

Effet de la somatotropine bovine (BST) sur l'efficacité des programmes de sélection laitière

La possibilité de fabriquer de grandes quantités de BST par génie génétique depuis 1982 et d'utiliser des préparations retard depuis 1985 constitue un événement très important dans le domaine de la production laitière bovine. Il est indispensable d'analyser le plus précisément possible les conséquences d'une éventuelle autorisation de la BST sur l'efficacité de la sélection laitière, étant donné que celle-ci est effectuée à partir des données d'un grand nombre de troupeaux inscrits au contrôle laitier. La série de mesures à prendre pour préserver cette efficacité doit également être soigneusement définie.

La somatotropine bovine (BST) s'est révélée être un puissant outil de production (Chilliard *et al* 1989) mais, à la différence des facteurs d'intensification qui l'ont précédée, elle est en même temps souple (utilisation en fonction des animaux et des périodes) et d'efficacité immé-

diante. La distribution de concentré, par exemple, peut s'effectuer de la même manière mais ne conduit pas à des réponses aussi rapides et spectaculaires. Une telle situation n'est jamais rencontrée dans les systèmes de production actuellement utilisés. Les problèmes posés à la sélection sont par conséquent réellement nouveaux. Peut-on compter sur le hasard pour effacer l'effet de ce nouveau facteur de variation non génétique sur les index des vaches et des taureaux ? Dans le cas contraire, peut-on dire qu'il suffit d'enregistrer à chaque contrôle mensuel la situation de chaque vache (traitée ou non) pour garantir une bonne efficacité de la sélection laitière ? Quelles sont les situations pratiques, à court et à long terme, qui pourraient nous conduire à répondre par la négative aux questions précédentes ?

Les généticiens doivent donc s'efforcer de prévoir aussi correctement que possible les réalités et problèmes qui prévaudraient après une éventuelle autorisation publique de la BST. Dans cet article, on essaiera d'identifier les problèmes à court et moyen terme et on décrira les stratégies d'adaptation correspondantes. En ce qui concerne le long terme, on indiquera les raisons pour lesquelles les programmes de sélection laitière pourraient être amenés à abandonner progressivement leur forme actuelle. Les structures de substitution seront brièvement indiquées.

Résumé

L'utilisation libre de l'hormone de croissance bovine (BST) dans les troupeaux au contrôle laitier entraînerait des perturbations dans les programmes de sélection laitière.

Grâce aux travaux de simulation numérique déjà réalisés, français et autres, il est montré que ces perturbations atteindraient non seulement la sélection des vaches mais aussi la sélection des taureaux sur descendance. L'effet global de ces perturbations serait de diminuer les rythmes de progrès génétique et surtout de fausser l'évaluation de l'efficacité réelle du programme de sélection qui pourrait être optimiste ou pessimiste suivant le système de choix des vaches traitées.

En conséquence, il serait impératif de corriger les données en fonction de l'existence possible d'un traitement. Les simulations montrent que, pour être fiables, ces corrections devraient être effectuées par comparaison intra animal des contrôles mensuels traités et non traités. La méthodologie correspondante étant encore à mettre au point et la précision finale de telles corrections étant encore inconnue, il est proposé dans un premier temps d'extrapoler à une durée normale les lactations partielles précédant le premier traitement à la BST.

A long terme, si les corrections n'étaient pas possibles pour les diverses raisons évoquées dans le texte, il est proposé que la sélection se fasse sous contrat avec des méthodes de reproduction intensives.

1 / Caractéristiques principales et conséquences de la sélection laitière

1.1 / Sources du progrès génétique

La sélection laitière a pour objectif premier l'accumulation de gènes favorables à la quantité et à la richesse du lait. A partir des nombreuses études génétiques menées dans le monde entier, il apparaît que la variation génétique existe à de nombreux loci et que le plateau de sélection, qui correspond à la fixation de tous les allèles favorables, doit être éloigné et par conséquent atteint au bout d'un grand nombre de générations de sélection intensive. On doit rappeler ici que la sélection d'animaux de laboratoire sur des caractères quantitatifs permet d'aboutir généralement à des résultats tout à fait spectaculaires (Verrier 1989).

Le progrès génétique provient de 4 sources d'importance inégale. Environ 35 % du progrès génétique provient du choix des pères des taureaux, 25 % du choix des pères des vaches, 33 % du choix des mères des taureaux et 7 % du choix des mères des vaches de remplacement. Les pères sont évalués d'après leur index sur descendance et les mères sont évaluées d'après un index combiné (ascendance + performance). Seul le dernier choix est totalement sous la responsabilité de l'éleveur individuel. Les sources 1 et 3 expliquent environ 70 % des gains totaux et dépendent de l'efficacité de l'organisation collective de la sélection.

L'indice global de l'efficacité d'un programme de sélection pour un caractère particulier est donné par le progrès génétique annuel. Si le programme de sélection a atteint sa phase de croisière, ce progrès correspond tout simplement à la moyenne arithmétique des supériorités génétiques vraies des 4 catégories d'animaux ci-dessus, (différentielles de sélection), divisée par la moyenne arithmétique de leur âge au moment de la naissance de leurs produits (intervalles de génération).

Les différentielles de sélection sont des paramètres relativement complexes parce qu'elles dépendent de 4 facteurs plus élémentaires : le degré de variation génétique existant dans la population, la pression de sélection (rapport entre le nombre d'animaux retenus et le nombre de candidats), la précision de la sélection (corrélation entre la valeur génétique vraie et les valeurs génétiques estimées, ou index, utilisées pour les décisions de sélection), l'importance des biais générés par une méthode d'indexation éventuellement déficiente. De manière pratique, l'existence de biais signifie que les erreurs aléatoires faites lors de l'évaluation des animaux ne sont plus centrées sur zéro mais sur des valeurs différentes. Dans ce cas, l'augmentation de l'information de base, comme par exemple le nombre de filles d'un taureau ou le nombre de lactations pour une vache, ne permet pas de se rapprocher de plus en plus de la vraie valeur génétique mais de cette valeur plus le biais. Ce point est de la plus grande importance et doit être gardé en mémoire quand on

parle de l'impact possible de la BST dans les programmes de sélection.

1.2 / Méthodes actuelles d'intensification des progrès génétiques

De grands efforts sont effectués à l'heure actuelle pour augmenter la pression de sélection en diminuant le nombre d'animaux retenus (grâce au transfert d'embryons, par exemple) ou pour augmenter le nombre de candidats ou les deux. La précision de la sélection peut être améliorée en utilisant plus intensivement les parentés entre animaux. Il y a actuellement beaucoup de recherches entreprises pour appliquer à grande échelle le modèle individuel (l'« animal model » des anglo-saxons). Cette procédure de calcul permet d'estimer la valeur génétique de chaque animal, avec le moins d'erreurs possibles, en prenant en considération toutes les parentés existant entre tous les animaux contrôlés (Henderson 1988, Ducrocq 1990). Ceci est évidemment exigeant en temps de calcul. Un point essentiel, qui demande lui aussi du temps, est la description correcte de l'incidence des facteurs de variation non génétiques sur les performances. Un modèle de description inadéquat, par quantification incorrecte des effets de milieu déclarés (par exemple, l'âge, le troupeau, l'année, ...) ou par ignorance d'effets non déclarés (par exemple, 3 traites par jour) est la source majeure des biais rencontrés dans l'évaluation des reproducteurs.

Par ailleurs, l'accélération de la vitesse d'exécution des opérations de sélection par diminution des intervalles de génération (Colleau et Mocquot 1989) constitue une méthode complémentaire d'augmentation des progrès génétiques.

1.3 / Rentabilité des programmes de sélection

D'une manière générale, les programmes de sélection chez les bovins laitiers sont hautement profitables quand on compare leurs recettes à leurs coûts. Ils représentent donc une aide au maintien de la productivité de l'élevage dans une situation où les prix industriels et de l'énergie sont en augmentation. L'ensemble des recettes liées à la sélection représentait 500 à 600 % des coûts correspondants avant l'instauration des quotas laitiers (Graser *et al* 1985). Depuis lors, cette rentabilité a chuté d'environ 1/3, même en tenant compte d'efforts accrus au niveau de la composition du lait (Wilmink 1988). La sélection peut néanmoins être considérée comme une sorte d'investissement à long terme, de rentabilité élevée.

1.4 / Conséquences de la sélection sur les caractéristiques des animaux

Avec des gains génétiques annuels qui se situent entre 50 et 100 kg de lait par lactation, la sélection conduit à utiliser des systèmes d'exploitation intensifs. L'efficacité alimentaire en vue de la production laitière est améliorée essentiellement à cause de la dilution relative des besoins d'entretien parmi les besoins

totaux (Korver 1988). Bien que les conséquences de la sélection sur les caractéristiques physiologiques et biochimiques n'aient pas été analysées précisément sur de grands effectifs, il paraît possible que la sélection intra-race mène à des niveaux plus élevés d'hormone de croissance circulante naturelle (Flux *et al* 1986, Bonczek *et al* 1988). Quelques-uns des loci sélectionnés contrôlent donc probablement les sécrétions d'hormone de croissance. Si l'on se base sur des comparaisons interraciales (Oldenbroek *et al* 1989), il n'apparaît pas cependant que la sélection laitière affecte des gènes impliqués dans la réponse à l'hormone de croissance exogène.

2 / Effets généraux de la BST sur les performances laitières

Ces effets ont été récemment passés en revue par Chilliard *et al* (1989). La production laitière augmente de 2 à 5 kg par jour en moyenne suivant les essais. Ceci annonce une interaction vraisemblable entre l'effet de la BST et l'effet troupeau. L'effet moyen de la BST semble être essentiellement dépendant du bilan énergétique au début des injections, bilan qui est relié au niveau de la conduite alimentaire. La variabilité de la réponse individuelle est élevée. Cette réponse semble être indépendante ou modérément opposée au niveau naturel de production laitière. Tous ces points doivent être analysés de façon détaillée pour être en mesure d'utiliser des méthodes de correction adéquates dans les programmes de sélection laitière.

La composition moyenne du lait ne semble pas être beaucoup affectée, sauf dans de mauvaises conditions d'alimentation où le taux butyreux augmente à cause de la mobilisation des réserves corporelles et où le taux protéique diminue.

Une autre difficulté majeure concernant la correction des données provient des fluctuations à court terme extrêmement importantes qui sont entraînées par l'administration de BST. Vérité *et al* (1988) ont montré clairement cet aspect. Ceci a été confirmé récemment par Bauman *et al* (1989). La visualisation graphique de ces fluctuations peut être trouvée dans Chilliard *et al* (1989).

3 / Caractéristiques des études de simulation sur l'efficacité des programmes de sélection laitière

Ce domaine de recherche n'est pas encore très développé et les travaux correspondants sont relativement récents (Burnside et Meyer 1988, Frangione et Cady 1988, Colleau 1989 a et b, Simianer et Wollny 1989). En raison de la complexité des problèmes statistiques posés, on a dû recourir à la méthode de Monte-Carlo (simulation des performances individuelles) ce qui a contraint à se limiter à des schémas de sélection simplifiés (pour limiter les temps de calcul). Par ailleurs, dans ces études, on a supposé que la durée du traitement BST était uniforme (8 mois après un début de lactation sans BST). Ces premières études n'ont également concerné que la quantité de lait. Enfin, elles ont pris en compte la variabilité de la réponse vraie à la BST alors qu'en pratique lors des contrôles laitiers mensuels, celle-ci pourrait être mal estimée, à cause de phénomènes aléatoires et aussi de l'incidence très nette de l'intervalle de temps séparant la date du contrôle laitier de celle de l'injection.

L'apparente complexité des effets statistiques de la BST et la nature pour l'instant confiden-

Tableau 1. Diminution (%) des progrès génétiques annuels dans une situation où la BST apporte en moyenne un supplément de 1 000 kg de lait par lactation (écart-type phénotypique = 200 kg, aucune liaison entre la réponse et la production antérieure).

Référence	Méthode de choix des vaches traitées	% global de vaches traitées	
		10	30
Colleau 1989a	1 - Au hasard	4	5
	2 - Les meilleures dans la population totale	4	3
	3 - Les moins bonnes dans la population totale	2	3
Colleau 1989b	Nombre variable de vaches traitées par troupeau		
	4 - Au hasard	5	6
	5 - Les meilleures de ces troupeaux	4	5
	6 - Les moins bonnes de ces troupeaux	3	4
	7 - Mélange des 3 situations précédentes	6	7
	Nombre constant de vaches traitées par troupeau		
	8 - Au hasard	6	7
	9 - Les meilleures de ces troupeaux	7	5
	10 - Les moins bonnes de ces troupeaux	3	4
	11 - Mélange des 3 situations précédentes	6	6
	12 - Totalité des vaches des troupeaux utilisant la BST	1	1

tielle des bases de données intéressantes expliquent sans doute que certains points n'aient pas encore pu être pris en compte dans les simulations. A l'évidence, l'aspect composition du lait doit être développé dans des simulations futures.

4 / Conséquences pour la sélection de l'absence d'une correction des données pour la BST

La sélection réalisée à partir d'un mélange de données provenant de vaches traitées et non traitées conduit à réduire le progrès génétique annuel créé par le programme de sélection. Par ailleurs, des biais statistiques empêchent de percevoir correctement les niveaux génétiques vrais (des sur- ou des sous-estimations sont possibles). Les deux effets sont clairement nuisibles.

4.1 / Diminution des progrès génétiques annuels

L'ordre de grandeur du taux de réduction des progrès génétiques annuels est de 5 % (tableau 1), quand le taux global de vaches traitées est d'environ 10-20 %, chiffre couramment mentionné par les économistes (Zeddies et Doluschitz 1988, Schmidt 1989). Cette réduction peut être minimisée si seules les mauvaises vaches sont traitées. Il existe en effet une très forte influence de la méthode de choix des vaches traitées. Ces résultats sont obtenus à partir de moyennes d'un assez grand nombre de répétitions (100 pour chaque situation élémentaire en présence de BST et 300 à 500 pour la situation de référence sans BST). Les résultats obtenus par Simianer et Wollny (1989) montrent qu'avec 30 % de vaches traitées au hasard, il y a une réduction de 3 à 4 % du progrès génétique. Ceci n'est pas en contradiction avec notre résultat.

Comme on pouvait le prévoir, l'efficacité de la détection de bonnes mères à taureaux est la caractéristique la plus affectée puisque la supé-

riorité génétique vraie de ces vaches est réduite d'environ 10-15 % (tableau 2). Certaines des anciennes mères à taureaux (vaches A) peuvent être remplacées par de nouvelles vaches de moindre valeur génétique (vaches B). Ceci peut arriver si A est non traitée et B est traitée ou si A répond moins que B au traitement. La première possibilité est fréquente si le traitement à la BST est effectué au hasard. La seconde possibilité est fréquente si seules les bonnes vaches sont traitées. Dans la situation où seules les mauvaises vaches sont traitées, il n'y a qu'un très petit nombre de vaches B capables de remplacer quelques vaches A.

Plus de 50 % du progrès génétique est sous la dépendance du choix des pères à taureaux et des taureaux de service. Puisqu'ils sont jugés à partir des productions laitières de leurs filles, il est logique de penser que la sélection des taureaux n'est pas tout à fait insensible aux phénomènes affectant les productions des femelles. Les résultats de simulation permettent de vérifier cette prédiction, particulièrement pour les pères à taureaux dont la pression de sélection est très élevée. La différentielle de sélection pour ces taureaux est réduite de 5 % (tableau 2). Certains des anciens taureaux (C) peuvent être remplacés par de nouveaux taureaux de moindre valeur génétique (D). Ceci peut arriver si une plus forte proportion de filles du taureau D est traitée ou si les filles du taureau C répondent moins au traitement. La première possibilité est fréquente si la BST est utilisée au hasard. La seconde possibilité est fréquente, si la BST est utilisée uniquement sur des bonnes vaches. Quand les vaches traitées sont mauvaises, presque aucun des mauvais taureaux, même surestimés, ne parvient à être considéré comme père à taureaux. D'un point de vue qualitatif, il se vérifie donc que les mêmes causes ont les mêmes effets, qu'il s'agisse de la sélection des vaches ou de celle des taureaux. Cependant, dans le second cas, les phénomènes sont un peu amortis par le hasard.

4.2 / Biais dans la sélection

En matière de sélection, il existe un biais quand la valeur génétique moyenne d'un grand

Avec 10 à 20 % de vaches traitées à la BST, le progrès génétique annuel diminuerait d'environ 5 %.

Tableau 2. Diminution (%) de l'efficacité (différentielles de sélection) du choix des mères à taureaux, des pères à taureaux, des taureaux de service.

Référence	Méthode de choix des vaches traitées (1)	Mères à taureaux	Pères à taureaux	Taureaux de service
Colleau 1989a	1	7	4	1
	2	10	4	2
	3	2	3	0
Colleau 1989b	4	9	5	2
	5	10	2	2
	6	2	2	3
	7	10	4	4
	8	0	4	4
	9	3	4	4
	10	2	2	4
	11	18	3	4
	12	2	1	2

(1) cf tableau 1. On suppose qu'il y a 10 % de vaches traitées.

Tableau 3. *Ecart (%) par rapport au schéma de sélection antérieur (sans BST) des progrès génétiques réels et des progrès génétiques estimés.*

Référence	Méthode de choix des vaches traitées (1)	Progrès génétiques réels	Progrès génétiques estimés
Colleau 1989a	1	- 4	0
	2	- 4	+ 20
	3	- 2	- 12
Colleau 1989b	4	- 5	+ 2
	5	- 4	+ 22
	6	- 3	- 10
	7	- 6	+ 4
	8	- 6	+ 3
	9	- 7	+ 24
	10	- 3	- 12
	11	- 6	+ 6
	12	- 1	- 1

(1) cf tableau 1. On suppose qu'il y a 10 % de vaches traitées.

nombre d'animaux ayant la même valeur génétique estimée \widehat{G} n'est pas égale à G . G , la véritable valeur génétique, ne fluctue pas autour de \widehat{G} , la valeur prédite, mais autour de $\widehat{G} + B$ où B représente un biais (une valeur négative de B correspond à une surévaluation des valeurs génétiques estimées).

Ignorer le fait que certaines vaches sont traitées induit un biais en faveur des vaches traitées. La performance relative des vaches non traitées est affectée alors que leur performance absolue ne l'est évidemment pas. Ce phénomène essentiel permet de comprendre les résultats du tableau 3. Quand les vaches traitées sont les meilleures laitières, les valeurs de \widehat{G} pour les vaches sélectionnées sont meilleures qu'auparavant. Ceci est encore vrai quand les vaches sont traitées au hasard, bien qu'à un moindre degré. Quand les vaches traitées sont de mauvaises vaches, c'est le contraire qui arrive : la valeur génétique estimée des vaches sélectionnées est réduite. Les mêmes phénomènes peuvent être observés au niveau de la sélection des taureaux, quoiqu'à une moindre échelle.

Les conséquences de ces biais sont doubles. D'abord, ils peuvent mener à des choix erronés (mais ce n'est pas automatique : par exemple de mauvaises vaches traitées sont surestimées mais ne sont jamais choisies comme mères à taureaux) et ensuite, ils empêchent d'évaluer correctement la qualité du travail de sélection qui ne peut être mesurée qu'à partir de la supériorité apparente des animaux sélectionnés sur l'ensemble des candidats. Il s'avère en effet qu'on peut obtenir de très grands désaccords entre les progrès génétiques réels et les progrès génétiques attendus. Des surestimations ou des sous-estimations, de l'ordre de - 10 à + 20 %, peuvent être trouvées en fonction de la politique d'utilisation de la BST (tableau 3). En conséquence, l'évaluation des animaux d'élite serait plus affectée après utilisation de la BST que ne le seraient les gains génétiques en réalité.

La conséquence à long terme d'une telle situation serait certainement une diminution de

la confiance des utilisateurs envers le programme de sélection, qui pourrait affecter ses structures fondamentales et induire des pertes supplémentaires de progrès génétique. Nous sommes ici dans un domaine hautement hypothétique et la modélisation correspondante devient très difficile.

Tous les problèmes précédents (perte de progrès génétique, perturbations dans l'indexation des vaches et des taureaux) pourraient être maintenus à un niveau raisonnable s'il était sûr que la BST soit destinée dans le futur à être utilisée au hasard. Cependant, la sagesse recommande de ne pas dépendre d'une telle hypothèse. Il est vraisemblable que des stratégies d'utilisation seront développées dans le futur en vue de maximiser les recettes pour un même coût de traitement : traitements répétés des vaches qui répondent bien ou qui ont une composition favorable du lait, sans oublier le cas d'animaux à très haut niveau de production en vue de promouvoir la vente de leur descendance (génisses, embryons).

5 / Problèmes de court terme et solutions

L'autorisation d'utiliser librement la BST serait suivie immédiatement de l'arrivée de performances provenant de vaches traitées. Comme le montrent les résultats précédents, il serait plutôt néfaste d'utiliser ces données sans modification comme si rien ne s'était passé.

D'un point de vue théorique, la meilleure stratégie correspondrait d'une part à enregistrer l'information correspondant au traitement, d'autre part à introduire un « effet BST » dans les modèles statistiques utilisés pour évaluer vaches et taureaux.

L'information minimale à collecter sur le terrain serait la réponse à la question la plus simple possible posée aux éleveurs par les contrôleurs laitiers : cette vache a-t-elle été traitée à la BST depuis le dernier passage mensuel ? Cette

En fonction de la politique d'utilisation de la BST, sur les meilleures ou les moins bonnes laitières, les progrès génétiques sont sur ou sous-estimés de - 10 à + 20 %.

Tableau 4. Résultats homologues à ceux du tableau 3 mais après une correction pour la BST (procédure BLUP classique).

Référence	Méthode de choix des vaches traitées (1)	Progrès génétiques réels	Progrès génétiques estimés
Colleau 1989a	1	- 2	- 2
	2	- 7	- 21
	3	- 2	- 16
Colleau 1989b	4	- 2	- 1
	5	- 3	- 12
	6	- 3	- 11
	7	- 2	- 1
	8	- 2	- 1
	9	- 6	- 18
	10	- 3	- 13
	11	- 2	- 1
	12	- 1	- 1

(1) cf tableau 1. On suppose qu'il y a 10 % de vaches traitées.

information est donc individuelle et mensuelle. Collecter plus d'informations (nature du produit commercial, doses, dates d'injection, etc) suppose qu'elles puissent être véritablement utilisées dans les calculs statistiques.

La difficulté de trouver des méthodes appropriées et des paramètres pour corriger les performances ne doit pas être sous-estimée. Ceci est bien montré par certains résultats de simulation, obtenus dans la même situation que précédemment : les vaches sont traitées avec le même produit commercial pendant la même période de 8 mois. En réalité, il existe déjà plusieurs produits commerciaux et surtout, le traitement sera très diversifié en fonction de nombreux facteurs : saison, situation du troupeau vis à vis des quotas, réponses des vaches, etc. La simulation montre que même dans nos conditions optimistes, le développement de facteurs de correction suivant des idées simples venant naturellement à l'esprit, ne permet pas d'éliminer les biais existants et peut même en créer de nouveaux ! On pourrait être tenté par exemple d'inclure le traitement BST comme un nouveau facteur à prendre en considération dans le modèle statistique avec 2 modalités (oui ou non). Le résultat de ces manipulations relativement aisées figure au tableau 4. Si la BST est utilisée au hasard, les gains génétiques sont améliorés. Dans les autres cas, les gains génétiques sont égaux ou même inférieurs à ceux obtenus en l'absence de correction des données. Ceci a été également trouvé par Simianer et Wollny (1989). La raison essentielle est l'existence de nouveaux biais. Si la BST est utilisée sur de bonnes vaches, l'effet de la BST est surévalué et en conséquence les performances de ces vaches sont trop corrigées. Si la BST est utilisée sur de mauvaises vaches, l'effet de la BST est sous-évalué et les performances de ces vaches ne sont pas assez corrigées. Dans les deux cas, la supériorité estimée des vaches sélectionnées est inférieure à leur supériorité vraie. Les mêmes phénomènes sont observés quand on compare des descendance de tau-

reaux. Ceci explique pourquoi, dans le tableau 4, les gains génétiques estimés sont inférieurs aux gains réels, dans le cas où la BST n'est pas utilisée au hasard.

Par conséquent, il apparaît clairement que dans les situations mêmes où les corrections pour la BST sont nécessaires, c'est-à-dire quand le traitement n'est pas fait au hasard, elles sont très risquées si elles sont de conception trop simple. Des procédures de correction efficaces ne peuvent pas être développées immédiatement par les généticiens au moment où les premières données provenant de vaches traitées commencent à être intégrées dans les fichiers de contrôle : de larges bases de données et des études détaillées sont nécessaires. Ceci est en totale contradiction avec le besoin d'une correction immédiate et représente une difficulté majeure.

Etant donné les dangers encourus par une attitude statique ou par des essais de correction prématurée, la meilleure attitude pourrait être intermédiaire. Si les parties traitées de lactation ne sont pas prises en considération pour la sélection, on exclut immédiatement les risques provenant des biais entraînés soit par une absence de correction, soit par une correction trop rigide. Cependant, ceci n'est pas sans inconvénient. Les calculs visant à optimiser l'évaluation des animaux à partir de mélanges de lactations totales et de lactations partielles sont plus importants qu'en présence de lactations totales. Par ailleurs, il y a une certaine perte de précision, due au fait que les débuts de lactation sont moins héréditaires que les lactations totales et leur sont imparfaitement corrélées. Ce problème déjà sensible pour la quantité de lait, ne serait sans doute pas négligeable pour la composition du lait. Les résultats du tableau 5 montrent que, au moins pour la quantité de lait, cette stratégie correspondrait à une réduction modérée des progrès génétiques (2-3 %) et qu'il n'existerait plus de biais, comme prévu.

La prise en compte d'un traitement éventuel à la BST nécessiterait de corriger les données utilisées pour estimer les valeurs génétiques, suivant une méthodologie spéciale qui est encore à trouver.

6 / Problèmes de moyen terme et solutions

La réutilisation des parties traitées de lactation pour la sélection suppose des corrections adéquates qui ne peuvent pas être obtenues en comparant simplement la lactation totale de vaches traitées et de vaches non traitées. Le traitement statistique des données doit alors commencer au niveau des contrôles mensuels et non au niveau de la lactation globale, de manière à comparer à la même lactation les contrôles mensuels traités et non traités d'un même animal. Ceci permet d'obtenir des estimations des effets de la BST non biaisées par le système de choix des vaches traitées et intégrant la variabilité individuelle de la réponse. Ceci permettrait également une correction globale pour la lactation totale qui tiendrait compte d'une possibilité de durées inégales de traitement.

Cependant, le traitement idéal d'une telle information mensuelle soulève de grandes difficultés. D'abord, on doit se rappeler que le problème n'équivaut pas à comparer les contrôles mensuels de vaches traitées et non traitées, parce que des biais pourraient exister, exactement comme dans le cas des productions totales. Par ailleurs, l'action de la BST est très rapide et cyclique, à la fois pour la quantité de lait et la composition du lait. Par conséquent, l'intervalle de temps séparant la date de l'injection et la date du contrôle laitier suivant est certainement une variable essentielle, particulièrement pour l'indexation des vaches. Mais il est possible qu'il soit considéré comme déraisonnable de demander toute cette information au producteur laitier. Par ailleurs, des effets à long terme du traitement sur les stades ultérieurs de la lactation, non traités, ne sont pas à exclure, particulièrement si le traitement est long. Les points mentionnés pourraient être appréhendés statistiquement en incluant dans le modèle des fonctions non linéaires du temps. Mais la théorie correspondante doit encore être développée

et testée : des difficultés sont déjà rencontrées dans la modélisation des courbes normales de lactation (Koops 1986, Grossman et Koops 1988). Si l'effet de la BST est partiellement génétique et si la réponse à la BST est partiellement prise en compte dans l'objectif de sélection, les procédures optimales de correction seront encore plus complexes.

7 / Problèmes de long terme et solutions

En plus d'une bonne méthodologie statistique, qui reste encore à trouver, le développement de facteurs de correction adéquats exige d'autres conditions.

a / Très bon taux de déclaration des traitements

Ceci suppose une très forte organisation des associations de contrôle laitier et des mesures efficaces pour empêcher les éleveurs de frauder. Malheureusement, cette fraude serait relativement aisée puisque la BST n'est détectable que dans le sang, dans les 10 premiers jours suivant l'injection. L'éventualité de la fraude est bien entendu une question totalement ouverte, mais les généticiens doivent avoir des solutions à proposer si elle survient.

b / Contexte biotechnologique relativement stable et homogène

La situation la plus délicate pour l'évaluation de facteurs de correction serait celle où l'éleveur pourrait choisir à tout moment entre plusieurs préparations BST, qui différeraient par la durée de relargage du produit actif. Ceci est déjà le cas aujourd'hui quand on compare les caractéristiques de préparations provenant de diverses firmes. On ne peut exclure pour l'avenir une diversification des productions d'une même firme, en vue de couvrir l'ensemble des besoins du marché. Les producteurs laitiers pourraient également affecter de manière permanente le potentiel de production des vaches

Tableau 5. Résultats homologues à ceux du tableau 3 mais après utilisation d'une procédure BLUP multicaractère (traitement statistique optimal d'un mélange de lactations complètes pour les vaches non traitées et de lactations partielles de 2 mois pour les vaches traitées).

Référence	Méthode de choix des vaches traitées (1)	Progrès génétiques réels	Progrès génétiques estimés
Colleau 1989a	1	- 2	- 3
	2	- 3	- 3
	3	0	- 1
Colleau 1989b	4	- 3	- 2
	5	- 1	+ 1
	6	- 1	- 2
	7	- 2	- 1
	8	- 2	- 2
	9	- 3	- 1
	10	- 1	- 1
	11	- 2	- 2
	12	- 1	- 6

(1) cf tableau 1. On suppose qu'il y a 10 % de vaches traitées.

choisies. Un producteur donné, une année donnée, pourrait donc utiliser plus d'un produit, ce qui pourrait affaiblir toute stratégie de calcul visant à intégrer une interaction BST x troupeau, possible et même vraisemblable.

Le développement rapide des biotechnologies ne facilitera pas l'élimination, par des méthodes statistiques, de l'effet de telles manipulations sur les productions individuelles des vaches.

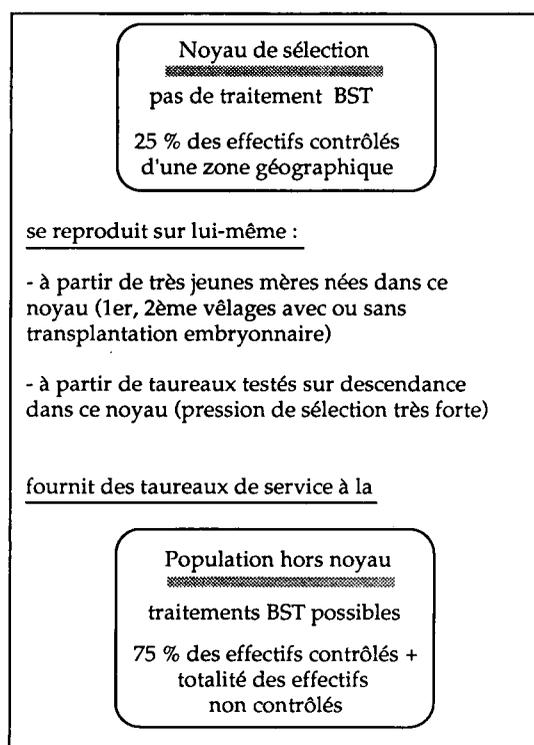
c / Mise en place de noyaux de sélection

Si les conditions précédentes ne sont pas réunies, la structure même des programmes de sélection laitière devra être repensée à la base. Le travail de sélection devra être limité à des troupeaux fiables, liés à l'unité de sélection par un contrat. Dans ces troupeaux, toute manipulation éventuelle serait enregistrée et ne serait effectuée que si elle est désirée (par exemple si la réponse à la BST est considérée comme un critère supplémentaire de sélection).

Combien de troupeaux de ce type seraient nécessaires ? Il y a quelques années, et pour des raisons tout à fait indépendantes des nuisances possibles des biotechnologies, des auteurs ont proposé de concentrer la sélection dans des noyaux de sélection utilisant le transfert embryonnaire et abandonnant le testage sur descendance en ferme : la sélection est effectuée d'après les performances des ancêtres et des collatéraux (Nicholas et Smith 1983). Un seul troupeau de 500 vaches permettrait d'obtenir un progrès génétique plus important que des structures intéressantes plusieurs centaines de milliers de vaches. Cette idée est certainement extrême étant donné que les premiers cal-

**Une solution
à long terme
pourrait être
de baser
les programmes
de sélection
sur une population
plus réduite
mais très efficace.**

Figure 1. Principes de fonctionnement d'un noyau de sélection laitière de grande taille.



culs théoriques ne tiennent aucun compte des phénomènes génétiques néfastes qui ont lieu dans les petites populations fermées et que les caractères de reproduction et de longévité ne sont pas sélectionnés. (En effet, ceux-ci ne sont pas très héréditaires et donc exigent le testage des taureaux sur un grand nombre de filles). Cette dernière supposition n'est pas conforme au profil de la vache du futur : cette dernière aura un très haut niveau de production, avec des stress possibles provenant du supplément de dépenses énergétiques causé par l'utilisation de produits issus des biotechnologies. Des gènes favorables à la reproduction, à la résistance aux maladies et plus généralement à la longévité seront de plus en plus indispensables.

Des programmes mixtes, utilisant la transplantation embryonnaire mais conservant le testage sur descendance, ont été proposés (Colleau et Mocquot 1989). Environ 25 % des vaches actuellement contrôlées pourraient être concernées (figure 1). Le maintien d'une cohérence totale à l'intérieur de ces troupeaux spécialisés en sélection, tout en ne les coupant pas totalement des bénéfices éventuels provenant des biotechnologies, serait certainement une difficulté majeure. Mais dans une perspective à long terme, cette attitude serait moins risquée que de s'en tenir au statu quo en matière de structures et de se fier uniquement à la qualité hypothétique des corrections statistiques.

Conclusion

L'utilisation libre de la BST dans les troupeaux laitiers sera certainement un défi technique dans le domaine de la sélection animale. La sélection dans le cadre de bonnes procédures d'évaluation est encore nécessaire parce que dans le long terme, elle est une des méthodes les plus économiques pour augmenter la productivité animale et parce que les limites de la sélection sont éloignées, au moins si l'on se fie aux résultats obtenus sur animaux de laboratoire. Les propriétés attractives actuelles de la BST (souplesse, bonne efficacité pour la production laitière, relative simplicité d'emploi) ainsi que leur amélioration possible, suite aux recherches intensives menées dans les laboratoires, rendent difficile, au moins à court terme, la mise en oeuvre de méthodes de correction bien appropriées. Ces méthodes peuvent probablement être imaginées pourvu qu'on laisse un minimum de temps aux généticiens et aux théoriciens étant donné la complexité du problème. La situation peut être plus délicate s'il y a fraude puisque la détection de la BST dans le sang n'est efficace que si elle est effectuée systématiquement.

Les effets néfastes qu'on pourrait enregistrer dans un schéma de sélection laitière seraient d'une part une diminution significative des gains génétiques et surtout, des distorsions et des biais empêchant de visualiser correctement le niveau génétique des populations sélectionnées. Ce dernier point irait donc à l'encontre de certaines améliorations statistiques récentes et correspondrait même en pratique à une régres-

sion technique dans le domaine de l'évaluation des reproducteurs.

La seule solution à long terme pourrait être un changement significatif dans la structure même des programmes de sélection. On pourrait les baser sur une population active (contrôlée et impliquée dans la sélection) plus réduite qui pourrait bénéficier par ailleurs d'autres biotechnologies, notamment dans le domaine de la reproduction (transfert d'embryons, sexage

des embryons et clonage ...). Le besoin de telles modifications se fera d'autant plus sentir que la fraude sera développée et(ou) que la technologie évoluera rapidement.

Ce texte a été présenté en anglais à la 40^e Réunion annuelle de la FEZ à Dublin (Irlande), le 30 août 1989.

Principales références bibliographiques

Cette liste inclut volontairement des articles non cités, mais utiles pour une compréhension approfondie des sujets évoqués.

- BARNES M.A., KAZMER G.W., AKERS R.M., PEARSON R.E., 1985. Influence of selection for milk yield on endogenous hormones and metabolism in Holstein heifers and cows. *J. Anim. Sci.*, 60, 271.
- BAUMAN D.E., HARD D.L., CROOKER B.A., PARTRIDGE M.S., GARRIC K., SANDLES L.D., ERB H.N., FRANSON S.E., HARTNELL G.F., HINTZ R.L., 1989. Long-term evaluation of a prolonged-release formulation of N-methionyl bovine somatotropin in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 72, 642-651.
- BONCZEK R.K., YOUNG C.W., WHEATON J.E., MILLER K.P., 1988. Responses of somatotropin, insulin, prolactin and thyroxine to selection for milk yield in Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 71, 2470-2479.
- BURNSIDE E.B., MEYER K., 1988. Potential impact of bovine somatotropin on dairy sire evaluation. *J. Dairy Sci.*, 71, 2210-2219.
- CHILLIARD Y., 1988a. Rôles et mécanismes d'action de la somatotropine (hormone de croissance) chez le ruminant en lactation. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 28, 39-59.
- CHILLIARD Y., 1988b. Review: long-term effects of recombinant bovine somatotropin (r BST) on dairy cow performances. *Ann. Zoot.*, 37, 159-180.
- CHILLIARD Y., VERITE R., PFLIMLIN A., 1989. Effets de la somatotropine bovine sur les performances des vaches laitières dans les conditions françaises d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 2, (5), 301-312.
- COLLEAU J.J., 1989a. Impact of the use of bovine somatotropin (BST) on dairy cattle selection. *Génét. Sél. Evol.*, 21, 479-481.
- COLLEAU J.J., 1989b. Unpublished results.
- COLLEAU J.J., MOCQUOT J.C., 1989. Using embryo transfer in cattle breeding. Proceedings of the 5th Annual Meeting of the European Embryo Transfer Association, September 8-9, 1989, Lyon, France.
- DANELL B., 1982. Studies on lactation yield and individual test-day yields of Swedish dairy cows. 4 extension of part lactation records for use in sire evaluation. *Acta Agric. Scand.*, 32, 103-114.
- DAVIS S.R., FARR V.C., GLUCKMAN P.D., BREIER B.H., 1989. A note on annual variation of plasma insulin-like growth factor. I. Concentrations and growth rates of Jersey heifers differing in genetic merit for milk production. *Anim. Prod.*, 48, 467-470.
- DUCROCQ V., 1990. Les techniques d'évaluation génétique des bovins. *INRA Prod. Anim.*, 3, (1), 3-16.
- FLUX D.S., MACKENZIE D.D.S., WILSON G.F., 1986. Plasma metabolite and hormone concentrations in Friesian cows of differing genetic merit measured at two feeding levels. *Anim. Prod.*, 38, 377-384.
- FOULLEY J.L., CALOMITI S., GIANOLA D., 1982. Ecrire des équations du BLUP multicaractères. *Ann. Génét. Sél. anim.*, 14, 309-326.
- FRANGIONE T. and CADY R.A., 1988. Effects of bovine somatotropin on sire summaries for milk production and milk yield heritabilities. *J. Dairy Sci.*, 71, suppl. 1, 239.
- GRASER H.U., NIEBEL E., FEWSON D., 1985. Model calculations for the optimal planning of beef performance tests using a German dual-purpose cattle population as an example. *Liv. Prod. Sci.*, 13, 229-250.
- GRAVERT H.O., 1989. Influences of somatotropin on evaluation of genetic merit for milk production. In (Serjensen K. Ed). *Use of somatotropin in Livestock production*, 120-131, Elsevier, London, 333pp.
- GROSSMAN M., KOOPS W.J., 1988. Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 71, 1598-1608.
- HENDERSON C.R., 1975. Comparison of alternative sire evaluation methods. *J. Anim. Sci.*, 41, 760-770.
- HENDERSON C.R., 1988. Theoretical basis and computational methods for a number of different animal models. *Proceeding of the animal model workshop*. Edmonton, Alberta Canada. *J. Dairy Sci.*, suppl. 2, 1-16.
- KAZMER G.W., BARNES M.A., AKERS R.M., PEARSON R.E., 1986. Effect of genetic selection for milk yield and increased milking frequency on plasma growth hormone and prolactin concentration in Holstein cows. *J. Anim. Sci.*, 63, 1220.
- KOOPS W.J., 1986. Multiphasic growth curve analysis. *Growth*, 50, 169-177.
- KORVER S., 1988. Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: a review. *Liv. Prod. Sci.*, 20, 1-13.
- LEITCH H.N., BURNSIDE E.B., Mc LEOD G.K., Mc BRIDE B.W., KENNEDY B.W., WILTON J.W., BURTON J.H., 1987. Genetic and phenotypic effects of administration of recombinant bovine somatotropin to Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 70, suppl. 1, 128.
- Mc DANIEL B.T., HAYES P.W., 1988. Absence of interaction of merit for milk with recombinant bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.*, 71, suppl. 1, 240.
- NYTES A.J., COMBS D.K., SHOOK G.E., 1988. Efficacy of recombinant bovine somatotropin injected at three dosage levels in lactating dairy cows of different genetic potentials. *J. Dairy Sci.*, 71, suppl. 1, 123.
- NICHOLAS F.W., SMITH C., 1983. Increased rate of genetic change in dairy cattle by embryo transfer and splitting. *Anim. Prod.*, 36, 341-353.
- OLDENBROEK J.K., GARSSSEN G.J., FORBES A.B., JONKER L.J., 1989. The effect of treatment of dairy cows of different breeds with recombinantly derived bovine somatotropin in a sustained-delivery vehicle. *Liv. Prod. Sci.*, 21, 13-34.
- RENDEL J.M., ROBERTSON A., 1950. Estimation of genetic gain in milk yield by selection in a close herd of dairy cattle. *J. Genet.*, 50, 1-8.
- RONGE H., BLUM J., CLEMENT C., JANS F., LEVENBERGER H., BINDER H., 1988. Somatomedin C in dairy cows related to energy and protein supply and to milk production. *Anim. Prod.*, 47, 165-183.
- SCHAEFFER L.R., 1984. Sire and cow evaluation under multiple trait models. *J. Dairy Sci.*, 67, 1567-1580.
- SCHMIDT G.H., 1989. Economics of using bovine somatotropin in dairy cows and potential impact on the US dairy industry. *J. Dairy Sci.*, 72, 737-745.
- SIMIANER H., WOLLNY C., 1989. Impact of the potential use of Bovine somatotropin (BST) on the efficiency of a conventional dairy cattle breeding scheme. *Liv. Prod. Sci.*, 22, 31-47.
- VERITE R., RULQUIN H., FAVERDIN P., 1989. Effect of slow-released somatotropin on dairy cow performances EEC In (Serjensen K. Ed.) *Use of somatotropin in Livestock production*, 269-273, Elsevier, London, 333 pp.

VERRIER E., 1989. Prediction de l'évolution de la variance génétique dans les populations animales d'effectif limité soumises à sélection. Thèse de docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 259pp.

WILMINK J.B.M., 1988. Selection on fat and protein to maximize profit in dairy herds. Liv. Prod. Sci., 20, 299-316.

ZEDDIES J., DOLUSCHITZ R., 1988. Potentielle einzelbetriebliche und sektorale Auswirkungen des Einsatzes von Bovinem Somatotropin (BST) in der Milcherzeugung der Bundesrepublik Deutschland. Ber. Ldw, 66, 295-324.

Summary

Effect of bovine somatotropin (BST) on the efficiency of dairy breeding schemes.

A free access to bovine somatotropin (BST) in recorded dairy herds would bring some disturbances into dairy breeding schemes.

The existing numeric simulation results show that cow selection as well as bull selection would be affected. The overall effect would be a reduction of annual genetic gains and most

of all, a misevaluation of the true efficacy of breeding schemes. Optimistic or pessimistic views of the selection scheme would result according to the screening policy for BST treatment.

Consequently, correcting the data for a possible treatment is of the utmost importance. Simulations show that to keep some reliability in any circumstance, these corrections should proceed from within animal comparisons between treated and untreated monthly records. Since the relevant methodology does not exist yet and since the accuracy of such corrections is not yet known, the only immediate possibility would be for treated cows to extend part lactations preceding the first BST injection.

On the long run, if corrections are not implemented for reasons described within the text, selection work should be concentrated within contracted herds, using intensive reproduction techniques.

COLLEAU J.J., 1990. Effet de la somatotropine bovine (BST) sur l'efficacité des programmes de sélection laitière. INRA Prod. Anim., 3 (2), 93-102.