

COMPARAISONS ENTRE LA RACE MIXTE NORMANDE, LES RACES SPÉCIALISÉES HOLSTEIN CANADIENNE ET CHAROLAISE ET LEURS CROISEMENTS

I. — PERFORMANCES DE CROISSANCE DES MÂLES ET DES FEMELLES

J. J. COLLEAU

avec la collaboration technique de Michèle BRIEND, M. DUPONT, D. TANGUY
A. MULLER*, E. DABURON*, P. NOEL*

*Station de Génétique quantitative et appliquée,
Centre national de Recherches zootechniques, I. N. R. A.,
78350 Jouy en Josas*

** Domaine du Pin-au-Haras,
61310 Exmes*

RÉSUMÉ

On a comparé les poids à âge-type d'animaux *Holstein-Canadiens*, *Normands*, *Charolais* et croisés *Holstein* × *Normands* et *Charolais* × *Normands* entre la naissance et l'abattage à 16 mois pour les 146 mâles, la naissance et 24 mois pour les 137 femelles.

On a toujours trouvé des différences significatives entre génotypes, cependant le classement de ceux-ci n'a pas toujours été stable, sans doute parce que le mode de conduite des animaux a varié avec l'âge et le sexe dans les conditions de l'expérience et parce que l'on a comparé des types d'animaux vraiment extrêmes (*Charolais*). En pratique, à 16 mois, on a trouvé que les taurillons *Charolais* étaient les plus lourds, suivis des *Holstein* × *Normands*, *Charolais* × *Normands*, *Holstein* et *Normands*, ces deux derniers génotypes étant très similaires. Sur les femelles à 24 mois les différences génotypiques étaient faibles excepté pour les femelles *Charolaises*, ce qui traduit probablement la mauvaise adaptation de cette race aux conditions expérimentales réservées aux femelles (allaitement artificiel de courte durée suivi d'une alimentation non intensive).

On a toujours trouvé des effets d'hétérosis significatifs sur les mâles *Holstein* × *Normands* (de 3 à 10 p. 100 suivant l'âge) et sur les femelles *Charolais* × *Normands* (de 7 à 15 p. 100 suivant l'âge). En revanche sur les femelles *Holstein* × *Normands* et les mâles *Charolais* × *Normands* les effets d'hétérosis étaient faibles et non significatifs.

INTRODUCTION

Les principales races bovines laitières de l'Europe de l'Ouest ont été développées dans une orientation essentiellement mixte, c'est-à-dire pour la production de lait et pour la production de viande à la fois. L'existence de souches de bovins spécialisés

soit pour la production de lait soit pour la production de viande, sélectionnées dans des contextes économiques particuliers amène à se demander si le système de la race mixte pure ne devrait pas être abandonné au profit de systèmes mettant en jeu le croisement et permettant une meilleure productivité globale du troupeau laitier (lait et viande).

Les systèmes de croisement possibles dans le cas des troupeaux de race mixte peuvent être plus ou moins complexes (ROBERTSON, 1971 ; ANONYME, 1972 ; VISSAC *et al.*, 1974) selon que les femelles croisées, en particulier les femelles issues de croisement avec une race à viande sont utilisées ou non comme reproductrices. Pour pouvoir juger de l'opportunité de certaines stratégies de croisement par comparaison à la race pure, il serait nécessaire en théorie de tester expérimentalement ces stratégies. Mais dans certains cas (croisement rotatif, constitution de nouvelles races issues d'un mélange d'anciennes races...), la durée de l'expérimentation peut être importante. Toutefois, si l'on néglige les phénomènes d'épistasie au niveau des races et les phénomènes d'effet maternel pour ne considérer que les effets génétiques additifs et de dominance, il est possible d'estimer la valeur de tous les systèmes de croisement si l'on connaît expérimentalement la production des races pures et de toutes les F_1 obtenues en les croisant deux à deux (DICKERSON, 1969, 1972). Cette manière de procéder est sans doute satisfaisante dans les situations où la mère est traitée et le veau allaité artificiellement car l'effet maternel a tendance à être faible (effet maternel utérin seulement). Dans le cas des troupeaux allaitants, il est nécessaire d'effectuer les comparaisons au moins jusqu'au niveau de la 2^e génération de croisement.

C'est sur ces bases théoriques et pour répondre à la question posée plus haut, qu'une expérimentation a été entreprise au domaine du Pin-au-Haras depuis 1967, la race mixte de référence étant la race *Normande*, la race spécialisée laitière étant la race *Holstein Canadienne* et la race spécialisée à viande étant la race *Charolaise*. La comparaison porte sur les productions de lait et de viande des trois races pures et des deux F_1 issues de la race mixte, le système d'élevage utilisé étant le système du troupeau laitier traité. De ce fait, l'expérimentation fournit essentiellement des éléments d'appréciation pour des stratégies de croisement mettant en œuvre la race spécialisée laitière. La seule stratégie de croisement avec une race à viande qui soit étudiée dans cette expérience est le croisement industriel, ce qui est néanmoins utile car le croisement industriel *Charolais* × *Normand* est largement pratiqué dans l'Ouest de la France.

Nous nous proposons dans cet article de faire un premier bilan des performances de croissance obtenues par les mâles et les femelles des 5 génotypes impliqués dans l'expérience c'est-à-dire *Holstein*, *Holstein* × *Normand*, *Normand*, *Charolais* × *Normand*, *Charolais*.

MATÉRIEL, ET MÉTHODES

1. — Protocole d'accouplement

Le plan d'accouplement est montré au tableau 1. On peut voir qu'il conduit à la formation de 7 génotypes, les 3 races pures, les 2 F_1 et les 2 croisements en retour. Le plan d'accouplement correspond en fait à la première partie de l'expérience (inséminations de 1968 à 1971). Après

cette date, on n'a plus planifié la production d'animaux *Charolais* purs et *Charolais* × *Normands* de manière à étudier dans de meilleures conditions les stratégies de croisement avec la race *Holstein*.

TABLEAU I

Plan d'accouplement de l'expérience du Pin (1^{re} partie)

♂	♀				
	HF	HF × NO	NO	CH × NO	CH
HF	×	×	×		
	1967	1971	1967		
NO			×		
			1967		
CH			×	×	×
			1967	1971	1967

HF = *Holstein*
 NO = *Normand*
 CH = *Charolais*

2. — Origine des animaux

Les animaux étudiés ici sont issus des trois premières campagnes de vêlage au Pin-au-Haras, les mères étant alors les vaches du troupeau de base (vaches de race pure).

a) Les mères.

En 1967, 125 génisses *Normandes*, 15 génisses *Holstein* et 20 génisses *Charolaises* ont été achetées.

En race *Normande* l'échantillonnage des femelles du troupeau de base a été effectué dans 7 départements représentatifs. Une sélection a été effectuée sur les pères car ceux-ci devaient avoir un index matière grasse positif (moyenne : + 15 kg). Les mères n'ont pas été sélectionnées puisqu'on n'exigeait qu'au moins une lactation contrôlée (moyenne estimée en première lactation : 2 850 kg de lait).

En race *Holstein*, les mères ont été choisies sur la base du BCA Canadien (correction pour l'âge) pour la production laitière ; BCA supérieur ou égal à 110 (normes d'importation imposées par le ministère de l'Agriculture français). La production laitière moyenne a été de 6 011 kg en 1^{re} lactation. Les index BCA lait des pères ont été variables et de moyenne nulle.

En race *Charolaise*, le choix s'est fait essentiellement sur la conformation des animaux. On a essayé d'obtenir des effectifs égaux d'animaux développés (type élevage) d'animaux moins développés mais mieux conformés (type boucherie).

b) Les pères.

En race *Normande*, le choix des pères s'est effectué uniquement sur l'index laitier qui a été en moyenne de + 238 kg de lait (30 pères pour 114 animaux). En race *Holstein* l'échantillonnage des pères a été beaucoup plus réduit (8 pères pour 39 animaux) et a porté sur des taureaux importés du Canada, non connus au Canada et en cours de testage dans deux centres d'insémination français. En race *Charolaise*, 10 pères en provenance d'un seul centre d'insémination ont été utilisés.

3. — Performances étudiées

La périodicité des pesées est bihebdomadaire jusqu'au sevrage et mensuelle ensuite. A partir de ces pesées périodiques des poids à âge-type peuvent être calculés par intrapolation linéaire.

La croissance des 3 séries d'animaux nés au Pin de 1968 à 1971 est analysée ici à travers les poids suivants : naissance, 2, 6, 9, 12, 18, 24 mois pour les femelles, la même chose jusqu'à 9 mois pour les mâles avec ensuite des poids à 10 et 16 mois.

La période naissance-2 mois représente une période d'allaitement pour la totalité des individus. En fait, la durée moyenne de distribution du lait au nourrisseur automatique est de 3 mois mais les animaux étant conduits en lot, on constate des différences individuelles importantes pour l'âge au sevrage. L'écart-type de cet âge est de l'ordre de 10 jours (COLLEAU, 1972).

Entre 3 et 9 mois, les mâles sont en stabulation libre, en plusieurs lots constitués essentiellement d'après le poids à un instant donné qui est évidemment très lié à l'âge. L'alimentation dépend de la saison : foin *ad libitum* et concentré (2 kg/j) jusqu'en avril, puis herbe coupée à volonté, concentré (2 kg/j) et foin jusqu'en octobre, ensuite ensilage de maïs, foin et concentré, excepté pour les animaux nés en 68-69 qui n'ont pas reçu d'ensilage de maïs pendant la période hivernale. A l'âge de 9 mois, les mâles, qui sont destinés à être abattus à 16 mois, subissent pendant trois semaines une transition alimentaire pour les habituer à consommer la ration totalement déshydratée utilisée pour l'engraissement entre 10 et 16 mois (luzerne 70 p. 100, pulpe de betterave 30 p. 100).

De 3 à 9 mois les femelles sont en stabulation suivant le même système que les mâles. La quantité de concentré est toutefois plus réduite (1 kg/j). Après 9 mois et jusqu'au vêlage (34 mois environ) les animaux sont à l'herbe entre avril et novembre et en stabulation autrement, en plusieurs lots constitués d'après le poids et recevant des quantités variables de concentré (de 0 à 1 kg/j).

4. — Méthodes statistiques

a) *Modèle.*

Les poids à âge-type ont été analysés séparément par la méthode des moindres carrés. Pour un âge donné et un sexe donné les facteurs de variation ont été les suivants :

- le génotype (5 génotypes) ;
- la campagne (3 campagnes).

Ce terme désigne une série de vêlages. La première campagne correspond aux animaux nés entre le 1^{er} septembre 1968 et le 31 août 1969.

- le régime alimentaire.

Le nombre de régimes dépend de l'âge considéré. A 6 mois, le régime alimentaire peut être « foin » ou « herbe ». A 9 mois c'est la même chose alors que pour les mâles, il faut ajouter le régime « transition ». A 12, 18 et 24 mois on a chez les femelles deux régimes possibles : foin ou pâturage ;

- la saison de naissance (3 saisons).

La première saison va du 1^{er} septembre au 1^{er} janvier, la seconde du 1^{er} janvier au 1^{er} avril. La troisième saison regroupe le reste.

Le but de ces ajustements est d'apprécier les différences intrinsèques dans le potentiel de croissance des génotypes, difficilement estimables autrement en raison du déséquilibre des effectifs (tabl. 2).

Les analyses de variance ont été effectuées par catégorie âge-sexe de préférence à une analyse de variance globale à 6 facteurs (les 4 précédentes avec l'âge et le sexe) pour deux raisons :

- les variances résiduelles ne sont pas homogènes selon l'âge : quand l'âge croît, les variances résiduelles croissent également dans de notables proportions ;
- les âges étudiés ne sont pas toujours les mêmes chez les mâles et les femelles.

b) *Tests statistiques.*

Pour un génotype donné, nous disposons donc de plusieurs estimées de moindres carrés selon les combinaisons âge-sexe déterminées. Il est apparu souhaitable de tester l'homogénéité des estimées relatives à un génotype donné quand l'âge diffère, le sexe étant fixé, ou quand le sexe diffère, l'âge étant fixé. Étant donné les différences importantes de variance résiduelle, particulièrement quand on compare des âges différents, un test portant sur les estimées elles-mêmes serait sans doute biaisé, c'est pourquoi nous avons préféré utiliser des estimées exprimées en unités d'écart-type résiduel. Nous avons pu vérifier empiriquement que ce que l'on teste dans

ces conditions est pratiquement l'homogénéité du classement des animaux d'un même génotype dans diverses conditions : le classement moyen des animaux d'une même race après correction de leurs performances par les différents facteurs de milieu correspond sensiblement à un multiple de l'estimée correspondante de moindres carrés exprimée en écart-type résiduel.

TABLEAU 2

Répartition des effectifs de mâles et de femelles suivant l'année de naissance, la saison de naissance, le régime alimentaire au moment de la pesée

Exemple du poids à 9 mois

Sexe	Génotype	Année de naissance			Saison de naissance			Régime				Total
		68-69	69-70	70-71	Sept. Déc.	Janv. Mars	Reste	Foin	Herbe distribuée	Pâturage	Transition	
Femelle	HF	6	8	5	2	10	7	12	1	6	—	19
	HF × NO	13	13	9	7	25	3	14	21	0	—	35
	NO	15	17	14	9	25	12	17	29	0	—	46
	CH × NO	9	10	8	3	20	4	14	13	0	—	27
	CH	3	2	5	1	7	2	3	6	1	—	10
Mâles	HF	4	5	11	0	9	11	14	4	—	2	20
	HF × NO	7	8	7	9	9	4	6	15	—	1	22
	NO	25	24	19	10	39	19	27	27	—	14	68
	CH × NO	9	10	6	6	18	1	5	12	—	8	25
	CH	5	5	1	0	5	6	8	3	—	0	11

Le principe du test utilisé repose sur le théorème de COCHRAN (1934), décrit par SEARLE (1971).

Soit $\hat{\alpha}_{ij}$ l'estimée de l'effet du $i^{\text{ème}}$ génotype dans le $j^{\text{ème}}$ âge (ou sexe) et σ_j^2 la variance résiduelle correspondante. On a $v(\hat{\alpha}_{ij}) = C_{ij}\sigma_j^2$ ou C_{ij} est le terme diagonal correspondant au génotype i , de la matrice inverse dans la $j^{\text{ème}}$ analyse de moindres carrés. On pose $\hat{\beta}_{ij} = \frac{\hat{\alpha}_{ij}}{\sigma_i}$ et $\hat{\eta}_i$, moyenne pondérée par l'inverse de la variance.

$$\hat{\eta}_i = \frac{\sum_{j=i}^{j=a} \hat{\beta}_{ij}}{\sum_{j=i}^{j=a} \frac{1}{C_{ij}}}$$

Si les $\hat{\beta}_{ij}$ ont même espérance et sont statistiquement indépendantes ; le théorème de COCHRAN s'applique. La loi de la quantité $\sum_{j=1}^a \left(\frac{\hat{\beta}_{ij} - \hat{\eta}_i}{C_{ij}} \right)^2$ est alors une loi de χ^2 à $a - 1$ degrés de liberté.

En fait nous ne disposons que d'estimations de σ_j^2 . Du fait qu'elles sont basées sur une centaine de degrés de liberté, nous avons estimé qu'elles sont connues exactement, ce qui permet l'assimilation à une loi de χ^2 .

Il est à noter que l'hétérogénéité des estimées d'une même race à des âges différents est sous-estimée parce qu'elles reposent sur les mêmes animaux. La condition d'indépendance statistique exclut la constitution d'un test global portant sur l'ensemble des estimées, tous génotypes et tous âges. En effet pour un j donné, deux estimées $\hat{\alpha}_{ij}$ et $\hat{\alpha}_{i'j}$ sont statistiquement indépendantes. Le test est donc effectué génotype par génotype : il permet de localiser le ou les génotypes dont la position relative fluctue avec les conditions de comparaison.

RÉSULTATS

I. — Performances de croissance

I. I. Influences dues au milieu à un âge donné.

a) Cas des femelles.

Les résultats de l'analyse de variance figurent au tableau 3. On constate d'abord qu'il n'y a pas d'interactions significatives entre les facteurs étudiés. L'effet année n'a été significatif qu'à 2, 18 et 24 mois. Cependant l'examen de toutes les estimées de l'effet année (tabl. 4), même celles qui ne sont pas significatives permet de mettre en évidence des tendances générales. Jusqu'à environ 6 mois, on note que les performances ont diminué d'année en année, excepté pour le poids à la naissance qui a augmenté normalement avec l'âge des mères. Une telle diminution s'explique par la diminution progressive du temps d'accès au nourrisseur automatique qui s'est traduite par une baisse notable de la consommation de poudre de lait (115 kg par tête la première année, puis 100 et 90). Après l'âge de 6 mois on remarque au contraire que l'évolution annuelle a été favorable, fait qu'on peut attribuer à l'amélioration de l'herbe, distribuée en vert et à l'amélioration des rations hivernales (distribution d'un complément de luzerne déshydratée les dernières années).

L'effet de la saison de naissance n'est en général pas significatif. On note néanmoins que les animaux nés tardivement en fin de printemps et en été ont tendance à avoir des performances supérieures de la naissance (comprise) jusqu'à 6 mois et inférieures après 6 mois. Ce résultat peut s'expliquer jusqu'à 6 mois par l'effet de conditions sanitaires plus favorables. Les mauvais résultats obtenus après 6 mois sont peut-être liés à une mise à l'herbe un peu précoce.

Le régime alimentaire au moment de la pesée a été introduit comme facteur de variation essentiellement parce qu'il influe sur le poids par l'intermédiaire du contenu digestif qui peut varier considérablement suivant qu'on compare en particulier un régime sec peu digestible et un régime aqueux très digestible. La correction par la méthode des moindres carrés élimine probablement une partie de l'effet propre du régime, non lié au contenu digestif, sur la croissance et le poids de l'animal : par exemple, un animal recevant de l'herbe à l'âge de 9 mois la reçoit déjà depuis un certain temps. Nos estimées sont de ce fait difficiles à interpréter d'un point de vue zootechnique. En tout état de cause, l'analyse de variance fait apparaître rarement un effet significatif du régime quoique les différences paraissent non négligeables en valeur absolue.

TABLEAU 3

Analyse de variance des poids à âge type

Variable	Effet année naissance		Effet saison naissance		Effet régime		Effet génotype		Ensemble des interactions		R ²	Écart-type résiduel (kg)
	DL	F	DL	F	DL	F	DL	F	DL	F		
Femelles	naissance	2	2,0	2	0,9	—	4	3,2*	—	—	0,09	5,6
	2 mois	2	13,7*	2	0,1	—	4	4,7**	—	—	0,27	11,7
	6 mois	2	1,4	2	0,1	1	4	9,4***	—	—	0,32	18,1
	9 mois	2	2,4	2	4,4*	2	4	8,9***	27	—	0,11	22,6
	12 mois	2	0,1	—	—	1	4	7,0***	—	—	0,28	26,9
	18 mois	2	10,0*	—	—	1	4	7,8***	—	—	0,31	28,5
24 mois	2	9,8*	—	—	—	4	4,9**	—	—	0,24	35,1	
Mâles	naissance	2	6,1**	2	5,0**	—	4	15,6***	—	—	0,45	5,0
	2 mois	2	15,2***	2	1,2	—	4	8,0***	—	—	0,35	10,6
	6 mois	2	1,9	2	5,0**	1	4	3,9**	—	—	0,34	19,3
	9 mois	2	14,3***	2	1,9	3	4	4,5**	—	—	0,7	27,0
	10 mois	2	25,0***	2	—	—	4	8,31***	—	—	0,39	27,9
	16 mois	2	7,7***	—	—	—	4	9,57***	—	—	0,28	35,3

b) *Cas des mâles.*

L'effet année est significatif à tous les âges considérés. On retrouve pratiquement les mêmes tendances que chez les femelles c'est-à-dire une diminution des performances à 2 mois et une augmentation des performances à 9 mois, cette dernière étant beaucoup plus nette que chez les femelles, conséquence probable de la distribution d'ensilage de maïs la 2^e et 3^e année. L'effet saison de naissance n'est pas toujours significatif mais on retrouve les mêmes tendances que chez les femelles en ce qui concerne la 3^e saison par rapport aux deux autres. L'effet du régime a tendance à avoir un degré de signification plus élevé que chez les femelles.

1. 2. *Différences entre génotypes à un âge donné.*a) *Femelles.*

Les différences entre génotypes sont toujours significatives quel que soit l'âge. Les estimées de l'effet des génotypes figurent au tableau 5. Ces estimées sont loin d'être constantes suivant l'âge considéré comme on peut le voir aussi sur les figures 1 et 2 où l'on a reporté les écarts à la race normande prise comme génotype de référence (écarts absolus en figures 1 a 1 c, écarts réduits en figures 1 b, 1 d). Les tests d'interaction génotype-âge sont effectués d'après les résultats des figures 1 b 1 d, qui sont en bonne concordance avec ceux des figures 1 a, 1 c, plus intéressants d'un point de vue strictement zootechnique.

L'examen d'ensemble des figures permet de dire que les différences de poids entre femelles de catégories génétiques différentes sont faibles, excepté pour les femelles *Charolaises*.

La position relative des génisses normandes par rapport à l'ensemble des génotypes ne varie pas significativement avec l'âge (tabl. 6). Ce n'est pas le cas pour les génisses *Holstein*. Si on les compare en particulier aux génisses normandes, on constate qu'elles leur sont équivalentes jusqu'à 2 mois et qu'ensuite elles marquent un net avantage qui s'accroît avec l'âge. Les génisses croisées *Holstein* × *Normand* ne présentent pas d'effets d'hétérosis significatif (tableau 5, quoique ceux-ci présentent une décroissance assez régulière de 6 p. 100 à 6 mois à 0 p. 100 à 24 mois). A 12 mois l'effet d'hétérosis est tel que les génisses croisées *Holstein* × *Normand* soient même plus lourdes que les génisses *Holstein*. Dans ces calculs, nous définissons l'effet d'hétérosis par l'écart à la moyenne arithmétique des races parentales présenté par la F₁, cet écart étant exprimé en pourcentage de cette moyenne.

Les génisses *Charolaises* ne présentent pas une position relative stable selon l'âge. Elles sont plus lourdes que les génisses *Normandes*, jusqu'à 2 mois, l'avantage provenant des différences de poids de naissance. Entre 2 et 6 mois, la croissance des génisses *Charolaises* est nettement plus faible. Par la suite ce handicap, supérieur à 30 kg, s'accroît même légèrement. Les génisses croisées *Charolais* × *Normand* présentent un important effet d'hétérosis significatif de l'ordre de 10 p. 100 à tous les âges. Le résultat net est une supériorité par rapport à la race normande, supériorité qui tend d'ailleurs à s'accroître avec l'âge, mais non significativement. A 24 mois, les génisses *Charolais* × *Normand* sont pratiquement aussi lourdes que les génisses *Holstein*.

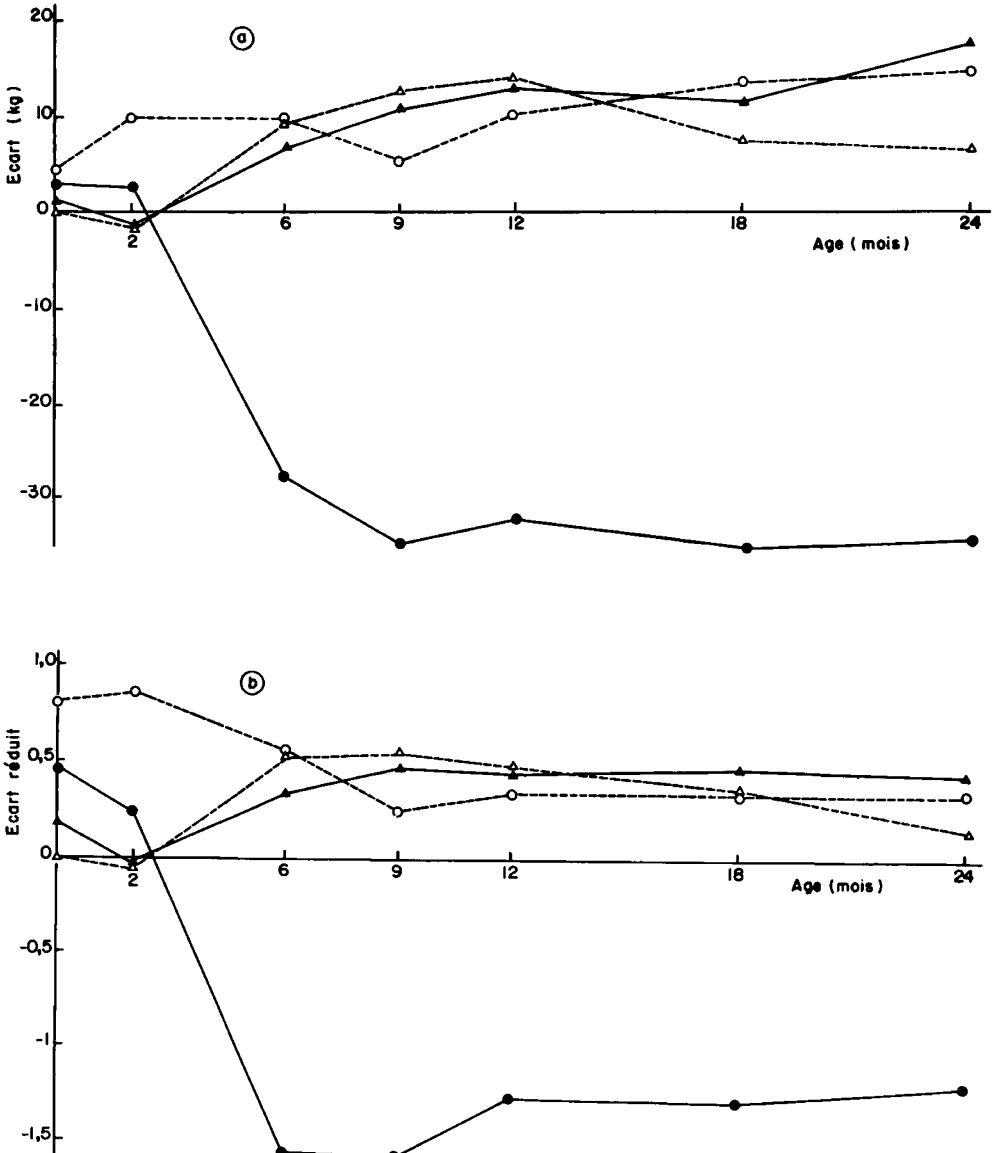


FIG. 1

a : Poids à âge-type des femelles en écart à l'échantillon de race Normande
 b : Poids à âge-type des femelles en écart réduit à l'échantillon de race Normande

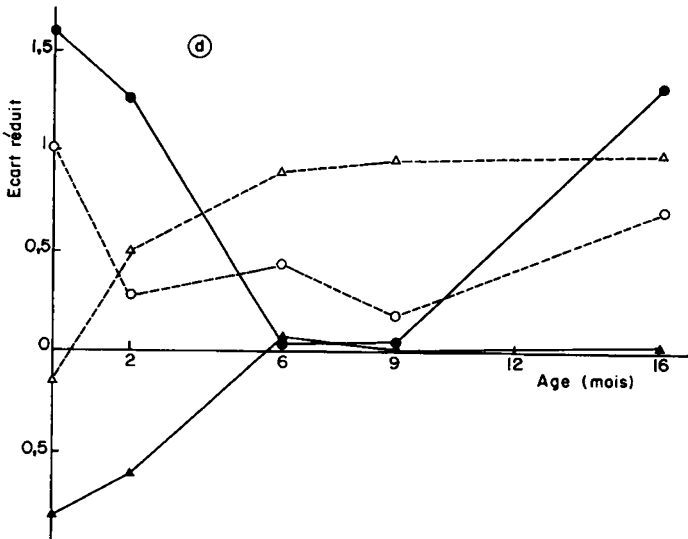
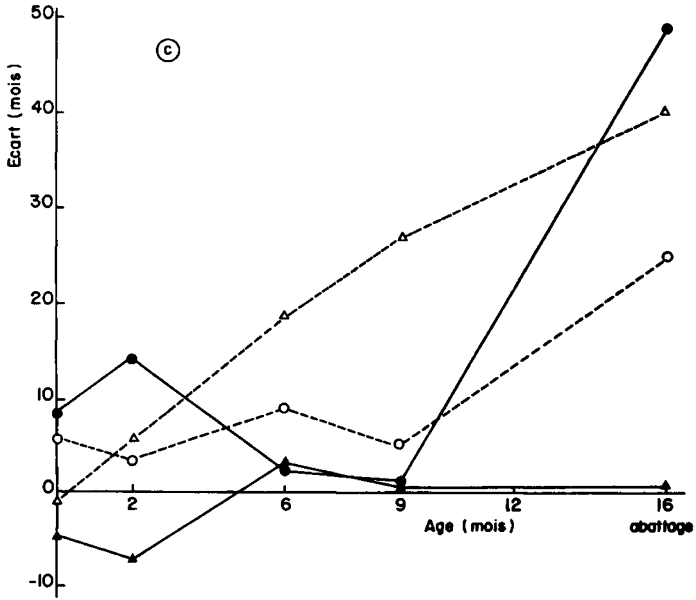


FIG. I

c : Poids à âge-type des mâles en écart à l'échantillon de race Normande
 d : Poids à âge-type des mâles en écart réduit à l'échantillon de race Normande

- ▲ Holstein
- △ Holstein x Normand
- Charolais x Normand
- Charolais

TABLEAU 5
Estimées de moindres carrés des effets génotype sur les poids à âge-type.
Estimées des effets d'hétérosis (en p. 100 de la moyenne des races parentales) et degré de signification

Variable	Moyenne des moindres-carrés	HF	HF × NO	NO	CH × NO	CH	Effet d'hétérosis	
							Croisement <i>Holstein</i>	Croisement <i>Charolais</i>
Femelles	naissance	41,0	— 1,6	— 1,6	2,9	1,0	1,0	7,7*
	2 mois	89	— 3,6	— 1,9	8,1	0,8	— 14,4	9,8**
	6 mois	169	10,1	0,4	10,2	— 27,5	3,7	15,4****
	9 mois	230	13,8	1,5	6,8	— 34,2	3,0	40,8****
	12 mois	281	11,8	13,0	— 0,2	8,9	— 33,5	9,7****
	18 mois	367	12,6	9,2	— 1,3	16,9	— 37,5	40,4****
24 mois	451	16,9	6,9	0,8	13,4	— 37,9	7,4****	
Mâles	naissance	43,8	— 2,5	— 1,7	3,7	6,6	3,4	2,6
	2 mois	96	2,4	— 3,1	0,1	10,9	10,2****	— 3,9
	6 mois	197	13,0	— 5,5	3,0	— 7,5	8,9****	5,0
	9 mois	286	— 6,2	20,6	— 6,5	— 1,5	— 6,3	9,6****
	10 mois	308	— 10,6	22,4	— 10,5	— 2,6	1,2	41,1****
	16 mois	547	— 22,5	16,7	— 23,3	3,5	25,6	7,5****

TABLEAU 6

Test des interactions race × âge pour un sexe donné
 (au moyen de χ^2 calculés à partir de la variation des effets « génotypes » calculés par moindres carrés pour chaque combinaison sexe-âge)

Sexe	Génotype				
	HF	HF × NO	NO	CH × NO	CH
♀ (0, 2, 6, 9, 12, 18, 24 mois)	*	***	NS	NS	***
♂ (0, 2, 6, 9, 16 mois)	***	***	NS	*	**

b) mâles

Les résultats concernant les mâles sont représentés en figure 1c (écarts absolus à l'échantillon de race *Normande*) et en figure 1d (écarts réduits). Sur les 2 figures on constate que les différences génotypiques sont beaucoup plus accusées chez les mâles que les femelles. Les résultats des figures 1c et 1d diffèrent légèrement en ce sens que le passage aux écarts réduits tend à accentuer les différences de comportement de la race *Charolaise* par rapport à la race *Normande*, et à les diminuer au contraire quand il s'agit des mâles croisés *Holstein* × *Normand*.

Comme pour leurs homologues femelles ; la position relative des mâles Normands par rapport à l'ensemble des génotypes est stable selon l'âge (tabl. 6).

TABLEAU 7

Test des interactions race × sexe pour un âge donné
 (au moyen de χ^2 calculés à partir de la variation des effets « génotypes » calculés par moindres carrés pour chaque combinaison sexe-âge)

Age (mois)	Génotype				
	HF	HF × NO	NO	CH × NO	CH
0	***	NS	NS	NS	**
2	*	*	NS	**	*
6	NS	NS	NS	NS	**
9	*	NS	NS	NS	NS
16-18	***	NS	**	NS	**

Les mâles *Holstein* ont entre 2 et 6 mois une croissance plus forte que les *normands*. Ils leurs sont ensuite comparables. Les croisés *Holstein* × *Normand* présentent un effet d'hétérosis de 8-10 p. 100 sauf à la naissance. Leur avantage sur la race *Normande* croît régulièrement avec l'âge : c'est un des points les plus clairs.

Les mâles *Charolais* ont jusqu'à 6 mois un comportement rappelant celui des femelles *Charolaises* mais par la suite ils montrent un net avantage par rapport à la race *Normande*. Les croisés *Charolais* × *Normand* présentent de faibles effets d'hétérosis mais ils se situent constamment au-dessus du niveau de la race *Normande*.

c) Comparaison mâles-femelles

Les résultats du tableau 4 et de la figure 1 semblent montrer qu'à un âge donné l'effet d'un génotype donné n'est pas le même suivant le sexe considéré. L'analyse statistique (tabl. 7) montre toutefois que le phénomène n'est très important que pour les deux races spécialisées (*Holstein* et *Charolais*).

DISCUSSION

1. — Comparaison des races pures

La position relative des trois races *Holstein*, *Normande* et *Charolaise* est variable suivant l'âge. En ce qui concerne la comparaison entre les races *Normande* et *Charolaise* on peut penser que la variabilité des écarts provient de l'incidence du régime alimentaire. En effet, on constate que tous les animaux charolais, mâles aussi bien que les femelles, ont une croissance nettement inférieure pendant plusieurs mois après le sevrage. Dans cette race où normalement l'allaitement est naturel et dure 6 à 8 mois, on peut penser que la sélection naturelle n'a pas porté sur la capacité de veaux à consommer très tôt des fourrages et à n'avoir besoin que d'une faible quantité de lait, ce qui pourrait expliquer les réactions défavorables de ces animaux au mode de conduite pratiqué au Pin. Il est possible également qu'ils manifestent une sensibilité plus importante au parasitisme. A l'âge de 9 mois, on constate que les mâles *Charolais* croissent rapidement alors que les femelles ne parviennent pas à combler leur retard. Le résultat obtenu sur les mâles est probablement lié à la concentration énergétique élevée de l'aliment utilisé pour l'engraissement. Dans ce cas, un handicap initial lié à un faible développement du tube digestif peut être annulé. L'absence de régime intensif pourrait également expliquer les mauvaises croissances des femelles. On peut toutefois s'étonner de l'absence persistante de croissance compensatrice.

La variation des différences entre race *Normande* et race *Holstein* suivant le sexe pourrait être à première vue expliquée par l'incidence de différences de régime engendrant une interaction génotype-milieu du même type que celle rencontrée lors de la comparaison *Charolais-Normand*, à savoir la nécessité d'un régime à concentration énergétique élevée pour extérioriser le potentiel de croissance relatif de la race *Normande* par rapport à la race *Holstein*. Cependant cette hypothèse paraît improbable parce que les veaux de race *Normande* sont depuis longtemps allaités artificiellement. Par ailleurs, les résultats obtenus sur des veaux mâles *Holstein* et *Normands* entre 5 et 9 mois avec un aliment à concentration énergétique élevée distribué *ad libitum* dans

une même station, montrent qu'il n'y a pas de différence de vitesse de croissance entre les deux races : 1 347 g/j pour 62 veaux *Normands* et 1 369 g/j pour 29 veaux *Holstein* (GAILLARD, 1973).

Les résultats obtenus en Allemagne (WITT *et al.*, 1971 ; ERNST *et al.*, 1973) semblent montrer l'absence d'interaction génotype-sexe pour le poids quand on compare la race *Frisonne Allemande* et la race *Holstein*. En revanche, en Suisse (REICHEN SCHWAB, 1972) la comparaison entre les races *Felckvieh* et *Holstein Pie-Rouge* rappelle nos propres résultats : les femelles *Holstein* ont tendance à être plus lourdes que les femelles *Fleckvieh* alors qu'il n'y a pas de différence génotypique pour les mâles à l'engraissement.

Il ne semble donc exister une interaction génotype-sexe pour le développement pondéral que lorsqu'il existe une grande différence de niveau génétique laitier pour les races comparées (COLLEAU, 1972 ; WITT *et al.*, 1971 ; ERNST *et al.*, 1973 ; KUNZI, 1973). Deux hypothèses non exclusives l'une de l'autre peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène :

— le passé de la sélection des races spécialisées laitières (*Holstein*).

Dans ces races la sélection porte essentiellement sur la production laitière, caractère extériorisé par les femelles, la sélection de mâles visant non pas à augmenter leur poids et leur musculature mais à améliorer leur « type » laitier. Dans ces conditions, il est possible que le dimorphisme sexuel pondéral ait tendance à se réduire. Peu visible à l'intérieur d'une race, le phénomène atteindrait une certaine amplitude pour des différences importantes de niveau laitier. Des phénomènes du même ordre sembleraient exister chez la volaille. AYOUB et MÉRAT (1973) ont calculé la corrélation phénotypique au niveau de famille de frères-sœurs entre des caractères comme l'âge au premier œuf ou le nombre d'œufs et le dimorphisme sexuel. Des deux souches examinées, l'une présentait des corrélations significatives.

— le passé de la sélection dans les races mixtes.

Les critères permettant d'améliorer ou de maintenir la production de viande, comme le poids, ont été principalement sélectionnés sur les mâles, les femelles étant sélectionnées surtout sur la production laitière. Dans de telles conditions, le dimorphisme sexuel peut être augmenté.

2. — L'effet des croisements

Le croisement *Holstein* × *Normand* entraîne en général des effets d'hétérosis sensibles surtout chez les mâles. Les estimées obtenues sur les femelles sont plus faibles que celles obtenues dans les expériences de croisement entre races laitières effectuées aux U. S. A. (PEARSON et McDOWELL, 1968 ; McDOWELL *et al.*, 1969) qui sont de l'ordre de 5 p. 100. La baisse de l'effet de l'hétérosis avec l'âge que nous constatons au Pin a été trouvée en général dans ces mêmes expériences. Les observations effectuées sur les mâles *Holstein* × *Normand* au Pin montrent un effet d'hétérosis bien plus important que dans le cas des femelles. D'après STONAKER (1963) c'est au contraire sur le sexe homogamétique que se manifesteraient le plus les effets d'hétérosis si certains loci influençant la croissance étaient situés sur le chromosome X.

Le croisement *Charolais* × *Normand* n'amène pas au contraire d'effets d'hétérosis sensibles chez les mâles, excepté à l'âge de 6 mois où les mâles *Charolais* sont

nettement affectés par le régime alimentaire. WIRT *et al.* (1971) trouve également que le croisement *Charolais* × *Frison* entraîne de faibles effets d'hétérosis, les animaux témoins *Charolais* ayant été dans ce cas allaités par leur mère. Les effets d'hétérosis très élevés sur les femelles *Charolais* × *Normand* au Pin après l'âge de deux mois sont très nettement à mettre en relation avec les médiocres performances des contemporaines *Charolaises* mais cela n'explique pas qu'ils soient importants également à la naissance.

CONCLUSION

Les différences de poids à un âge donné entre les 5 génotypes *Holstein*, *Holstein* × *Normand*, *Normand*, *Charolais* × *Normand* et *Charolais* varient suivant l'âge et le sexe considéré. Toutefois si l'on se place à l'âge d'abattage pour les mâles (16 mois) et à 24 mois pour les femelles (âge proche de celui du 1^{er} vêlage) on constate qu'il n'y a pas de grandes différences entre la race mixte et la race laitière d'une part, que le croisement de cette race mixte avec la race laitière ou la race à viande est suivi d'effets parfois très favorables. D'importants effets hétérosis semblent en particulier se manifester parfois, effets qu'il conviendrait d'apprécier sur des effectifs plus importants de manière à mieux prévoir le résultat de stratégies de croisement portant sur plusieurs générations.

Reçu pour publication en décembre 1974.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement M. P. MÉRAT (I. N. R. A., Jouy) et M. C. BÉRANGER (I. N. R. A., Theix) pour leurs suggestions lors de la lecture du manuscrit.

Nous remercions aussi MM. MALTERRE et GEAY (I. N. R. A., Theix) qui en liaison avec C. BÉRANGER ont pu nous conseiller dans la poursuite de l'expérience du Pin-au-Haras.

SUMMARY

COMPARISONS BETWEEN THE DUAL-PURPOSE NORMAN BREED, THE SPECIALIZED CANADIAN HOLSTEIN AND CHAROLAIS BREEDS AND THEIR CROSSINGS.

I. — GROWTH OF MALES AND FEMALES

Weights at fixed ages were compared in *Canadian Holstein*, *Norman*, *Charolais* animals and *Holstein* × *Normand* and *Charolais* × *Norman* crossbreds between birth and slaughter at 16 month for the 146 males, between birth and 24 months for the 137 females.

Significant differences between genotypes were always found, however their ranking was not always constant, probably because the method of rearing varied according to age and sex due to the experimental conditions and because animals from definitely different types (*Charolais*) were compared. Finally, at 16 months, the *Charolais* bulls were found to be the heaviest, followed by the *Holstein* × *Norman*, *Charolais* × *Norman*, *Holstein* and *Norman* bulls, the last genotypes exhi-

biting quite similar weight. In the 24 months old females, the genotypic differences were small except for the *Charolais* females, which probably accounts for the bad adaptation of that breed to the experimental conditions used for females (Short artificial suckling followed by a non-intensive feeding).

Significant heterosis effects were always found in the *Holstein* × *Norman* males (between 8 and 10 p. 100 according to age) and the *Charolais* × *Norman* females (between 7 and 15 p. 100). Conversely, in *Holstein* × *Norman* females and *Charolais* × *Norman* males, heterosis effects were small and insignificant.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME, 1972. Rapport entre la production de lait et la production de viande de bœuf en Europe. *F. A. O.*, Rome.
- AYOUB H., MÉRAT P., 1973. Corrélations entre le dimorphisme sexuel pour le poids et d'autres caractères quantitatifs chez la Poule. *Ann. Génét. Sélect. anim.*, **5**, 217-224.
- COCHRAN W. G., 1934. The distribution of quadratic forms in a normal system with applications to the analysis of variance. *Proc. Cambridge Soc.*, **30**, 178-191.
- COLLEAU J. J., 1972. Bilan préliminaire de l'expérimentation bovine du Pin-au-Haras. *Bull. tech. Dép. Génét. anim.*, I. N. R. A., Fr., 14.
- DICKERSON G. E., 1969. Experimental approaches in utilizing breed resources. *Anim. Breed. Abstr.*, **37**, 191-202.
- DICKERSON G. E., 1972. Inbreeding and heterosis in animals. *Proc. anim. Breed. Genet. Symp. in honor of J. L. LUSH*. Blacksburg, Virginia, 54-77.
- ERNST E., LANGLET J. F., MARTIN H., 1973. Vergleichende Untersuchungen an *Deutschen Schwarzbunten*, *Holstein-Friesians*. sowie den Kreuzungen aus beiden Populationen. *Schriftenr. Agrarwiss. Fak. Univ. Kiel*, **50**.
- GAILLARD J., 1973. Résultats non publiés.
- McDOWELL R. E., RICHARDSON G. V., LEHMANN R. P., McDANIEL B. T., 1969. Interbreeding matings in dairy cattle. IV. Growth rate of two-breed crosses. *J. Dairy Sci.*, **52**, 1624-1632.
- MÉNISSIER F., VISSAC B., FREBLING J., 1974. Plans optimaux de production bovine : l'amélioration génétique de la production de viande dans les troupeaux spécialisés et par croisement dans les troupeaux laitiers. *25^e Réunion annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie*, Copenhague (ronéoté 47 p).
- PEARSON L., McDOWELL R. E., 1968. Crossbreeding of dairy cattle in temperate zones : a review of recent studies. *Anim. Breed. Abstr.*, **36**, 1-15.
- REICHEN F., SCHWAB W., KÜNZI N., 1973. Bisherige Ergebnisse der Vergleichversuche mit *Braunvieh*, *Simmentaler Fleckvieh* und *Holstein-Friesian* auf dem Versuchsgut der ETH, Chamau. *Schweiz. Ver. Tierz.*, **42**.
- ROBERTSON A., 1971. Optimum utilisation of genetic material with special reference to crossbreeding in relation to other methods of genetic improvement. *X^e Congr. int. Zootech.*, Paris-Versailles, 57-68.
- SEARLE S. R., 1971. Linear models. John Wiley and sons, New York.
- STONAKER H. H., 1963. A genetic hypothesis for sex-mating system interaction in growth of cattle and poultry. *J. Anim. Sci.*, **22**, 320-325.
- WITT M., ANDREAE U., HUTH F. W., KALLWEIT E., PFLIEDERER V. E., RAPPEN W. V., SCHUTZBAR W., WERHAHN F., RÖSELER W., SELHAUSEN D., 1971. Einfluss der Kreuzung von Vätertieren der *Holstein-Friesian* Rasse mit deutschen schwarzbunten Kühen auf Körperentwicklung, Milchleistung und Muskelbildungsvermögen. *Schriftenr. Max-Planck Inst. Tierz. Tierernähr.* (56).
- WITT M., ANDREAE V., KALLWEIT E., HUTH F. W., WERHAHN E., SELHAUSEN D., RÖSELER W., 1971. Mastversuche mit der *Charolais-Rasse*, den *Deutschen Schwarzbunten* und deren Kreuzungen. *Schriftenr. Max-Planck Inst. Tierz. Tierernähr.* (53).