *et al* (1990).

4 / Les bovins allaitants exploités pour la production de viande

4.1 / Caractères maternels liés à la reproduction et croissance avant sevrage (tableaux 4, 5 et 6)

L'hérédité de l'âge et du poids à la puberté est élevée (0,2 à 0,7), alors que l'hérédité de la fertilité est faible (0,02 à 0,15). Il ne semble par y avoir de corrélation génétique importante entre la fertilité des femelles et les principaux caractères viande, notamment l'aptitude à faire du maigre. L'hérédité de la difficulté de mise-bas est plutôt faible (0,03 à 0,20). La corrélation génétique entre les effets père et mère sur la difficulté de vêlage est faible, compte tenu de la corrélation génétique négative entre les effets directs et maternels.

Tableau 4.
Paramètres génétiques de la fertilité femelle dans les races bovines (*Bos taurus*)

	Age à la puberté	Poids à la puberté	Fertilité
Age à la puberté	<i>0,2 à 0,6</i>	-	-
Poids à la puberté	-	<i>0,2 à 0,7</i>	-
Fertilité	0 à -0,3	-	<i>0,02 à 0,15</i>
<i>Caractères de la mère</i>			
Poids avant sevrage	<0	-	<0
Poids après sevrage	-0,1 à 0	-	>0
Poids adulte	-0,3 à -0,1	>0,4	-0,02 à >0
Production laitière	<0	-	-
<i>Caractères du produit (abattu à âge constant)</i>			
Vitesse de croissance	+0,2 à +0,3	0 à >0	0 à >0
Épaisseur du gras	-0,3 à -0,2	-0,3 à -0,2	0 à >0
Poids de viande	0 à 0,3	0 à 0,1	0 à >0

NB : les hérédités sont en italique ; les autres valeurs sont des corrélations génétiques

Tableau 5.
Paramètres génétiques de l'aptitude au vêlage et de la mortalité précoce des veaux considérés comme un caractère de la mère dans les races bovines (*Bos taurus*).

	Difficulté de vêlage	Mortalité précoce	Poids à la naissance	Durée de la gestation
Hérédité de l'effet direct de la mère	0,03 à 0,20	0 à 0,10	0,10 à 0,30	0,05 à 0,20
Hérédité de l'effet maternel	0,03 à 0,20	0,03 à 0,10	0,05 à 0,25	0,05 à 0,10
Corrélation génétique entre ces effets	-0,10 à -0,60	0 à -0,5	0 à -0,40	-0,40 à -0,60
Corrélation génétique avec :				
<i>Effets du père :</i>				
Difficultés de vêlage	0 à 0,40	0,50 à 0,70	0,50 à 0,70	0 à 0,40
Mortalité précoce	0,50 à 0,80	0 à 0,40	0,10 à 0,30	0,10 à 0,20
Poids à la naissance	0,60 à 0,90	0,40 à 0,80	0 à 0,50	0 à 0,40
Durée de la gestation	0,20 à 0,40	0 à 0,30	0,40 à 0,50	0 à 0,60
<i>Caractères de la mère :</i>				
Ouverture pelvienne	-0,20 à -0,50	-	0 à 0,40	-
Poids à la maturité sexuelle	0 à >0	-	0,40 à 0,60	0,30 à 0,70
Production laitière	0 à <0	-	-	-
Taux de maturité	0<	-	0 à <0	-
Développement musculaire	>0	-	0 à >0	-
<i>Caractères du jeune :</i>				
Vitesse de croissance	0 à <0	-	0,3 à 0,6	0 à >0
Poids de viande	0 à <0	-	0,2 à 0,40	0,1 à 0,2

	Poids à la naissance	Croissance pré-sevrage	Poids au sevrage
Héritabilité de l'effet direct de la mère	0,10 à 0,30	0,10 à 0,25	0,10 à 0,30
Héritabilité de l'effet maternel	0,05 à 0,25	0,15 à 0,35	0,15 à 0,35
Corrélation entre ces effets	0 à -0,40	0 à -0,50	0 à -0,40
Corrélation entre les effets du père et de la mère	0 à 0,50	0,10 à 0,40	0,10 à 0,40
Corrélations génétiques avec :			
<i>Caractères de la mère :</i>			
Poids à la maturité sexuelle	0,40 à 0,60	-	0 à >0
Production laitière	-	-	-
Taux de maturité	0 à <0	-	-
Conformation musculaire	0 à >0	-	-
<i>Caractères du jeune :</i>			
Vitesse de croissance	0,3 à 0,6	-	0 à <0
Poids de viande	0,2 à 0,4	-	0 à <0

Tableau 6. Paramètres génétiques de la croissance du veau avant le sevrage considéré comme un caractère de la mère dans les races bovines (*Bos taurus*).

La corrélation génétique entre les effets directs et maternels est dans l'ensemble négative pour le poids à la naissance et la durée de gestation, ce qui traduit une régulation mère-foetus de la croissance foetale. Les effets de la mère sur le poids à la naissance et la durée de gestation sont moins héritables et moins corrélés génétiquement avec les difficultés de vêlage que les effets du père. Les caractères maternels tels que la préparation au vêlage ou l'ouverture pelvienne sont assez héritables (0,3 à 0,7), de sorte qu'on peut sélectionner indirectement la facilité de vêlage par la sélection directe sur l'ouverture pelvienne. L'héritabilité de la croissance avant sevrage (caractère de la mère) est élevée et comparable à celle de la croissance post-sevrage (caractère du veau). Cependant, l'effet de la mère sur la croissance avant sevrage inclut à la fois les effets génétiques directs et maternel. Or, chez les bovins à viande, la corrélation génétique entre ces 2 effets est généralement négative. L'effet de la mère sur la croissance avant sevrage est corrélé génétiquement (valeur comprise entre 0,6 et 0,8) avec la production laitière qui est assez héritable (0,4).

Tableau 7. Coefficients d'héritabilité moyen pour des caractères mesurés sur l'animal vivant.

	<i>Bos taurus</i>				<i>Bos indicus</i>
	Résultats d'élevage	Résultats de station	Elevages expérimentaux		Tropiques américains
			sans sélection	avec sélection	
Fréquence de dystocie	0,09	-	-	-	-
Poids à la naissance	0,23	-	0,43	0,34	0,37
Poids au sevrage	0,23	-	0,38	0,25	0,29
Gain de poids	0,30	0,44	0,51	0,29	0,53
Poids final (12-24 mois)	0,32	0,38	0,55	0,29	0,42
Poids adulte	-	-	0,60	-	-
Consommation alimentaire	-	-	0,42	-	-
Efficacité alimentaire	-	-	0,35	-	-

4.2 / Croissance après sevrage et caractères de la carcasse

(Renand *et al* 1991 : tableaux 7 et 8, figure 2)

La croissance au cours de la vie est contrôlée en partie par les mêmes gènes, de sorte que les corrélations génétiques entre poids sont assez élevées. Toute sélection pour augmenter la croissance après sevrage se traduira donc par une augmentation correspondante du poids à la naissance et du poids adulte des vaches. Cependant, il subsiste une variabilité génétique de la forme de croissance. On doit également savoir que la sélection sur la vitesse de croissance risque d'augmenter la fréquence des difficultés de vêlage, compte tenu de la corrélation génétique élevée entre les effets père d'une part, le poids à la naissance et les difficultés de vêlage d'autre part (corrélation génétique égale à 0,78). La vitesse de croissance et la consommation en période d'engraissement sont étroitement liées ($r_g = 0,81$), mais les corrélations génétiques entre ces 2 caractères et l'efficacité alimentaire varient beaucoup (Sutherland 1965). Dans l'ensemble, une amélioration de la vitesse de croissance s'accompagne d'un accroissement de la consommation et de l'efficacité (corrélation génétique égale à

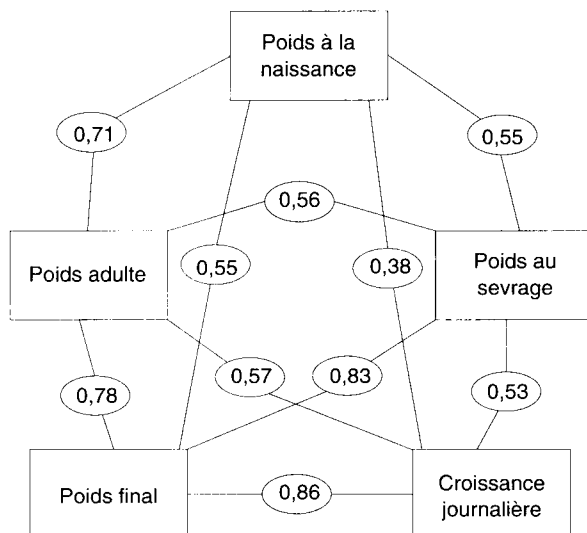


Figure 2. Corrélations génétiques entre les caractères de croissance chez les bovins.

Tableau 8.
Paramètres
génétiques
moyens des
caractères
mesurés sur
l'animal après
l'abattage.

	Héritabilité	Poids de la viande	Poids du gras	Poids de l'os	Epaisseur du gras	Surface de l'entrecôte	Vitesse de croissance
<i>Age à l'abattage constant :</i>							
Poids de la carcasse	0,62	-0,14	0,13	-0,57	-	0,50	-0,05
% de viande	0,55	-	-0,83	0,34	-0,76	0,40	-0,11
% de gras	0,67	-	-	-0,52	0,44	0,02	0,04
% d'os	0,62	-	-	-	-0,52	-0,04	0,12
Epaisseur du gras	0,49	-	-	-	-	-0,11	0,31
Surface de l'entrecôte	0,49	-	-	-	-	-	0,48
<i>Poids à l'abattage constant :</i>							
Poids de la carcasse	0,45	0,18	-0,10	-0,61	0,25	0,55	-0,20
* carcasse	0,37	-	-0,77	0,39	-0,33	0,64	0,27
Gras *	0,44	-	-	-0,53	0,84	-0,36	-0,20
Os *	0,52	-	-	-	-0,43	-0,22	-0,14
Epaisseur du gras	0,43	-	-	-	-	-0,38	-0,36
Surface de l'entrecôte	0,45	-	-	-	-	-	0,12

* En poids ou en pourcentage

** Gain de poids post sevrage ou poids à la fin du contrôle

0,52), alors que ces 2 dernières variables sont peu corrélées (corrélation génétique égale à 0,12).

Concernant les variables de carcasses, les héritabilités sont assez élevées, particulièrement l'épaisseur de gras et la surface de la noix de côtelette (héritabilité égale à 0,49), toutefois beaucoup d'estimations ont été faites sur les races britanniques qui ont une bonne épaisseur de gras sous-cutané, ce qui facilite les mesures par les méthodes aux ultrasons, alors que les races françaises sont plus maigres. Les corrélations génétiques sont calculées à âge ou à poids d'abattage constants (tableau 9). A âge constant la corrélation génétique entre la vitesse de croissance et le pourcentage de maigre est négative (-0,11), alors que c'est l'inverse à poids constant (+0,27). Les corrélations génétiques entre les caractères de carcasse et le poids à la naissance sont intéressantes à considérer : en dépit du petit nombre d'estimées, le poids à la naissance semble avoir des corrélations génétiques plus favorables avec le poids de carcasse (+0,11) et l'adiposité (-0,16 et -0,42) que la vitesse de croissance après sevrage, de sorte qu'une sélection sur la vitesse de croissance avec une contrainte sur le poids à la naissance risque de diminuer la qualité des carcasses.

5 / Les ruminants laitiers (bovins, ovins et caprins)

Le tableau 9 présente l'héritabilité et les corrélations génétiques entre les principaux caractères d'intérêt économique.

On peut résumer ainsi les paramètres génétiques de la fertilité chez les bovins laitiers. La composante génétique additive de la fertilité femelle est faible. Les estimations d'héritabilité sont généralement inférieures à 5 % et même le plus souvent à 3 %, ce qui est confirmé par nos estimations dans les trois principales races françaises. La sélection s'annonce donc difficile et coûteuse. Le faible niveau des estimations rend leur précision très mauvaise et pratiquement aucune étude ne fournit de résultats significativement différents de zéro. Cet écueil pourrait en théorie être levé par l'analyse de descendance nombreuses, mais on ne les trouve que pour les taureaux améliorateurs. Cependant la multiplication des résultats compense la mauvaise précision de chacun, dans la mesure où ils sont en général homogènes. Les héritabilités suivantes peuvent être ainsi retenues :

- taux de réussite ou de non retour : 0,010 à 0,015 ;
- intervalle vêlage fécondation ou dernière insémination, période de service : 0,02 à 0,03 ;
- nombre d'inséminations : 0,02.

Le faible niveau d'héritabilité cache une variabilité génétique non négligeable. Ce phénomène s'explique par la forte variabilité phénotypique des caractères et par le fait que l'écart-type génétique est proportionnel à la racine carrée de l'héritabilité, comprise entre 0,10 et 0,25. Les écarts-types suivants sont les plus vraisemblables : taux de conception : 0,05 ; nombre d'inséminations : 0,2 ; intervalle vêlage fécondation : 7 jours.

h^2	Reproduction	Performances laitières et croissance	Viabilité et résistance
0			
	Taux de réussite (0,015) Intervalle entre vêlage ; nombre d'IAC/féc. (0,03) Prod. de jumeaux (0,03)		Rétention du placenta (0,01) Cétose (0,04)
0,05	Fréquence des kystes ovariens	Durée de lactation CV = 22%	Mortalité naissance (h^2 directe, maternelle) Longévité Qualité du lait (nombre de cellules) (0,08) Mammites (0,08 ; 22 réf.) V.L.
0,10			Dystocie (h^2 directe ou maternelle)
0,15		Q. Mat. protéique (0,17) CV = 24% Poids vif au sevrage Efficacité alimentaire (vache laitière)	
0,20			
0,25		Q. Matière grasse = QMG (0,24) CV = 24	Docilité de manipulation (INRA, ITEB)
0,30		Q. Lait (0,29) CV = 23 Débit de traite (bovins)	
0,35		Poids vif à 1 an Efficacité alimentaire (culards) T.P. = <u>taux de protéines</u> (0,41) CV = 6	
0,40		Vitesse de croissance (culards)	Résistance aux tiques
0,45		Consommation = vach. laitière ; bov. viande TP/TB (Montbéliarde, Normande) Surface noix de côtelette (bov. v.)	
0,50		TB = taux butyreux (0,49) CV = 10 TB et TP (Montbéliarde ; Normande) 0,51 et 0,54 TB et TP (chèvres alpines : 0,50 et 0,52)	
0,55		% maigre dans la carcasse (bov. v.) Débit de traite (bovins = h^2 (0,25 à 0,80)	
0,60		Caséine/ Mat azotées totales (caprins). CV = 2 à 4%	
0,65		% gras dans la carcasse (bov. v.) Débit 1ère minute de traite (caprins). gène majeur hd	

Tableau 9.
Héritabilité des performances chez les bovins (ovins lait et caprins).

Les possibilités d'évolution de la fertilité ne doivent donc pas être sous-estimées. Une des causes essentielles d'évolution peut être la sélection laitière. La réponse sur la fertilité à la sélection laitière est proportionnelle à la corrélation génétique. Cependant, l'estimation de ce coefficient de corrélation est encore plus problématique que celle de l'héritabilité. Au problème de précision s'ajoute celui du biais d'estimation lié aux traitements préférentiels. La nature des caractères laitiers et de reproduction pris en considération a également une influence. Presque toutes les analyses concluent à l'existence d'un antagonisme modéré à fort entre potentiel laitier et fertilité. La gamme des coefficients estimés va de 0,3 à 1. Les causes de surestimations étant nombreuses, la fourchette la plus vraisemblable va de 0,3 à 0,5. Cet antagonisme se traduit par un retard à la fécondation évalué à titre indicatif à +0,7 jour pour un progrès de 100 kg de lait. La stabilité de cette estimation selon les conditions de milieu est soumise à controverse. L'analyse des données du Pin est la première à introduire dans le modèle génétique des variables de mobilisation corporelle, dont l'effet sur la fertilité femelle est reconnu. Les faibles variations d'estimation de la corrélation génétique avec ou sans prise en compte de la mobilisation corporelle, militent, malgré la mauvaise précision observée, en faveur de l'existence d'un antagonisme génétique indépendant des conditions de milieu. Cette opposition semble également peu dépendante du type de

critère laitier pris en considération, de sorte que toute sélection basée sur un critère de quantité de lait ou de matière, quelle que soit son expression, devrait se traduire par une dégradation des performances de fertilité.

Pour les principales variables laitères utilisées en France (quantité de lait, quantité de matières grasses, quantité de matières protéiques, quantité de matière sèche utile, taux butyreux, taux protéique), Beaumont (1988) synthétise ainsi l'information disponible. Les corrélations génétiques entre lactations sont très élevées mais néanmoins différentes de 1. Les héritabilités varient peu avec le numéro de lactation. La 2^{ème} lactation est presque toujours un peu moins héritable que la 1^{ère}. Par contre, les valeurs estimées en 1^{ère} et en 3^{ème} lactation sont, sauf pour les taux butyreux et protéique, similaires. Pour les six caractères considérés, les déterminismes génétiques des trois premières lactations apparaissent donc très voisins. Il est toutefois nécessaire d'évaluer les reproducteurs sur plusieurs lactations car une sélection basée sur les seules premières lactations pourrait conduire à sélectionner des animaux performants pour ce caractère mais dont la valeur génétique pour les lactations ultérieures serait médiocre. Entre la première et la deuxième lactation la corrélation génétique est égale à 0,89 pour la quantité de lait, à 0,93 pour les quantités de matières grasses et de matières protéiques, à 0,97 pour le taux butyreux et 0,90 pour le taux protéique. Boichard et Bonaiti (1987) ont estimé les corrélations génétiques entre les variables de quantité et les variables de taux dans les races Frisonne, Montbéliarde et Normande (figure 3). Ces valeurs, obtenues sur les trois races françaises, indiquent que la sélection sur les seules quantités ne permet pas d'espérer une amélioration de la richesse en protéines des laits, en particulier la sélection sur la quantité de matières protéiques. Si l'on veut augmenter le taux protéique pour améliorer la valeur nutritive et fromagère des laits, il faut aussi sélectionner sur le TP, et peut-être ne plus tenir compte du taux butyreux qui n'a plus l'importance qu'on lui accordait il y a 40 ans à l'époque de la sélection "beurrière" et qui, de toute façon, ne risque pas de diminuer (corrélation génétique de + 0,60 entre le taux butyreux et le taux protéique. On notera également les différences entre les corrélations phénotypiques et génétiques : elles sont respectivement égales à -0,23 et à -0,50 pour la quantité de lait et le taux protéique et à +0,10 et -0,07 pour la quantité de matières protéiques et le taux protéique. Ces corrélations sont essentielles pour définir l'index de sélection. Cependant les estimations peuvent varier entre populations, races ou espèces. Cette variabilité de la corrélation génétique et phénotypique est illustrée par le tableau 10.

Figure 3.
Corrélations génétiques entre les variables de production laitière.

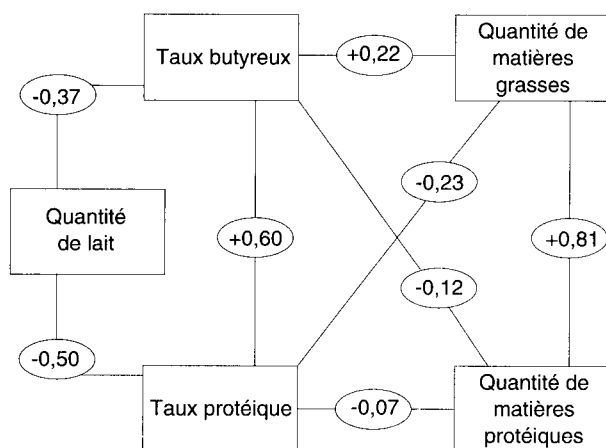


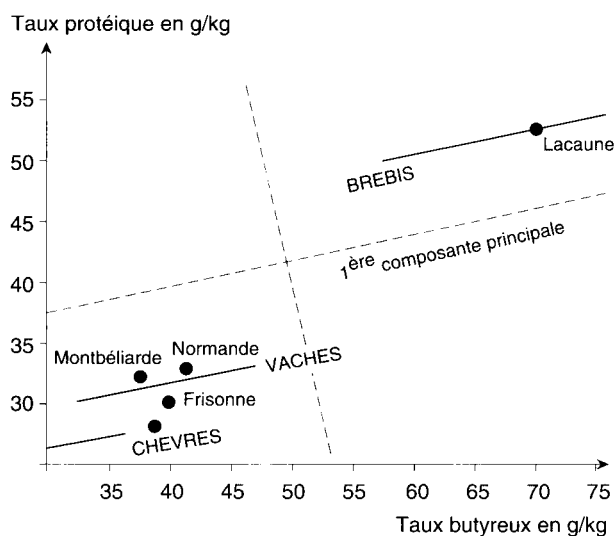
Tableau 10. Variabilité de la corrélation génétique et phénotypique dans des races de différentes espèces de ruminants laitiers (les corrélations phénotypiques sont entre parenthèses).

Quantité de matières protéiques et taux protéique	Quantité de matières protéiques et taux butyreux	Origine de l'estimation
+0,15 (-0,02)	-0,08	Moyenne de 14 références chez les bovins (Barillet et Boichard 1987)
-0,05 (-0,02)	-0,11 (+0,02)	Brebis laitières de race Lacaune (Barillet et Boichard 1987)
-0,19 (-0,05)	-0,28 (-0,05)	Chèvres laitières en station après 100 jours de lactation (Ricordeau <i>et al</i> 1979)
+0,14 (-0,06)	+0,34 (+0,45)	Chèvres de race Alpine en fermes (Boichard <i>et al</i> 1989)
+0,03 (-0,08)	+0,01 (+0,04)	Chèvres de race Saanen, en fermes (Bouloc 1991)

Chez les caprins, les choses se compliquent car le taux protéique ou le taux de matières azotées totales dépend de gènes majeurs. En effet les protéines "vraies" sont la somme des protéines solubles et des quatre caséines. Parmi celles-ci la caséine α_S1 , dont le gène présente au moins sept allèles, correspondant à des taux de synthèse variables.

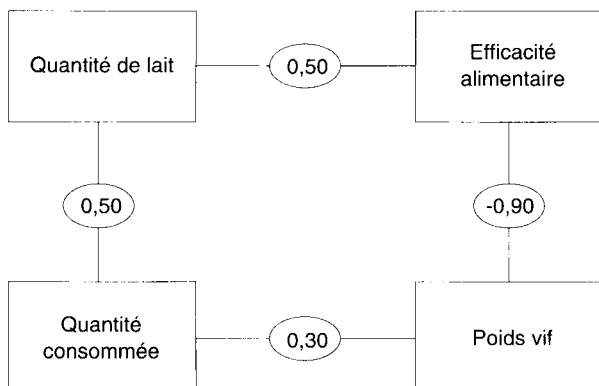
La figure 4 présente une correspondance entre le taux butyreux et le taux protéique pour quelques races des trois espèces de ruminants laitiers. Les coefficients de régression sont comparables pour les bovins, les ovins et les caprins, mais les droites de régression sont décalées, de sorte que, pour le même taux butyreux, les laits de chèvre sont plus pauvres en protéines que les laits de vache. A l'intérieur d'une

Figure 4. Correspondance entre le taux protéique et le taux butyreux pour les chèvres, les vaches et les brebis.



espèce, il existe une variabilité entre races : les Frisonnes ont un lait moins riche en protéines que les Montbéliardes ou les Normandes. La figure 5 résume les liaisons entre la production laitière, la consommation, l'efficacité alimentaire et le poids vif. Ces résultats sont dus à Persaud et al (1991). Ils ont été obtenus en alimentation à volonté.

Figure 5. Liaisons entre la quantité de lait, la quantité consommée, l'efficacité alimentaire et le poids vif.



La sensibilité aux mammites est peu héritable (0,01 à 0,37 ; moyenne égale à 0,10), mais elle est assez fortement corrélée génétiquement à la production laitière (0,2 à 0,6). Il est incontestable que la sélection sur la quantité de lait s'est accompagnée d'une augmentation des cas de mammites cliniques. Par ailleurs, ces mammites ont une incidence économique défavorable sur la production (perte et rejets de lait ; 30 à 40 % des traitements vétérinaires au Danemark) et la longévité (principale cause de réforme des vaches), Aussi la prise en compte de ce caractère dans les critères de sélection est préconisée, pour maintenir la fréquence des cas cliniques au niveau actuel et, si possible, éviter une diminution continue de la résistance qui pourrait se révéler inquiétante à long terme, si l'on extrapole les résultats de la corrélation génétique sur une période de 50 ans par exemple. Les critères de sélection possibles sont le nombre de traitements par lactation ou le nombre de

cellules dans le lait, variable héritable ($h^2 = 0,20$) et en corrélation génétique étroite avec la fréquence des mammites cliniques ($r_g = 0,80$ à $0,90$). La résistance à la leucose est héritable et probablement liée au système BOLA ; notamment la résistance au développement chez les animaux infectés d'une lymphocytose persistante.

Conclusion

Les paramètres génétiques des principaux caractères de production et de reproduction sont connus depuis plus de 40 ans. Ces estimations ont peu varié. Ce qui est nouveau, c'est la variété des caractères mesurés, parmi lesquels de plus en plus de caractères concernant les composantes de la reproduction, l'efficacité alimentaire, la résistance des animaux aux maladies, aux parasitismes internes ou externes. Il faut aussi distinguer les caractères directement mesurables de ceux qui nécessitent une intervention (taux d'ovulation) ou une infestation expérimentale (résistance au parasitisme). Rappelons également que les caractères de reproduction ou de production laitière sont mesurables uniquement dans un seul sexe et que les mâles sont essentiellement contrôlés en Station de contrôle individuel ou en Centre de production de semence.

Certaines estimations d'héritabilité sont très variables. Parmi les caractères assez héritables, certains ont un déterminisme mixte (par exemple, le débit de lait au cours de la traite chez les caprins), ce qui entraîne le calcul d'une héritabilité résiduelle.

Dans l'ensemble on observe une bonne correspondance entre les valeurs de l'héritabilité estimée et les valeurs de l'héritabilité réalisée dans une expérience de sélection. Les valeurs obtenues pour quelques caractères dans différentes espèces sont (héritabilité estimée puis héritabilité réalisée) :

- sélection sur la taille de portée chez le porc en race Large White : 0,10 contre 0,04
- sélection sur la taille de portée chez le porc dans la souche hyperprolifique : 0,14 contre 0,05
- sélection sur l'épaisseur du lard dorsal chez le porc : 0,54 contre 0,28
- sélection sur la vitesse de croissance chez le lapin : 0,35 contre 0,23
- sélection sur la taille de la portée au sevrage chez le lapin : 0,15 contre 0,05.

Les paramètres génétiques sont des outils pour calculer les index, mesurer le progrès génétique a priori et a posteriori, définir les objectifs et les méthodes de sélection. C'est en fonction de l'analyse des paramètres génétiques que la sélection porcine a changé de stratégie dans les années 1960 (remplacement du testage sur descendance d'un nombre limité de verrats par la sélection en contrôle individuel d'un nombre maximum des mâles pour répondre aux besoins des sélectionneurs). Ces estimations peuvent aussi nous être utiles aujourd'hui, pour définir des objectifs "raisonnables" permettant d'espérer, à long terme, une amélioration de la qualité des viandes, de la richesse des laits, de la résistance des animaux, des capacités de reproduction, de l'efficacité alimentaire, puisque l'amélioration des quantités se heurte à l'obstacle des quotas et risque de devenir de moins

en moins favorable économiquement. Ceci suppose la prise en compte de nouveaux caractères dans les contrôles de performances, y compris la recherche de

marqueurs et l'exploitation du polymorphisme génétique des caractères complexes utilisés dans la pratique.

Références bibliographiques

- Barillet F., Boichard D., 1987. Studies on dairy production of milking ewes. I. Estimates of genetic parameters for total milk composition and yield. *Génét. Sél. Evol.*, 19, 459-474.
- Beaumont C.M., 1988. Application de la méthode du maximum de vraisemblance restreint (REML) à l'estimation des paramètres génétiques des trois premières lactations en race Montbéliarde. Thèse.
- Bidanel J.P., 1988. Bases zootechniques et génétiques de l'utilisation en élevage intensif des races prolifiques chinoises. Cas du porc Meishan. Thèse.
- Bidanel J.P., 1989. Taux d'ovulation et survie prénatale chez le porc : aspects génétiques. *INRA Prod. Anim.*, 2, 159-170.
- Boichard D., Bonaiti B., 1987. Genetic parameters for first lactation dairy traits in Friesian, Montbéliarde and Normande breeds. *Génét. Sél. Evol.*, 19, 337-350.
- Boichard D. et al, 1989. Genetic parameters for first lactation dairy traits in the Alpine and Saanen goat breeds. *Génét. Sél. Evol.*, 21, 205-215.
- Haley C.S., Avalos E., Smith C., 1988. Selection for litter size in the pig. *Anim. Breed. Abstr.*, vol 56, n°5, 317-332.
- James J.P. et al, 1990. Genetic parameters for wool production and quality traits in South Australian Merinos of the Collinsville family group. *Aust. J. Agric. Res.*, 41, 583-594.
- Lantier F., Vu Tien J., 1988. Genetic variability of resistance to infectious diseases. *Proc. 3rd World Congr. on Sheep and Beef Cattle breeding*, vol 1, 531-552.
- Persaud P., Simm G., Hill W.G., 1991. Genetic and phenotypic parameters for yield, food intake and efficiency of dairy cows fed ad libitum. 1. Estimates for "total" lactation measures and their relationship with live-weight traits. 2. Estimates for part lactation measures and their relationship with "total" lactation measures. *Anim. Prod.*, 52, 435-444 ; 445-450.
- Renand G., Plasse D., Andersen B.B., 1992. Genetic improvement for growth and carcass traits. In R. Jarrige and C. Béranger eds : "Beef cattle production". (World animal science. C, Production-system approach ; 5) Elsevier Sciences Publisher, Amsterdam, The Netherlands.
- Ricordeau G., Poivey J.P., Bodin L., Barillet F., Roussely M., 1986. Importance of testicular measurements of young males tested on individual performance for improvement of their daughters' prolificacy : application to the selection scheme on Lacaune milking breed. 3rd World Congr. on Genetics applied, Nebraska, XI, 72-77.
- Rochambeau H. (de), 1989. La génétique du lapin, producteur de viande. *INRA Prod. Anim.*, 2, 287-295.
- Rothschild et al, 1984. Breed and swine lymphocyte antigen haplotype differences in agglutination titers following vaccination with B. Bronchiseptica. *J. Anim. Sci.*, 59, 643.
- Sellier P., 1986. Amélioration génétique. In J.M. Perez, P. Mornet et A. Rérat éditeurs : "Le porc et son élevage". Editions Maloine, Paris.
- Sellier P., 1988. Aspects génétiques des qualités technologiques et organoleptiques de la viande chez le porc. *Journées de la Recherche porcine*, 20, 227-242.
- Slee J. et al, 1991. Genetic aspects of cold resistance and related characters in newborn Merino lambs. *Aust. J. Exp. Agric.*, 31, 175-182.