

P. SELLIER, J. BOUIX*, G. RENAND,
M. MOLÉNAT

INRA Station de Génétique quantitative et appliquée
78352 Jouy-en-Josas Cedex

*INRA Station d'Amélioration Génétique des
Animaux BP 27 31326 Castanet-Tolosan Cedex

Les objectifs et les critères de sélection

Les aptitudes bouchères : croissance, efficacité alimentaire et qualité de la carcasse

Résumé. Les programmes de sélection sur les aptitudes bouchères ont un double objectif : l'abaissement du coût de production et l'amélioration de la qualité du produit. Cet article rappelle un certain nombre de données de base sur les aptitudes bouchères : courbe de croissance, évolution de la composition chimique et tissulaire chez l'animal en croissance (notion d'allométrie), énergétique de la croissance (relation entre efficacité alimentaire et croissance musculaire), développement des tissus musculaire et adipeux, qualités de la viande et du gras. Les objectifs et les critères de sélection sont décrits pour chacune des espèces bovine, ovine et porcine. L'importance relative accordée aux différents caractères (vitesse de croissance, efficacité alimentaire, teneur en viande de la carcasse, qualité de la viande) varie selon l'espèce. Chez les bovins allaitants et les ovins, l'évaluation génétique des mâles repose dans un premier temps sur le contrôle individuel et dans un second temps sur le contrôle de descendance. Chez le porc, la composition corporelle peut être estimée avec précision sur l'animal vivant (échographie aux ultra-sons) et le contrôle individuel a été largement utilisé dans les deux dernières décennies.

Tout animal domestique est potentiellement un producteur de viande, y compris les femelles reproductrices de réforme qui fournissent dans les espèces à faible productivité numérique une part non négligeable du tonnage de viande produite et consommée (les vaches de réforme représentent 40% de la production de viande de gros bovins en France). Nous nous intéressons ici aux animaux élevés spécifiquement pour la production de viande de bœuf (races allaitantes), de mouton et de porc (sur certains points, il sera également question du lapin et du poulet de chair). Cet article comprend trois parties. La première rappelle les grandes orientations de la sélection sur les aptitudes bouchères. La deuxième présente des données générales sur la croissance, l'efficacité alimentaire et la qualité de la carcasse. Dans la troisième partie, les objectifs et critères de sélection sont décrits pour chacune des espèces bovine, ovine et porcine.

1 / Orientation générale de la sélection sur les aptitudes bouchères

Si l'on se place du point de vue de l'ensemble de la filière viande, on peut dire de façon très raccourcie qu'il s'agit de produire au moindre coût une viande de bonne qualité. Les programmes d'amélioration génétique dans les populations animales utilisées pour la production de viande visent donc un double objectif :

- l'abaissement du coût de production

Ce premier objectif concerne directement l'éleveur. La part du coût de production liée à l'entretien des mères et influencée notamment par leur productivité numérique (on peut l'estimer par exemple par le prix de revient du jeune animal au sevrage) est traitée dans l'article de Bolet et Bodin. Dans la part du coût de production liée à l'animal producteur de viande lui-même, le poste aliment intervient pour au moins 2/3 et l'objectif premier est d'augmenter l'efficacité alimentaire, définie comme le rapport du gain de poids vif ("output") à l'aliment consommé ("input").

- l'amélioration de la qualité du produit

L'expression qualité du produit est prise ici au sens le plus large du terme, l'objectif étant de satisfaire les différents acteurs de la filière aval (abatteur, transformateur, distributeur, consommateur). L'amélioration de la qualité passe d'abord par une augmentation de la teneur en viande de la carcasse, et ceci essentiellement au détriment des dépôts gras. Cette orientation de la sélection a été fortement encouragée par la mise en place de systèmes de cotation commerciale des carcasses basés sur des appréciations plus ou moins objectives de leur rendement en viande et se traduisant pour l'éleveur par des différences notables de prix de vente. En plus de cet effet sur les recettes, l'éleveur tire d'ailleurs un autre bénéfice de l'augmentation du rapport muscle/gras du gain de poids puisque cette dernière concourt, comme nous le verrons plus loin, à l'amélioration de l'efficacité alimentaire.

Plus récemment, de nouvelles préoccupations strictement "qualitatives" sont apparues, visant à améliorer les qualités sensorielles et technologiques de la viande produite (et éventuellement aussi du gras produit).

2 / Données générales sur les aptitudes bouchères

La croissance pondérale rend compte de l'évolution du poids corporel depuis la conception (ou la naissance) jusqu'au stade adulte. Le développement, notion plus qualitative, correspond à la mise en place progressive, dès le stade foetal, des tissus constitutifs de l'organisme (dans l'ordre chronologique : système nerveux, os, muscle, gras) et des organes assurant les grandes fonctions physiologiques. Au sens large, la croissance d'un organisme est la succession des évolutions de son poids, de sa morphologie, de sa structure fonctionnelle et de sa composition tissulaire et chimique.

2.1 / Courbe de croissance

La courbe d'augmentation du poids corporel (W) en fonction de l'âge (t) a une allure sigmoïdale, comportant :

- une première phase où, partant d'une valeur initiale W_0 , le poids s'accroît de façon exponentielle : $W = W_0 \exp(kt)$ pour $t < t'$;

- un point d'inflexion situé à un âge t' voisin de l'âge à la puberté et à un poids qui est de l'ordre de 30 à 50% du poids adulte ;

- une deuxième phase où il y a une décélération de la vitesse de croissance jusqu'à ce que le poids adulte (W_A) soit atteint asymptotiquement : $W = W_A [1 - \exp(-k(t-t'))]$ pour $t > t'$.

En dehors des classiques équations de Brody, données ci-dessus et où a , k et t^* sont des paramètres, de très nombreuses équations mathématiques ont été proposées pour rendre compte de la forme de la courbe de croissance. Ainsi, dans le modèle de Gompertz, il est supposé que la vitesse de croissance instantanée est proportionnelle au poids ($dW/dt = kW$) et que le coefficient de proportionnalité k décroît avec l'âge selon la relation $k = k_1 \exp(-k_2 t)$,

d'où l'équation :

$$W = W_0 \exp[(k_1/k_2)(1 - \exp(-k_2 t))]$$

Le point d'inflexion de la courbe de croissance intervient à l'âge

$$t' = (1/k_2) \text{Log}(k_1/k_2)$$

et le poids adulte est donné par :

$$W_A = W_0 \exp(k_1/k_2).$$

Comme le note Parks (1982), il est "inéluçtable" que la courbe de croissance présente un point d'inflexion qui correspond au stade de la vie de l'animal où sa vitesse de croissance est maximale. Si l'on relie le gain de poids G à l'aliment consommé F , on peut écrire :

$$G = F \times (G/F)$$

soit gain de poids = aliment consommé x efficacité alimentaire

ou encore, T étant le temps mis pour réaliser le gain de poids :

$$G/T = (F/T) \times (G/F)$$

soit vitesse de croissance = appétit x efficacité alimentaire.

La vitesse de croissance est donc le produit de deux fonctions dont l'une décroît (efficacité alimentaire) et dont l'autre croît (appétit) avec l'âge de l'animal : elle présente un maximum à un âge intermédiaire (t') qui correspond au point d'inflexion de la courbe du poids en fonction de l'âge.

Certains auteurs ont recherché une représentation "unifiée" de la courbe de croissance pour des espèces (ou des races de même espèce) différant par leur format adulte. Taylor (1980) a analysé les courbes de croissance prénatale et postnatale de 9 espèces de mammifères, allant de la Souris (poids adulte = 30 g) au Cheval (poids adulte = 700 kg). Il définit le degré de maturité de l'animal à un stade de croissance donné comme le rapport du poids vif à ce stade au poids adulte ($u = W/W_A$). Il a montré que le poids adulte à la puissance 0,27 explique une grande part des variations du temps mis par les différentes espèces pour atteindre un degré de maturité donné. Ces espèces ont des courbes de croissance à peu près superposables quand on représente l'évolution du degré de maturité de l'animal en fonction de son âge métabolique, défini par $t/W_A^{0,27}$ où t est l'âge de l'animal compté à partir de la conception. Cette courbe de croissance standardisée a , comme la courbe de croissance classique, une allure de sigmoïde avec un point d'inflexion dont les coordonnées sont de l'ordre de 90 jours pour l'âge métabolique et de 0,40 pour le degré de maturité.

La phase de la courbe de croissance exploitée commercialement dans les espèces domestiques correspond à des degrés de maturité à l'abattage compris le plus souvent entre 1/3 et 2/3, donc à des animaux relativement "jeunes" en termes d'âge physiologique (tableau 1).

2.2 / Evolution de la composition chimique et tissulaire, relation d'allométrie

La croissance pondérale de l'animal s'accompagne de modifications importantes de la composition chimique de la masse corporelle. Ceci est illustré par la figure 1 qui représente l'évolution des teneurs en eau, protéines, lipides et minéraux chez le porc entre la

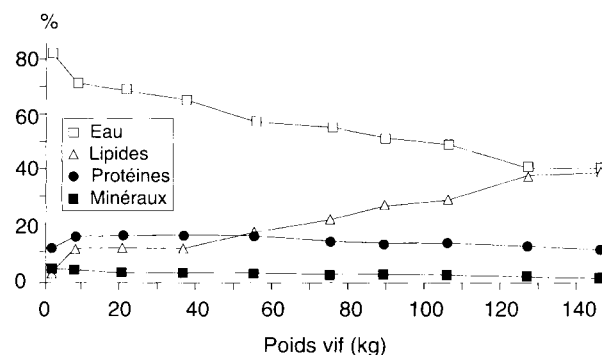
Tableau 1. Degré de maturité à l'abattage dans différentes espèces.

Espèce	Poids adulte (kg)	Poids à l'abattage (kg)	Age à l'abattage	Degré de maturité à l'abattage
Bovin (viande de veau)*	600	210	5 mois	0,35
Bovin (viande de bœuf)*	750	500 à 600	15-18 mois	0,65 à 0,80
Porc	300	100-105	6 mois	0,35
Mouton	70	35 à 40	4 mois	0,50
Lapin	3,8	2,3	11 semaines	0,60
Poulet	4	2	6-7 semaines	0,50

* exemple d'un veau croisé issu d'une mère de race laitière

** exemple d'une race allaitante

Figure 1. Evolution du pourcentage des constituants chimiques corporels chez le porc entre la naissance et le poids de 145 kg (d'après Shields et al 1983).



naissance et le poids vif de 145 kg. Dans les premières semaines de vie, la teneur en eau diminue fortement et corrélativement les teneurs en protéines et surtout en lipides s'accroissent. Par la suite, l'augmentation de la teneur en lipides et la diminution de la teneur en eau se poursuivent mais de façon moins marquée, alors que la teneur en protéines reste approximativement constante.

La notion d'allométrie permet de rendre compte des évolutions différentielles des constituants corporels. Le poids d'une partie du corps (y) est relié au poids corporel (x) par la fonction :

$$y = ax^b$$

où a est une constante et b est le coefficient d'allométrie de y par rapport à x.

Sous forme logarithmique, la relation s'écrit :
 $\log y = \log a + b \log x$

et, par différentiation, on voit que b a la signification du rapport des vitesses de croissance relatives de x et y.

Les valeurs données dans le tableau 2 illustrent le fait que, par rapport au poids vif, il y a une allométrie nettement "majorante" ($b > 1$) pour les lipides, une allométrie "minorante" ($b < 1$) pour l'eau et pour les minéraux et une "isométrie" ($b = 1$) pour les protéines. Par ailleurs, le coefficient d'allométrie du poids de carcasse par rapport au poids vif est de l'ordre de 1,05 - 1,10, ce qui se traduit par une augmentation du rendement de carcasse avec le poids vif.

L'évolution de la composition chimique de la masse corporelle au cours de la croissance est en fait la résultante de deux phénomènes :

- d'une part, et surtout, la modification de la composition tissulaire (muscle, gras, os) de la carcasse
- d'autre part, la modification de la composition chimique de chaque tissu.

Concernant l'évolution de la composition tissulaire, citons l'exemple du bovin en croissance chez lequel les coefficients d'allométrie par rapport au poids vif sont voisins de 0,7, 1 et 1,8 respectivement pour l'os, les muscles et les dépôts adipeux dans la carcasse (Renand 1983). On peut donc admettre, et cela a également été montré dans les espèces ovine et porcine, que le rapport poids de muscle / poids vif reste pratiquement inchangé pendant la croissance, la diminution de la teneur en muscle de la carcasse étant à peu près compensée par l'augmentation du

Tableau 2. Coefficients d'allométrie des constituants chimiques de la masse corporelle (rapportés au poids vif vide).

Etude	Constituants chimiques			
	eau	protéines	lipides	minéraux
Espèce bovine (Renand 1983)				
- bouvillons de races à viande britanniques (type "très précoce")	0,82	0,88	1,81	-
- taurillons de races laitières (type "précoce")	0,87	0,96	1,71	-
- taurillons de races à viande continentales (type "tardif")	0,92	1,02	1,53	-
Espèce ovine (Robelin et Thériez 1981)	0,85	0,97	1,73	-
Espèce porcine				
- entre 20 et 90 kg de poids vif (Moughan et al 1990)	0,93	1,00	1,30	0,93
- entre 10 et 24 semaines d'âge (Tess et al 1986)	0,85	0,96	1,62	0,87

rendement de carcasse. Par ailleurs, les dépôts adipeux ont des coefficients d'allométrie différents selon leur localisation : rapportés au poids total des dépôts adipeux, les poids du gras intermusculaire, du gras interne (tapissant la cavité abdominale) et du gras sous-cutané présentent des coefficients d'allométrie égaux respectivement à 0,9, 1,0 et 1,3 dans l'espèce bovine (Renand 1983) et à 0,9, 0,8 et 1,2 dans l'espèce ovine (Prud'hon 1976).

Concernant l'évolution de la composition chimique des tissus en cours de croissance, mentionnons par exemple que les teneurs en eau et en lipides du tissu adipeux sous-cutané chez le porc passent respectivement de 90 à 12 % et de 3 à 80 % entre la naissance et l'âge de 150 jours, l'essentiel de ces évolutions intervenant dans les 3 premières semaines de vie (Delpech et Lefaucheur 1986). La composition chimique du tissu musculaire évolue également avec l'âge mais dans des proportions bien moindres (légère réduction de la teneur en eau et augmentation de la teneur en lipides).

2.3 / Energétique de la croissance, efficacité alimentaire

Nous prendrons ici l'exemple du porc en croissance (Noblet, comm. pers.). L'augmentation de la masse corporelle et l'évolution de sa composition chimique (élévation du rapport lipides / protéines) ont pour conséquence l'augmentation de la quantité d'énergie contenue dans le corps de l'animal. Cet accroissement d'énergie (ΔE) peut être calculé à partir des quantités fixées de lipides (ΔL) et de protéines (ΔP) selon la formule :

$$\Delta E = E_l \Delta L + E_p \Delta P$$

Les coefficients E_l et E_p , correspondant aux quantités d'énergie brute contenues dans 1 g de lipides et dans 1 g de protéines, sont égaux respectivement à 39,5 et 23,8 kJ.

L'énergie ainsi fixée est fournie par l'énergie contenue dans l'aliment consommé par l'animal, et plus précisément par l'énergie métabolisable ingérée, qui représente l'énergie utilisable pour faire vivre et

croître l'organisme (énergie métabolisable = énergie brute de l'aliment - énergie des fèces, de l'urine et des gaz de fermentation). Chez l'animal en croissance, l'énergie métabolisable ingérée (EM_i) sert à couvrir d'une part les dépenses d'entretien (EM_e), d'autre part les dépenses de croissance (EM_c) correspondant au coût de la fixation d'énergie sous forme de lipides et de protéines :

$$EM_i = EM_e + EM_c = EM_e + b_L \Delta L + b_P \Delta P$$

où b_L et b_P sont respectivement le coût énergétique de fixation de 1 g de lipides et de 1 g de protéines.

Les dépenses totales d'entretien pour un gain de poids donné sont fonction du nombre de jours nécessaires pour réaliser ce gain de poids et donc de la vitesse de croissance de l'animal. La dépense journalière d'entretien est classiquement exprimée par unité de poids métabolique ($W^{0,75}$). En fait, chez le porc en croissance, les études de Tess *et al* (1984) et Noblet *et al* (1991) montrent qu'il est plus approprié d'exprimer la dépense journalière d'entretien en fonction du poids vif à la puissance 0,60 : chez le porc en croissance (entre 15 et 110 kg) et dans les conditions de thermoneutralité, la dépense journalière d'entretien (en kJ) est de l'ordre de $980 \times W^{0,60}$ selon Noblet *et al* (1991). Par ailleurs, il a été suggéré que la dépense journalière d'entretien est influencée par le type génétique, avec des différences entre types génétiques pouvant atteindre 15 % de la valeur moyenne donnée ci-dessus (Noblet *et al* 1991). D'une façon générale, on considère que le porc en croissance consacre environ 40 % de l'énergie métabolisable ingérée à la couverture de ses besoins d'entretien (maintien des fonctions vitales et de l'homéostasie de l'organisme, activité physique, renouvellement des protéines tissulaires).

Concernant l'utilisation de l'énergie métabolisable pour le dépôt des constituants chimiques corporels, de nombreuses études ont porté sur l'estimation du coût énergétique de fixation des lipides (b_L) et des protéines (b_P) ou sur l'estimation du rendement de l'utilisation de l'énergie métabolisable pour la fixation de lipides (k_L) et pour la fixation de protéines (k_P). Les données de la littérature sont assez variables sur ces deux points mais il est établi que le rendement énergétique de la fixation de lipides est sensiblement plus élevé que le rendement énergétique de la fixation de protéines : Noblet *et al* (1991) rapportent les valeurs $k_L = 0,80$ et $k_P = 0,60$ et notent que ces valeurs ne diffèrent pas selon le type génétique de l'animal. Comme $b_L = E_i/k_L$, on en déduit que $b_L = 50$ kJ et, de même, que $b_P = 40$ kJ.

Si l'on passe des dépôts lipidiques et protéiques aux dépôts tissulaires (gras et muscle), il faut tenir compte du fait qu'avec chaque gramme de protéines sont fixés environ 3,4 grammes d'eau dans le muscle. Avec des teneurs en eau, protéines et lipides prises égales à 75, 22 et 3 % dans le muscle et à 13, 7 et 80 % dans le gras, les coûts énergétiques de fixation sont :

$40 \times 0,22 + 50 \times 0,03 = 10,3$ kJ d'énergie métabolisable pour 1 g de muscle,

$40 \times 0,07 + 50 \times 0,80 = 42,8$ kJ d'énergie métabolisable pour 1 g de gras.

Le coût énergétique de l'accroissement des dépôts adipeux est à peu près 4 fois supérieur à celui de la masse musculaire.

Le rendement de la transformation de l'aliment consommé en gain de poids (efficacité alimentaire) dépend donc à la fois de la vitesse de croissance (corrélation phénotypique de l'ordre de 0,7) et de la composition tissulaire du gain de poids (la corrélation phénotypique entre efficacité alimentaire et taux de muscle est de l'ordre de 0,4).

La consommation individuelle d'aliment et donc l'indice de consommation (aliment consommé/gain de poids) sont des caractères difficiles et coûteux à mesurer. Si l'on dispose d'une mesure précise de la teneur en muscle de la carcasse chez l'animal vivant, il est possible d'estimer le dépôt journalier de muscle à partir du gain moyen quotidien pendant le contrôle et de la teneur en muscle à la fin de la période de contrôle (compte tenu de la quasi constance du rapport poids de muscle dans la carcasse/poids vif au cours de la croissance). La connaissance de la croissance musculaire fournit une excellente indication sur l'efficacité alimentaire : chez le porc, la corrélation phénotypique entre les deux caractères est de l'ordre de 0,85 (Fowler *et al* 1976).

2.4 / Développement tissulaire

a / Tissu musculaire

Le muscle squelettique est essentiellement constitué de cellules allongées et plurinucléées, les fibres musculaires, organisées en faisceaux entourés par une gaine de tissu conjonctif riche en collagène. Les fibres musculaires diffèrent par leurs caractéristiques fonctionnelles (activité contractile) et métaboliques (métabolisme énergétique). La combinaison de ces deux critères de classification conduit à distinguer trois types de fibres musculaires dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 3.

La croissance du tissu musculaire résulte à la fois de l'accroissement du nombre de fibres musculaires et de l'accroissement de la taille de ces fibres (longueur et diamètre). La contribution relative des deux phénomènes varie selon le stade de croissance : augmentation du nombre de fibres pendant la vie foetale (avec une synthèse protéique très intense) et augmentation de la taille des fibres après la naissance (tableau 4). On retrouve ici le fait généralement admis que le nombre total de fibres musculaires est fixé à la naissance.

Sur le plan de la différenciation des fibres musculaires, il a été montré chez le porc (tableau 5) qu'à la naissance, toutes les fibres musculaires sont encore de type oxydatif (essentiellement αR). Le pourcentage de fibres lentes oxydatives (βR) augmente un peu après la naissance puis reste constant. Parmi les fibres rapides (α), on observe une évolution prononcée du caractère "rouge" (αR) vers le caractère "blanc" (αW).

La sélection en faveur de la croissance musculaire tend à accroître le pourcentage de fibres de type blanc rapide (αW), mais de façon relativement limitée si l'on en croit les chiffres du tableau 6.

b / Tissu adipeux

Le tissu adipeux est constitué de cellules spécialisées, les adipocytes, enfermées dans une trame de tissu conjonctif.

Terminologies	Type I rouge lent βR (β-red) SO ("slow oxydative")	Type IIa rouge rapide αR (α-red) FOG ("fast oxydo- glycolytic")	Type IIb blanc rapide αW (α-white) FG ("fast glycolytic")
Métabolisme énergétique - voie oxydative ⁽¹⁾ - voie glycolytique ⁽²⁾	+++ +	++ ++	+ +++
Vitesse de contraction (selon nature de la myosine)	+	+++	+++
Vascularisation	+++	++	+
Richesse en mitochondries	+++	+++	+
Teneur en myoglobine	+++	+++	+
Teneur en glycogène	+	+++	+++
Teneur en lipides	+++	++	+
Diamètre	+	+	+++

Tableau 3.
Principales caractéristiques biologiques des différents types de fibres musculaires (d'après Lefaucheur 1989 et Robelin 1990).

- (1) Voie aérobie, lente mais prolongée, au niveau des mitochondries → beaucoup d'énergie divers substrats → CO₂, H₂O → 34 molécules d'ATP par unité glucose dégradée.
(glycogène, glucose, acides gras,...) (cycle de Krebs, chaîne respiratoire)
- (2) Voie anaérobie, très rapide mais de courte durée, dans le sarcoplasme → peu d'énergie glycogène → acide lactique → 3 molécules d'ATP par unité glucose dégradée.
(glycogénolyse, glycolyse)

Stade de développement	Poids total (g)	Poids de protéines (g)	Nombre de fibres (en milliers)	Diamètre des fibres (μ)
80 ^{ème} jour de gestation	0,2	0,01	36	15
Naissance	100 (x500)*	20 (x2000)	1 200 (x30)	20 (x1,3)
Age adulte	3 000 (x30)	600 (x30)	1 200 (x1)	80 (x4)

Tableau 4.
Description de la croissance du muscle Demi-tendineux chez les bovins (selon Robelin 1990).

* taux d'accroissement par rapport au stade précédent.

Tableau 5. Evolution postnatale des proportions des différents types de fibres dans le muscle Long dorsal du porc (selon Lefaucheur 1989).

Type de fibres musculaires	Poids vif (kg)				
	2	10	25	60	100
βR (%)	5	8	10	10	10
αR (%)	95	67	45	25	15
αW (%)	0	25	45	65	75

Espèce, type génétique	Type de fibres musculaires			
	βR ("rouge")	αR ("intermédiaire")	αW ("blanche")	
Lapin (Ouhayoun 1989)	lapin de garenne	8	19	73
	Néo-zélandais blanc	9	15	76
	Géant des Flandres	7	14	79
Mouton (Vigneron <i>et al</i> non publié)	Lacaune x Romanov	7	69	24
	et Charmoise x Romanov			
Porc (Seideman <i>et al</i> 1989)	lignée grasse (*)	12	14	74
	lignée maigre (*)	10	13	77

Tableau 6.
Variations des pourcentages des différents types de fibres musculaires dans le muscle Long dorsal en fonction de l'espèce et du type génétique.

(*) lignées sélectionnées à partir d'une fondation commune (Duroc-Yorkshire) et différant nettement pour l'épaisseur de lard dorsal (7 contre 3 cm) et pour la surface du muscle Long dorsal (17 contre 29 cm²)

Chez le bovin (Robelin et Casteilla 1990), l'accroissement du poids total des lipides contenus dans les dépôts adipeux ($\times 140$ entre la naissance et l'âge adulte) est dû essentiellement à l'accumulation de triglycérides (lipides de réserve) dans la vacuole lipidique des adipocytes et à l'accroissement du volume de ces derniers ($\times 25$) et, à un degré moindre, à l'augmentation du nombre d'adipocytes ($\times 6$). La part prépondérante de l'hypertrophie cellulaire dans la croissance du tissu gras fait que l'état d'engraissement est étroitement lié à la taille des adipocytes, d'où l'idée d'utiliser cette liaison pour estimer *in vivo* l'état d'engraissement des bovins à partir de la mesure du diamètre des adipocytes d'un échantillon de gras sous-cutané prélevé par biopsie. Chez le porc (Henry 1977), la croissance du tissu adipeux est, jusqu'à l'âge de deux mois, essentiellement de type hyperplasique et, au delà de l'âge de 5 mois, essentiellement de type hypertrophique. Une particularité du porc est la grande importance relative des dépôts gras sous-cutanés par rapport au gras total de la carcasse (plus de 70% contre 35-40% chez les ovins et à peine 15% chez les bovins, au stade 40% du poids adulte) : le site privilégié de dépôt du gras sous-cutané étant le dos de l'animal, la mesure de l'épaisseur de la couche de gras dorsal (bardière) est un bon indicateur de la masse adipeuse totale (corrélation de l'ordre de 0,7 - 0,8) et est largement utilisée en sélection porcine, d'autant que cette mesure est facilement réalisable *in vivo* à l'aide des techniques d'échographie par ultrasons.

La composition en acides gras des triglycérides des dépôts adipeux évolue au cours de la croissance, le degré d'insaturation des graisses tendant à diminuer avec l'âge. Par ailleurs, chez le porc, la liaison génétique négative entre la teneur en gras de la carcasse et le rapport acides gras polyinsaturés/acides gras saturés des lipides de la bardière est clairement établie (Bout *et al* 1990) : la sélection contre l'adiposité conduit donc à des gras de dépôt plus insaturés (et aussi plus riches en eau et moins riches en lipides), donc à des gras moins fermes et plus oxydables (risque de rancissement). La liaison entre épaisseur du gras de couverture et fermeté du gras semble moins nette chez l'agneau.

Chez les animaux producteurs de viande, le gras est pour l'essentiel un tissu indésirable. Une catégorie de lipides corporels, dont le dépôt intervient tardivement, présente cependant un intérêt : ce sont les lipides intramusculaires, contenus pour une grande part dans de petits amas d'adipocytes situés entre les fibres musculaires et constituant le persillé de la viande. L'augmentation du taux de lipides intramusculaires contribue à l'amélioration de certaines qualités sensorielles de la viande.

2.5 / Qualités de la viande et du gras

a / Qualité de la viande

Sous le terme général de qualité de la viande, on regroupe un ensemble de caractéristiques très diverses et dont le déterminisme est souvent complexe, voire controversé. On distingue classiquement quatre catégories de qualités :

- . les qualités hygiéniques (ou bactériologiques),
- . les qualités diététiques,
- . les qualités sensorielles (ou organoleptiques),
- . les qualités technologiques.

Nous traiterons seulement ici des qualités sensorielles et technologiques et nous avons tenté de résumer la situation en matière de composantes de ces qualités et des problèmes posés dans le tableau 7, qui appelle les commentaires suivants :

- les qualités technologiques et sensorielles sont, sur bien des points, liées entre elles, dans la mesure où elles sont influencées par des caractères communs (pH et pouvoir de rétention d'eau notamment) ;

- les qualités sensorielles ont une importance prédominante dans le cas des viandes de boeuf et de mouton qui sont consommées en l'état. Pour la viande de boeuf, la couleur de la viande et l'importance du gras visible (inter- et intra-musculaire) ont une influence significative sur le comportement d'achat du consommateur, mais le principal facteur d'acceptabilité est la tendreté ;

- dans le cas de la viande de porc, qui est en France consommée pour les 2/3 sous forme de produits transformés, les qualités technologiques sont particulièrement importantes à considérer. Cependant, les produits de charcuterie sont très divers (produits cuits ou produits secs, produits entiers ou produits divisés) et les qualités requises de la matière première ne sont pas forcément les mêmes pour les différents processus de fabrication. Ainsi, les viandes à pH ultime trop bas ne conviennent pas pour la fabrication du jambon cuit (faible rendement technologique) alors que les viandes à pH ultime trop élevé ne conviennent pas pour la fabrication du jambon sec (médiocre aptitude à la conservation et mauvaise pénétration du sel).

b / Qualité du gras

Certains problèmes de qualité technologique des gras commencent à se faire jour, notamment chez le porc et chez le mouton. Le problème principal, déjà évoqué, concerne la consistance du tissu adipeux, avec l'apparition de gras mous et huileux. Les facteurs génétiques peuvent jouer un rôle (réponse corrélative à la réduction de l'adiposité des carcasses) mais ce sont surtout des facteurs alimentaires qui sont en cause (comme dans le cas des anomalies de couleur et de flaveur du gras). Ajoutons que, sur le plan diététique, l'augmentation du degré d'insaturation des acides gras constitutifs des lipides (notamment du rapport polyinsaturés/saturés) est généralement considérée comme bénéfique.

3 / Objectifs et critères de sélection

3.1 / Espèce bovine

Lorsqu'on analyse les objectifs d'amélioration des aptitudes bouchères aussi bien pour l'engraisseur que pour l'abatteur, on constate que la principale composante à prendre en compte est la croissance musculaire. Son amélioration accroît le revenu de l'engraisseur grâce à une vitesse de croissance plus élevée, une meilleure efficacité alimentaire et surtout un poids à l'abattage plus élevé pour le même état d'engraissement. Pour l'abatteur, l'amélioration de la croissance musculaire permet non seulement un poids de carcasse plus élevé mais surtout une moindre perte liée au gras de découpe. La conformation musculaire représente également un objectif non

Tableau 7. Composantes de la qualité de la viande (d'après Monin 1988, Sellier 1988 et Monin 1990).

Composantes de la qualité et principaux facteurs explicatifs	Principaux défauts de qualité rencontrés
<p>Qualités technologiques : aptitude à la conservation et aptitude à la transformation</p> <p>* Mode d'évolution post mortem du pH</p> <ul style="list-style-type: none"> - pH ultime de la viande (pH_u) : il mesure l'amplitude de la chute de pH, liée surtout à la teneur en glycogène du muscle au moment de l'abattage (potentiel glycolytique). - pH à 45-60 minutes post mortem (pH_1) : il traduit la vitesse de chute du pH, d'autant plus rapide que l'activité ATPasique myofibrillaire est plus forte. <p>* Pouvoir de rétention d'eau (PRE)</p> <ul style="list-style-type: none"> - aptitude de la viande à retenir l'eau qu'elle contient, lors de la conservation à l'état frais et/ou lors de la cuisson, voire à absorber de l'eau dans certains procédés de transformation (cas des produits saumurés et cuits). - le PRE est lié positivement au pH_1 (altérations profondes des protéines musculaires dues à un pH_1 bas alors que la température du muscle est encore élevée) et au pH_u (en liaison avec les effets de ce dernier sur la configuration du réseau myofibrillaire et ses propriétés stériques vis-à-vis de l'eau). <p>Qualités sensorielles</p> <p>* Aspect de la viande (perceptible au moment de l'achat par le consommateur).</p> <ul style="list-style-type: none"> - intensité de la couleur : elle dépend du taux de pigment (myoglobine), de la forme chimique de la myoglobine et du pH de la viande (couleur plus foncée si pH plus élevé). - homogénéité de la couleur (cf. problème des viandes "bicolores"). - importance du gras visible (persillé et marbré). - aspect exsudatif (cf. exsudat visible dans le cas de la vente en barquettes). <p>* Texture de la viande</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tendreté, qui dépend : <ul style="list-style-type: none"> • de la quantité et des caractéristiques qualitatives du tissu conjonctif (collagène) • du taux de lipides intramusculaires (liaison positive avec la tendreté) • du degré de maturation (maturation : altération de la structure myofibrillaire par des enzymes protéolytiques, influencée par le type contractile des fibres musculaires). - Jutosité, qui dépend : <ul style="list-style-type: none"> • du pouvoir de rétention d'eau (libération d'eau en début de mastication) • du taux de lipides intramusculaires (stimulation de la salivation par les lipides). <p>* Flaveur de la viande (notion regroupant les sensations olfactives et gustatives), qui dépend : <ul style="list-style-type: none"> • du taux et sans doute de la composition en acides gras des lipides intramusculaires (notamment les phospholipides). • du type métabolique des fibres musculaires (flaveur plus intense du muscle "rouge"). </p>	<p>* Chez le porc</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viande PSE ("pale, soft, exudative"), associée à une chute très rapide du pH post mortem ($pH_u < 6$) et à déterminisme monogénique (gène récessif de la sensibilité à l'halothane). → très mauvais pouvoir de rétention d'eau, d'où perte d'exsudat importante de la viande fraîche et, dans une moindre mesure, rendement technologique abaissé lors de la fabrication du jambon cuit. - Viande "acide", associée à une amplitude anormalement forte de la chute de pH ($pH_u < 5,5$) et à déterminisme monogénique (gène RN, dominant). → forte perte de poids à la cuisson (mauvais rendement technologique de la fabrication du jambon cuit) et, dans une moindre mesure, augmentation de la perte d'exsudat de la viande fraîche. - Viande DFD ("dark, firm, dry") à pH élevé ($pH_u > 6,2$). → mauvaise aptitude à la conservation de la viande fraîche et des salaisons sèches (par exemple, risque de putréfaction dans le jambon sec). <p>* Chez le bovin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viande à pH élevé ($pH_u > 6$). → mauvaise aptitude à la conservation. - Viande PSE chez le porc (cf. ci-dessus) : couleur très pâle, très forte perte d'exsudat, "bicolore". - Viande "acide" chez le porc (cf. ci-dessus) : couleur pâle et forte perte d'exsudat. - Viande à coupe sombre chez le bœuf (cf. ci-dessus viande à pH élevé) : ce défaut est surtout lié à un stress excessif avant abattage (épuisement du glycogène musculaire) et affecte principalement les taurillons. - Viande dure. <ul style="list-style-type: none"> • Chez le porc, cela concerne surtout les viandes PSE (dont la maturation est très incomplète) et les viandes à très faible taux de lipides intramusculaires. • Chez le bœuf, c'est surtout le tissu conjonctif qui est impliqué (le taux de collagène détermine la "tendreté de base" de la viande, celle qui n'est pas affectée par la maturation). • Cas particulier du bovin culard : viande pâle et jugée souvent peu savoureuse (car trop "maigre" ?) mais par contre très tendre. • Problème spécifique du mâle entier pubère chez le porc : risque d'odeur sexuelle de la viande, due à l'androsténone ; l'androsténone est un stéroïde synthétisé dans le testicule et stocké dans les glandes salivaires (rôle de phéromone sexuelle) et dans le tissu adipeux. (Un autre composé malodorant, le scatol, est aussi impliqué dans le défaut d'odeur sexuelle de la viande de porc).

négligeable pour l'abatteur car elle permet une meilleure valorisation de la carcasse ("extension de découpe"). A l'heure actuelle, il n'existe pas de sanctions économiques sur les qualités de la viande bovine, hormis le problème des viandes à coupe sombre qui est essentiellement lié à la conduite des opérations d'abattage.

a / Les systèmes de production

Lorsqu'on parle des objectifs et critères de sélection pour améliorer les aptitudes bouchères des bovins élevés en France, il faut tout d'abord rappeler la diversité des types de production et la structure du cheptel bovin constitué par 62% de vaches laitières et 38% de vaches allaitantes, ce qui place notre pays dans une situation très particulière comparativement aux autres pays européens, où prédomine le cheptel laitier, et aux pays d'Amérique du Nord, où prédomine le cheptel allaitant.

Tout d'abord, environ 15% des veaux nés en France sont exportés afin d'être engraisés à l'étranger. Ce phénomène, qui touche relativement peu les veaux laitiers (1 veau sur 12), est nettement plus marqué dans les races allaitantes (1 veau sur 4) où la valeur bouchère des animaux est beaucoup plus élevée.

Sur les veaux mis en engraissement, environ la moitié fait l'objet d'une production en veau de boucherie, avec un poids moyen de carcasse de 118 kg. L'autre moitié est engraisée pour produire de la viande rouge : du taurillon, du boeuf ou de la génisse de boucherie dont les poids moyens de carcasse s'élèvent respectivement à 374, 386 et 322 kg. La majorité des veaux de boucherie proviennent du cheptel laitier et leur production se réalise de plus en plus dans le cadre de l'intégration, de même que la production de taurillons à partir de ce même cheptel. Par contre, la production de veaux de boucherie sous la mère à partir du cheptel allaitant ainsi que la production de boeufs et de génisses de boucherie restent très artisanales. Enfin, s'il existe une nette tendance à l'organisation des ateliers d'engraisement des taurillons du cheptel allaitant, il existe encore des systèmes naisseurs-engraisés dans les régions où il est possible de produire de l'ensilage de maïs.

Enfin, il faut noter que, du fait de la faible productivité numérique de cette espèce, les vaches de réforme avec un poids moyen de carcasse de 304 kg fournissent près de 42% de la viande de gros bovins. En général, ces vaches de réforme sont envoyées en l'état à l'abattoir ou sont engraisées par l'éleveur lui-même.

b / Aptitudes bouchères des animaux de races laitières

Dans les races laitières, où l'essentiel du progrès génétique est créé et diffusé par les taureaux d'insémination artificielle (IA), il faut distinguer le cas de la race Prim'Holstein et le cas des races Normande et Montbéliarde. Dans la première, l'évolution du niveau génétique des animaux pour les aptitudes bouchères dépend des corrélations génétiques entre ces aptitudes et les caractères laitiers (pratiquement nulles pour la croissance et plutôt négatives pour la musculation) puisque les taureaux d'IA ne sont pas évalués sur leurs aptitudes bouchères. Dans les races Normande et Montbéliarde, les taureaux sont évalués

en station de contrôle individuel et font l'objet d'une première étape de sélection sur l'efficacité alimentaire et la conformation musculaire. En race Normande, une contrainte est appliquée sur la hauteur au garrot pour éviter de retenir des taureaux de format trop réduit.

c / Aptitudes bouchères des animaux croisés

Une proportion non négligeable des vaches laitières (15 à 30% selon les races) sont inséminées en croisement terminal avec des races à viande spécialisées (Charolaise, Limousine ou Blonde d'Aquitaine). Dans ce cas, la valeur du produit va dépendre en grande partie du choix des taureaux de croisement et donc de l'efficacité du programme de sélection de ces taureaux dont l'objectif est de corriger au maximum les défauts des races laitières, à savoir leur manque de conformation musculaire et leur engraissement trop précoce. Toutefois, il est nécessaire d'ajouter, comme objectif complémentaire, une faible fréquence de naissance difficile des veaux croisés. Les critères et méthodes de sélection de ces taureaux de croisement sont décrits dans le tableau 8.

d / Aptitudes bouchères des animaux de races allaitantes

Dans les races allaitantes, le problème est plus complexe puisque tout taureau utilisé en race pure va donner naissance à autant de veaux mâles destinés à l'engraisement que de veaux femelles qui doivent assurer le renouvellement du cheptel de mères. Il est donc souhaitable de sélectionner conjointement les qualités maternelles et les aptitudes bouchères. Or, le seul critère qui soit relié aux qualités maternelles et qui soit mesurable en même temps que les critères bouchers est le développement squelettique. On sait en effet que les vaches ayant une conformation musculaire trop prononcée ont plus de problèmes que les autres, surtout du fait de difficultés de vêlage plus sévères et plus fréquentes. Ainsi, ce critère de développement squelettique est souvent mêlé aux critères strictement bouchers.

Dans les races allaitantes, l'utilisation de l'IA est réduite et seulement 10 à 12% des femelles sont soumises au contrôle de performances. Le travail de sélection qui peut être fait dans ces élevages soumis au contrôle de performances se limite à des critères très précoces de croissance et de morphologie jusqu'au sevrage, dont les liaisons avec les aptitudes bouchères en engraissement ou à l'abattage sont plutôt faibles. Il est donc nécessaire de passer par le contrôle en station des veaux mâles candidats à la reproduction pour pouvoir mesurer des caractères plus précis.

Il existe deux protocoles de contrôle individuel des taureaux de races allaitantes : un protocole allégé pour les taureaux destinés à la monte naturelle et un protocole plus complet pour les taureaux d'IA (cf. tableau 8). L'utilité de ce contrôle individuel, qui est cependant indispensable, est limitée par deux problèmes :

- actuellement, il n'existe pas de méthode simple, peu onéreuse et précise pour l'estimation in vivo de la composition corporelle des bovins dans les stations de contrôle individuel;

Tableau 8.
Critères de sélection des aptitudes bouchères des bovins en France.

Taureaux	Méthode d'évaluation	Critères d'évaluation ⁽¹⁾	Pondération dans l'objectif	
de monte naturelle	Contrôle individuel en station (9-14 mois) : - 1 mois d'adaptation - 4 mois de contrôle (fourrages ad libitum, concentrés limités)	PAT final Dévelop. musculaire Dévelop. squelettique Poids naissance	100% 80% 100% 50%	} ⁽²⁾
	Contrôle de descendance en ferme : - performances au sevrage	Poids à 210 j Dévelop. musculaire Dévelop. squelettique Poids naissance	100% 80% 100% 50%	
d'insémination artificielle	Contrôle individuel en station (9-16 mois) : - 2 mois d'adaptation - 1 mois en ad libitum - 3,5 mois de contrôle (fourrages limités, concentré "semi ad libitum")	PAT final Efficacité alimentaire Dévelop. musculaire Dévelop. squelettique	croisement	race pure
			100% 100% 100% ⁽³⁾	100% 100% 60% 60%
	Contrôle de descendance en ferme : - sur au moins 100 veaux mâles et femelles à la naissance	Facilité de vêlage (poids naissance)		⁽³⁾
	Contrôle de descendance en station : - sur au moins 22 veaux mâles - ration complète ad libitum - abattage à poids ou âge constant	PAT final Dévelop. musculaire Dévelop. squelettique PAT carcasse Conformation carcasse Etat d'engraissement	⁽³⁾ ⁽³⁾ ⁽³⁾ 100% 100% ⁽³⁾	

(1) PAT : poids à âge type.

(2) Objectif principal : PAT final et développement squelettique (avec même espérance de progrès génétique en unité d'écart type phénotypique pour les deux caractères).

Objectif secondaire (contraintes) : obtenir "seulement" 80% et 50% de la réponse corrélative espérée respectivement pour le développement musculaire et le poids à la naissance.

(3) La valeur génétique du taureau pour ce caractère est calculée et publiée, mais elle n'entre pas dans le calcul de la valeur génétique globale.

- la précision de l'évaluation sur performance individuelle est relativement faible, d'autant plus que l'âge tardif du début des contrôles peut occasionner des biais liés aux effets rémanents du milieu d'origine et aux phénomènes de croissance compensatrice.

Or pour les taureaux d'IA qui peuvent avoir individuellement un impact non négligeable sur la production, il est indispensable de connaître plus précisément leur valeur génétique (près de la moitié des 1,7 million d'inséminations effectuées avec des taureaux de races à viande sont réalisées avec moins de 60 taureaux qui font chacune entre 8 000 et 30 000 IA par an). Tout taureau d'IA est donc testé sur descendance avec l'engraissement et l'abattage d'une vingtaine de veaux mâles (cf. tableau 8). Comme pour les taureaux destinés au croisement terminal, les taureaux utilisés en race pure sont également évalués et sélectionnés pour réduire la fréquence des difficultés de vêlage.

3.2 / Espèce ovine

a / Définition des objectifs de sélection

Les objectifs de la sélection sur les aptitudes bouchères dans les races spécialisées sont la conséquence des évolutions des conditions de marché et de produc-

tion qui ont commencé à se manifester dès les années 1960. Une augmentation générale des poids de carcasse, assortie par ailleurs d'une harmonisation inter-régionale, et une intensification des régimes alimentaires des agneaux se sont traduites par un accroissement de l'état d'engraissement des carcasses en contradiction avec l'évolution du goût des consommateurs. Cette incompatibilité se manifeste dans le système de paiement, avec une pénalisation de 7 F/kg de carcasse - pour un prix moyen oscillant entre 20 et 25 F - entre les notes 3 et 4 d'état d'engraissement dans la grille nationale de classification. La réduction des dépôts adipeux, notamment du gras de couverture, constitue donc l'objectif de sélection prioritaire.

L'obtention de vitesses de croissance élevées a toujours été recherchée, mais l'intérêt de ce caractère dont on a vu l'effet sur la réduction des coûts de production, augmente parallèlement à la diminution persistante des cours de la viande d'agneau : à partir d'une base 100 en 1980, l'indice général des prix est de 185 en 1990 et la viande de mouton se situe à 110 environ ; on assiste même à une diminution en francs courants depuis 1984. La nécessité d'une réduction des coûts de production, déjà prise en compte avec la réduction de l'état d'engraissement, place donc la vitesse de croissance au second rang des objectifs de sélection.

La conformation, autrefois qualité prioritaire des races bouchères spécialisées en vue de la production de carcasses compactes, a vu diminuer son importance commerciale en même temps que son acception : le prix de la carcasse diminue "seulement" de 2 F/kg entre les notes 3 et 4 de conformation dans la grille nationale de classification. Le critère essentiel pris en compte dans cette note de conformation est par ailleurs l'épaisseur des masses musculaires et non plus la compacité de la carcasse. La sélection sur la conformation apparaît donc secondaire actuellement, bien que son impact sur le rendement de carcasse soit très sensible. Cela provient du fait que la viande de mouton est normalement commercialisée, y compris dans le système de vente en barquette après découpe, sous forme de morceaux de carcasse associant os et muscles après un éventuel parage du gras.

La qualité de la viande proprement dite n'est pas prise en compte actuellement, alors que d'autres éléments tels que la couleur de la viande, la couleur et la tenue du gras, semblent être pris en compte par les opérateurs commerciaux, en l'absence cependant de système de référence défini.

b / Critères et méthodes de sélection

A partir d'une situation ancienne caractérisée par des races spécialisées de format moyen à petit, sélectionnées intra-troupeau sur la compacité et la croissance, une évolution s'est dessinée pour aboutir à un développement de races de format en moyenne plus important, susceptibles de produire des agneaux lourds et maigres à forte croissance. Par ailleurs, la prise en compte des caractères de composition tissulaire, ainsi que les exigences croissantes des groupements de production et de commercialisation en matière d'achat de béliers améliorateurs pour les qualités bouchères, se sont traduites à la fin des années 1970 par le besoin d'organisations collectives de sélection.

Sur la base des paramètres de la variabilité génétique évalués conjointement par l'INRA et la profession dans les nouvelles conditions de production de l'agneau de boucherie, on voit se développer actuellement des schémas de sélection articulés autour de la station de testage sur descendance Berrytest. Cette structure multiraciale est issue de la volonté commune des unités de sélection représentant les princi-

pales races spécialisées, pourtant concurrentes sur le plan commercial, de se doter d'un outil performant d'évaluation génétique des qualités bouchères. On constate, mis à part le cas du Berrichon-du-Cher, que ces races ont opté pour des plans de sélection "mixtes" accordant une importance à peu près égale aux caractères maternels (prolificité ou/et valeur laitière, déjà en cours de sélection) et aux caractères bouchers.

La mise en place de tels schémas s'est faite selon un rythme propre à chaque structure et leur degré d'achèvement est donc variable selon les races. La plupart de ces schémas sont encore "jeunes" par rapport aux intervalles de génération parfois très longs - de l'ordre de 5 ans - imposés par le testage sur descendance des aptitudes maternelles. On peut décrire un schéma-type (tableau 9) vers lequel semblent converger les adhérents de Berrytest :

* reconnaissance en élevage avant le départ en boucherie des agneaux mâles susceptibles de devenir reproducteurs. Ces agneaux, choisis en fonction de leur vitesse de croissance entre 30 et 70 jours, sont théoriquement issus d'accouplements raisonnés entre pères à béliers et mères à béliers de la base de sélection. Les mères à béliers sont qualifiées selon les grilles de l'UPRA sur la base de leur index prolificité-valeur laitière en ferme.

* entrée en station de contrôle individuel des jeunes mâles "reconnus" pour être comparés sur leur performance propre de croissance en alimentation ad libitum, leur état d'engraissement et le développement musculaire évalués par maniement. Sur la base d'un calcul d'index et des pondérations affectées par l'unité de sélection à chacun des 3 groupes de caractères bouchers, les meilleurs mâles sont qualifiés "recommandés". La majorité d'entre eux sont destinés à retourner dans les élevages de la base de sélection pour assurer en monte naturelle les luttes de renouvellement. Ces pères à filles cumulent donc les effets d'une sélection sur ascendance pour les caractères maternels et bouchers suivie d'une sélection individuelle pour les caractères bouchers.

* entrée en centre d'insémination artificielle des meilleurs mâles "recommandés" pour être mis en testage sur descendance et devenir éventuellement pères à béliers :

- mise en testage à Berrytest par groupes de 10 pour l'évaluation sur les aptitudes bouchères.

- mise en testage dans les élevages de sélection pour l'évaluation sur les aptitudes maternelles.

* les meilleurs béliers à l'issue du testage sont déclarés "améliorateurs" pour l'un ou l'autre des deux groupes de caractères. Seuls les béliers "améliorateurs" pour les deux groupes de caractères sont qualifiés "élites" selon les objectifs de l'UPRA. Ils sont alors utilisés en insémination artificielle comme pères à béliers pour réaliser les accouplements raisonnés.

L'efficacité de ce dispositif pour l'amélioration des caractères bouchers réside dans la succession des deux étapes de contrôle individuel et de testage sur descendance :

- la première étape permet de réaliser une forte pression de sélection (10 % de retenus environ) et de réaliser rapidement un progrès génétique important sur le groupe des béliers retenus pour le testage, mal-

Tableau 9. Critères de sélection des aptitudes bouchères des ovins en France.

Méthode et site d'évaluation	Critères d'évaluation	Pondération
Ferme (agneaux issus d'accouplements raisonnés)	Croissance 30-70 jours	-
Station de contrôle individuel - entrée : 60-80 jours - adaptation : 14 jours - contrôle : 56 jours - concentré "ad libitum"	Poids à âge type	25%
	Gain moyen quotidien	25%
	Développement musculaire	25%
	Etat d'engraissement	25%
Station de testage sur descendance Berrytest - séries de 10 mâles par race - 30 descendants par père - abattage à poids fixés	Gain moyen quotidien	Gras prioritaire, mais béliers examinés individuellement pour chaque groupe de caractères
	Rendement de carcasse	
	Développement musculaire	
	Etat d'engraissement	

gré l'imprécision de la connaissance de leur valeur génétique (coefficient de détermination $CD = 0,30$). Cette phase de sélection individuelle doit par ailleurs être améliorée par l'évaluation du muscle et du gras par échographie aux ultra-sons.

- la seconde étape permet d'éliminer les individus détériorateurs que l'on sait avoir retenus à l'issue du contrôle individuel en raison de l'imprécision des index. Des simulations ont montré que le testage sur descendance (avec un taux de sélection voisin de 50%) et l'étape précédente du contrôle individuel contribuent de façon à peu près égale au progrès génétique réalisé par génération. Cette seconde étape a comme rôle spécifique de sécuriser le choix des quelques pères à béliers qualifiés annuellement par l'unité de sélection, grâce à l'obtention de précisions d'index plus élevées ($CD = 0,60-0,70$) à partir de mesures effectuées sur la véritable "cible", c'est-à-dire les carcasses des descendants.

Des schémas de sélection de ce type se mettent aussi en place dans une race jusqu'à présent non spécialisée pour la boucherie : en race Lacaune, deux unités de sélection différentes affichent comme objectif principal, pour l'une les aptitudes bouchères, pour l'autre les aptitudes maternelles. Enfin, dans d'autres races locales de moyen à grand format, ainsi que dans la race Charmoise de type boucher, la sélection des aptitudes bouchères se fait uniquement en station de contrôle individuel.

3.3 / Espèce porcine

La production "industrielle" de viande de porc est une activité économique très normalisée, notamment pour la phase d'engraissement (entre 25 et 100 kg) : élevage en confinement, alimentation concentrée, produit standardisé (le "porc charcutier" abattu à poids constant) et payé à l'éleveur sur des bases objectives (poids de la carcasse et grille de prix au kg prenant en compte le taux de muscle estimé avec précision par l'appareil "Fat O'Meater"). Dans ce contexte, l'objectif de la sélection peut être établi à partir

d'un modèle économique simple, permettant d'évaluer avec une précision satisfaisante l'importance relative des différents caractères. L'objectif global défini en France a en gros la signification d'une marge brute par porc mis à l'engrais. Le tableau 10 résume l'évolution de la situation française depuis 20 ans.

Depuis une trentaine d'années, la sélection du porc sur les caractères de croissance et de carcasse est basée sur des indices de sélection multicaractères (cf. l'article de Mallard), selon des modalités qui ont évolué dans le temps. Le tableau 11 présente succinctement cette évolution des critères de sélection en ce qui concerne :

- les caractères pris en compte dans les indices (mesurés soit sur les candidats à la sélection eux-mêmes, soit sur des apparentés),

- les méthodes de sélection utilisées : successivement contrôle de la descendance en station, contrôle individuel (en station et en ferme) après l'avènement des techniques d'estimation in vivo de la composition corporelle et très récemment contrôle combiné, prenant en compte à la fois les performances du candidat et celles d'un frère (ou soeur) de portée soumis à des mesures de carcasse.

Dans le domaine de la vitesse de croissance, de l'efficacité alimentaire et de la composition corporelle, les programmes de sélection basés sur le contrôle individuel ont montré leur efficacité, comme en témoignent les évolutions génétiques favorables estimées pour ces caractères (Ollivier *et al* 1991). Actuellement, le problème de la qualité de la viande prend plus d'importance et c'est surtout pour répondre à cette préoccupation que le passage du contrôle individuel au contrôle combiné est en train de se réaliser. L'utilisation d'indices de contrôle combiné adaptés (avec une contrainte sur le maintien de la qualité de la viande à son niveau actuel), accompagnée de la mise en œuvre d'actions de sélection spécifiques portant par exemple sur les gènes majeurs *Hal^s* (typage sanguin et bientôt marqueur moléculai-

Tableau 10. Evolution de l'objectif de sélection pour les caractères de croissance et de carcasse chez le porc en France ⁽¹⁾.

Caractère	Année		
	1970	1981	1990
Indice de consommation	-10 (100)	-21 (100)	-25 (100)
Gain moyen quotidien	6 (60)	9 (43)	13 (52)
Rendement de carcasse ⁽²⁾	(-)	(-)	15 (60)
Taux de muscle	10 (100)	13 (62)	38 (152)
Indice de qualité de la viande	0 (0)	10 (48)	10 (40)

⁽¹⁾ Pour chaque caractère, le 1er chiffre correspond à la pondération en francs accordée à un écart type du caractère dans la fonction "objectif de sélection". Le chiffre entre parenthèse exprime les pondérations en valeur relative (pour chacune des trois années, indice de consommation = base 100).

⁽²⁾ Ce caractère ne figure pas de façon explicite dans les fonctions "objectif de sélection" de 1970 et 1981.

re) et RN^- (mesure in vivo du potentiel glycolytique du muscle), devrait permettre de réaliser un compromis satisfaisant entre deux objectifs partiellement antagonistes sur le plan génétique :

- continuer à améliorer la vitesse de croissance du tissu maigre et l'efficacité alimentaire,
- produire un porc donnant une viande de bonne qualité technologique et sensorielle.

Tableau 11.
Récapitulatif
de l'évolution
des critères
de sélection
du porc en
France.

Méthode de sélection	Période	Système d'alimentation	Animaux mesurés	Caractères pris en compte ¹⁾			
				vitesse de croissance	efficacité alimentaire	composition corporelle	qualité de la viande
Contrôle de descendance des mâles en station publique	de 1953 au milieu des années 1980	rationnée puis ad libitum depuis 1970	9 (3x3) puis 8 (4x2) descendants	GMQ 25-100	IC 25-100	% J+L % B+P (au départ)	(IQV depuis 1981)
Contrôle individuel des mâles en station publique	de 1966 à aujourd'hui	"semi ad libitum"	candidat	GMQ 35-90	IC 35-90	ELD 90	(IQV inclus dans l'objectif de sélection depuis 1981) ⁽²⁾
Contrôle individuel des mâles et des femelles en ferme	de 1970 à aujourd'hui	ad libitum	candidat	AGE 100		ELD 100	⁽²⁾
Contrôle combiné des mâles en station publique	depuis 1990	ad libitum	candidat	GMQ 35-90	IC 35-90 ⁽³⁾	ELD 90	IQV ⁽⁴⁾
			1 collatéral	GMQ 35-100	IC 35-100 ⁽³⁾	RENDT TM (NDN)	
Contrôle combiné en ferme	en cours de mise en place (ITP)	ad libitum	candidat	AGE 100		ELD 100	pH _u
			1 collatéral	AGE 100		TM (FOM)	

- (1) GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation ; AGE : âge à poids type
ELD : épaisseur de lard dorsal mesurée in vivo aux ultra-sons
($R^2 = 0,58$ avec le taux de muscle disséqué ; écart type résiduel = 3,0)
% J+L : pourcentage de jambon + longe (morceaux nobles)
% B+P : pourcentage de bardière + panne (morceaux gras) ; RENDT : rendement de carcasse
TM (NDN) : taux de muscle de la carcasse, prédit par la nouvelle découpe normalisée
($R^2 = 0,93$; écart type résiduel = 1,2) ; TM (FOM) : taux de muscle de la carcasse, prédit à l'aide du "Fat O'Meater", l'appareil utilisé pour le classement commercial ($R^2 = 0,82$; écart type résiduel = 1,9)
IQV : indice de qualité de la viande, prédicteur à 3 variables (pH_u, couleur, PRE) du rendement technologique de la fabrication du jambon cuit ($R^2 = 0,50 - 0,55$)
- (2) Chez le Landrace Français, un programme de sélection complémentaire est appliqué pour y réduire la fréquence du gène récessif de la sensibilité à l'halothane (Ha^f) : utilisation du test à l'halothane à partir de 1981, utilisation du "typage sanguin" pour les marqueurs Phi et Pgd du gène Ha^f à partir de 1985. L'objectif est que les truies F, Large White x Landrace Français des troupeaux de production ne soient pas porteuses du gène Ha^f et que l'incidence du défaut PSE (et de la mortalité due au syndrome de stress) soit aussi faible que possible chez leurs descendants issus de pères qui sont le plus souvent porteurs du gène Ha^f à l'état homozygote (Piétrain) ou hétérozygote (Piétrain x Large White).
- (3) A partir de 1992, la consommation individuelle des animaux, élevés en loges collectives et nourris ad libitum, est mesurée à l'aide d'automates d'alimentation.
- (4) L'indice de contrôle combiné est défini de telle sorte que l'évolution génétique attendue de l'IQV soit nulle (indice avec contrainte).

Références bibliographiques

- Bouix J., Bibé B., Lefèvre C., Eychenne F., 1986. Variabilité génétique entre et intra-race de la croissance et des qualités de carcasses d'agneaux. 11^{èmes} Journées Rech. Ovine et Caprine, ITOVIC-SPEOC Paris, pp. 115-145.
- Bout J., Girard J.P., Sellier P., Runavot J.P., 1990. Paramètres génétiques de la composition chimique du gras de bardière et du muscle Long dorsal chez le porc. Journées Rech. Porcine en France, 22, 17-22.
- Delpech P., Lefaucheur L., 1986. La croissance. In : Le porc et son élevage (J.M. Perez, P. Mornet et A. Rérat, Éd.), Maloine, Paris, pp. 121-140.
- Fowler V.R., Bichard M., Pease A., 1976. Objectives in pig breeding. Anim. Prod., 23,365-387.
- Henry Y., 1977. Développement morphologique et métabolique du tissu adipeux chez le porc : influence de la sélection, de l'alimentation et du mode d'élevage. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., 17, 923-952.
- Lefaucheur L., 1989. Les différents types de fibres musculaires chez le porc. Conséquences sur la production de viande. INRA Prod. Anim., 2, 205-213.
- Monin G., 1988. Evolution post mortem du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. Journées Rech. Porcine en France, 20, 201-214.
- Monin G., 1990. Facteurs biologiques des qualités de la viande bovine. INRA Prod. Anim., 4, 151-160.
- Moughan P.J., Smith W.C., Stevens E.V.J., 1990. Allometric growth of chemical body components and several organs in the pig (20-90 kg liveweight). New Zeal. J. Agric. Res., 33, 77-84.
- Noblet J., Karege C., Dubois S., 1991. Influence of growth potential on energy requirements for maintenance in growing pigs. In : Energy Metabolism of Farm Animals (C. Wenk et M. Boessinger, Ed.), EAAP Publication No. 58, ETH, Zurich, pp. 107-110.
- Ollivier L., Lagant H., Gruand J., Molénat M., 1991. Progrès génétique des porcs Large White et Landrace Français de 1977 à 1987. Journées Rech. Porcine en France, 23, 389-394.
- Ouhayoun J., 1989. La composition corporelle du lapin. Facteurs de variation. INRA Prod. Anim., 2, 215-226.
- Parks J.R., 1982. A theory of feeding and growth in animals. Springer-Verlag, Berlin, 322 p.
- Prud'hon M., 1976. La croissance globale de l'agneau : ses caractéristiques et ses lois. In : 2^{èmes} Journées de la Recherche Ovine et Caprine, ITOVIC, Paris, pp. 6-26.
- Renand G., 1983. Analyse de la variabilité de la croissance et de ses composantes chez les bovins : conséquences pour l'amélioration génétique des aptitudes bouchères. Thèse de Docteur-Ingénieur, INA Paris-Grignon, 213 p.
- Robelin J., 1990. Différenciation, croissance et développement cellulaire du tissu musculaire. INRA Prod. Anim., 3, 253-263.
- Robelin J., Casteilla L., 1990. Différenciation, croissance et développement du tissu adipeux. INRA Prod. Anim., 3, 243-252.
- Robelin J., Thériez M., 1981. Fixation de protéines chez les ruminants : évolution en fonction du poids des animaux et variations selon la race, le sexe ou le niveau des apports alimentaires. Reprod. Nutr. Dévelop., 21, 335-353.
- Seideman S.C., Crouse J.D., Mersmann H.J., 1989. Carcass, muscle and meat characteristics of lean and obese pigs. J. Anim. Sci., 67, 2950-2955.
- Sellier P., 1988. Aspects génétiques des qualités technologiques et organoleptiques de la viande chez le porc. Journées Rech. Porcine en France, 20, 227-242.
- Shields R.G., Mahan D.C., Graham P.L., 1983. Changes in swine body composition from birth to 145 kg. J. Anim. Sci., 57, 43-54.
- Taylor St. S.C., 1980. Live-weight growth from embryo to adult in domesticated mammals. Anim. Prod., 31, 223-235.
- Tess M.W., Dickerson G.E., Nienaber J.A., Yen J.T., Ferrell C.L., 1984. Energy costs of protein and fat deposition in pigs fed ad libitum. J. Anim. Sci., 58, 111-122.
- Tess M.W., Dickerson G.E., Nienaber J.A., Ferrell C.L., 1986. Growth, development and body composition in three genetic stocks of swine. J. Anim. Sci., 62, 968-979.