

INRA Prod. Anim.,
2000, 13 (5), 349-360

J.B. COULON¹, L. PÉROCHON^{1,2}

¹INRA Unité de Recherche sur
les Herbivores, Theix,
63122 Saint-Genès Champanelle

²INRA Unité de Recherche
en Epidémiologie, Theix,
63122 Saint-Genès Champanelle

Courriel : jbc@clermont.inra.fr

Evolution de la production laitière au cours de la lactation : modèle de prédiction chez la vache laitière

La prédiction de l'évolution de la production laitière à l'échelle individuelle ou du troupeau est un puissant outil de gestion des performances du troupeau, d'autant plus important que le contingentement de la production nécessite une connaissance précise des productions envisageables à court et moyen terme.

De nombreux travaux ont été entrepris depuis une trentaine d'années pour décrire l'évolution de la courbe de lactation des vaches laitières (Masselin *et al* 1987, Beever *et al* 1991). Cependant, peu se sont attachés à prédire une courbe individuelle en prenant en compte les caractéristiques des animaux

(Wood 1969, Strandberg et Lundberg 1991) et aucun, à notre connaissance, n'a fait l'objet d'une validation sur des données indépendantes de celles ayant servi à sa construction. Nous avons récemment proposé un modèle empirique de prédiction prenant en compte certaines caractéristiques des animaux (âge, potentiel de production, race) et intégrant l'ensemble des facteurs de variation connus de la production laitière (saison, stade de lactation, stade de gestation), excepté les facteurs alimentaires et sanitaires (Pérochon et al 1996). L'objectif de ce modèle est de prédire la production hebdomadaire dans des conditions d'alimentation normales (conformes aux recommandations alimentaires de l'INRA) chez des vaches indemnes de troubles sanitaires graves, afin d'avoir une référence optimale de production. La qualité d'un modèle dépend en premier lieu de ses aptitudes d'ajustement aux données ; celui-ci permet un ajustement très précis de la production individuelle hebdomadaire ce qui montre la pertinence des équations retenues. Ensuite, les prédictions qu'il permet doivent être d'une précision suffisante pour son utilisation. Ces prédictions dépendent fortement des valeurs des paramètres qui sont fonction des caractéristiques individuelles des vaches. Notre modèle donne une prédiction satisfaisante de

Résumé

L'objectif de cette étude a été de construire un modèle empirique de prédiction de l'évolution de la production laitière au cours de la lactation chez des vaches correctement alimentées et indemnes de troubles sanitaires majeurs. Il a été élaboré à partir d'un jeu de 877 lactations provenant de 5 troupeaux expérimentaux de l'INRA, représentant une large gamme de situations (niveau de production, période de vêlage, âge ...) et permettant de disposer d'échantillons distincts pour la construction et la validation du modèle. Le modèle final proposé intègre les effets du stade de lactation, du stade de gestation et de la saison. Les variables d'entrée nécessaires sont la date de vêlage, la parité, la date d'insémination fécondante et le potentiel de production. Ce dernier est estimé à partir d'une valeur de production mesurée entre les semaines 2 à 8 de lactation. Le modèle final permet un très bon ajustement des courbes de production individuelles, même lorsqu'elles présentent des formes inhabituelles. Sa qualité de prédiction à l'échelle individuelle est limitée : 29% des lactations de l'échantillon de validation présentent un écart moyen au modèle supérieur à 2 kg/j. En revanche, pour des groupes de vaches la prédiction devient excellente : sur des lots de 20 vaches, l'écart moyen au modèle ne dépasse 1 kg/j que dans 2 % des cas. Ce modèle est donc un outil efficace de prédiction d'une référence de production à l'échelle d'un troupeau. Les données nécessaires à son utilisation pratique sont précisées en annexe.

la production sur les données de construction, au moins à l'échelle de groupes d'une dizaine de vaches.

L'objectif de cette étude est dans un premier temps de tester la validité de la prédiction obtenue par ce modèle (initial) sur des données extérieures à sa construction. Dans un second temps, nous avons construit et validé un nouveau modèle à partir des résultats obtenus dans la première phase. Une illustration de son utilisation est proposée à partir de données expérimentales. Enfin, les différentes étapes à suivre pour se servir du modèle sont également détaillées à partir d'un exemple concret.

1 / Données

Ce travail a été réalisé à l'aide des données issues des troupeaux expérimentaux INRA situés à Marcenat, Orcival, Le Pin, Rennes et

Theix au cours des 10 à 20 dernières années. Sur ces troupeaux on dispose d'une connaissance précise des conditions de conduite des animaux, et en particulier des conditions d'alimentation et du statut sanitaire qui sont deux facteurs primordiaux pouvant affecter la production laitière. Les données de 877 lactations effectuées par 751 vaches ont été utilisées. Les règles appliquées pour retenir ces lactations ont été décrites en détail par Pérochon *et al* (1996). Ainsi, parmi les données disponibles sur ces cinq domaines, on a retenu les lactations d'une durée au moins égale à 33 semaines, de vaches n'ayant pas eu de troubles sanitaires majeur et ayant été alimentées selon les recommandations INRA. Pour chacune de ces lactations on dispose d'une valeur de production laitière par semaine, moyenne de 2 à 7 mesures journalières. Les dates de vêlage et d'insémination fécondante sont connues. Les caractéristiques des lactations sont présentées au tableau 1. Cet échantillon présente l'intérêt de couvrir une

Tableau 1. Caractéristiques des lactations utilisées

	Echantillon modèle initial	Nouvel échantillon	Echantillon d'illustration
Domaine	Marcenat, Theix Orcival, Rennes	Rennes, Le Pin	Marcenat
Effectif	339	538	145
Période d'étude	67-88	82-95	86-93
<i>Rang de lactation</i>			
1	141	224	42
2	81	160	35
3 et +	117	154	68
<i>Race</i>			
Française Frisonne (FF)	65	0	0
Montbéliarde (MO)	78	0	82
Holstein (HO)	0	375	63
Normande (NO)	0	57	0
HO×FF (HF)	196	106	0
<i>Age au premier vêlage</i>			
2 ans	97	211	0
3 ans	242	330	145
<i>Période de vêlage</i>			
set-oct-nov	198	284	79
déc-janv	122	210	66
fév-mars	19	51 ⁽¹⁾	0
<i>Production laitière maximale (kg/j)</i>			
moyenne	26,4	32,9	26,6
écart type	6,5	7,1	6,2
<i>Semaine du pic de production</i>			
3-4	119	135	34
5-6	135	215	81
7-8-9	70	145	24
10-11-12	15	46	6
<i>Ecart entre la production maximale hebdomadaire et la production initiale⁽²⁾ (kg/j)</i>			
moyenne	6,8	8,9	6,3
écart type	2,3	3,4	2,7

⁽¹⁾ Pas de vêlages en mars au Pin

⁽²⁾ Production initiale = moyenne des productions des 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} jours de lactation

large gamme de niveaux de production et de périodes de vêlage. Dans la première partie de cette étude (validation du modèle initial), les 538 lactations des domaines de Rennes et du Pin ont été utilisées pour valider le modèle construit sur les 339 lactations des domaines de Theix, Marcenat et Orcival. Dans la partie suivante (création du modèle final), l'ensemble des données (877 lactations) a été utilisé (cf. détails ci-après). Un exemple d'utilisation du modèle final a ensuite été élaboré à partir de 145 lactations issues d'une expérimentation incluant plusieurs niveaux d'alimentation hivernale. Enfin, pour la validation, nous avons utilisé l'ensemble des 877 lactations, réparties en deux groupes.

2 / Validation du modèle initial

Le modèle initial est celui présenté par Pérochon *et al* (1996). Il est composé de la somme de trois équations (tableau 2). La première équation, issue des travaux de Morant et Gnanasakthy (1989), décrit la forme générale de la courbe de production. La deuxième reflète l'effet de la saison. Enfin, la dernière équation représente l'effet de la gestation. Toutes ces équations dépendent de la semaine de lactation. De plus, le modèle utilise des fonctions linéaires de prédiction des paramètres de la forme générale de la courbe de production. Ces fonctions de prédiction utilisent les caractéristiques individuelles des vaches.

Nous avons repris ce modèle de façon simplifiée en ne tenant pas compte de l'effet race dans la prédiction des paramètres de la forme générale de la courbe de production. En effet, l'échantillon de validation comportait des animaux dont la race n'était pas prise en compte dans le modèle initial (race Normande). D'autre part, dans le modèle initial, bien qu'il soit significatif pour certains paramètres, le facteur race n'avait qu'une très faible influence sur la qualité de la prédiction de la production laitière hebdomadaire. Les variables explicatives utilisées par les fonctions de prédiction des paramètres de l'équation de la forme générale de la courbe de production sont le numéro de lactation, la date de vêlage,

la date de l'insémination fécondante et la production moyenne journalière en 5ème semaine de lactation.

La démarche retenue a été la suivante : pour chacune des 538 lactations, on a calculé les valeurs de production hebdomadaire prédites par le modèle initial, puis les écarts aux valeurs observées pour chaque semaine, ainsi que la moyenne des écarts sur les semaines 5 à 35 de lactation. Les écarts hebdomadaires ont ensuite été analysés (procédure GLM à mesures répétées, SAS 1987) en introduisant dans le modèle statistique les variables suivantes : domaine, race (en fonction du domaine), numéro de lactation (en fonction du domaine et de la période de vêlage), période de vêlage (en fonction du domaine), semaine d'insémination fécondante, production initiale (moyenne des productions journalières des jours 4 à 6 après le vêlage), semaine du pic, écart entre la production initiale et maximale et âge au premier vêlage des primipares (en fonction du domaine).

Résultats

En moyenne sur les 538 lactations des domaines de Rennes et du Pin, le modèle sous-estime les valeurs observées (figure 1). L'écart moyen au modèle est ainsi de 0,8 kg/j ($\pm 2,7$). Il est passé de 0,3 kg/j en semaine 10 à 1,6 kg/j en semaine 35. Cet écart moyen cache une variabilité individuelle importante.

L'effet de la race (Holstein *vs* Normande) sur les écarts au modèle, testé sur le domaine du Pin où les deux races sont présentes, n'a pas été significatif (tableau 3). L'effet de l'âge au premier vêlage des primipares, testé sur le domaine de Rennes (vêlages à 2 ans et à 3 ans) sur l'écart au modèle, a été identique pour les deux types d'animaux (respectivement 1,4 et 1,3 kg/j). L'effet du numéro de lactation (primipares *vs* multipares), testé sur les deux domaines et corrigé pour tenir compte des différences de période de vêlage, n'a pas été significatif (tableau 3).

L'effet de la période de vêlage a été significatif et différent selon les domaines. Au domaine du Pin, les lactations ayant débuté

Tableau 2. Description des équations du modèle.

<p>Evolution de la lactation = Forme générale + Effet de la saison + Effet de la gestation avec : Forme Générale = $a \exp [(b_1 t'^2 / 2) + (b_2 / t) - c(1 + t'/2) t']$ avec : t = la semaine de lactation $t' = (t - 21,4) / 100$ a, b_1, b_2 et c = paramètres dépendant de la race, de la parité et du potentiel de production de l'animal.</p> <p>Effet de la saison = $0,0065 - 1,26 \cos [2\pi (t_v + t - 1) / 52] + 0,374 \sin [2\pi (t_v + t - 1) / 52]$ avec : t = la semaine de lactation t_v = la semaine de vêlage</p> <p>Effet de la gestation = $-\exp[a_2 (t_g - 18)] \exp (- a_3 t_g)$ avec : t = la semaine de lactation t_g = la semaine de gestation > 18 a_2 et a_3 = paramètres dépendant de la parité et du niveau de production</p>
--

Tableau 3. Effet de la race, de l'âge au premier vêlage, de la parité et de la période de vêlage sur l'écart entre les valeurs observées et prédites par le modèle initial, appliqué à l'échantillon de validation.

	Race ⁽¹⁾		Age au 1er vêlage ⁽²⁾		Parité ⁽³⁾		Période de vêlage ⁽³⁾			
	HF	NO	2	3	1	2 et +	Rennes		Le Pin	
							S/O/N	D/J	D/J	F
Ecart moyen	0,4	0,0	1,4	1,3	0,4	0,3	1,3 **	-0,1	0,3	0,0
Semaine 10	0,0	0,2	0,9	1,0	0,2	0,0	0,7 **	-0,2	-0,1	0,1
Semaine 15	-0,4	-0,2	1,7	1,1	0,4 *	-0,2	1,0 **	-0,5	0,5 *	-0,6
Semaine 20	0,3	0,4	1,7	1,3	0,2	0,1	1,2 **	-0,6	0,6 **	-0,7
Semaine 25	0,1	-0,2	2,0	1,4	0,4	0,5	2,0 **	0,1	0,2	-0,6
Semaine 30	0,7	0,2	1,6	1,8	0,7	1,0	1,9 **	0,3	0,5	0,5
Semaine 35	1,8 *	0,9	1,2 *	2,2	1,4	1,6	1,9 **	0,5	1,3	2,2

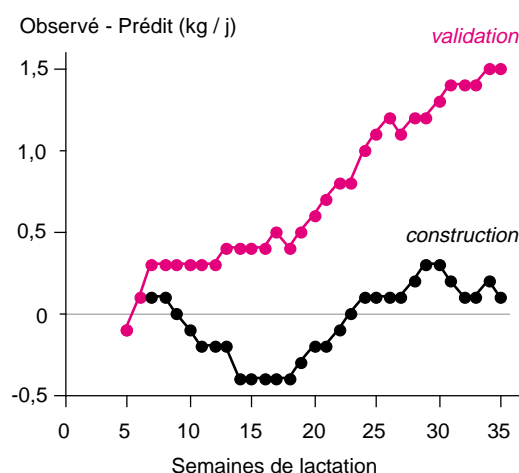
* : P<0,05 ; ** : P<0,01

⁽¹⁾ Analyse faite sur domaine du Pin (vêlages de décembre, janvier et février), n = 165.

⁽²⁾ Analyse faite sur les données de Rennes (vêlage de septembre, octobre et novembre), n=133.

⁽³⁾ Analyse faite sur les données de Rennes et du Pin (n=528), compte tenu de la période de vêlage (vêlages de septembre, octobre et novembre d'une part (S/O/N) et de décembre et janvier d'autre part (D/J) pour Rennes, et vêlages de décembre et janvier d'une part (D/J) et de février (F) d'autre part pour Le Pin), du domaine, et du numéro de lactation.

Figure 1. Evolution de l'écart entre les valeurs observées et prédites par le modèle initial sur les échantillons de construction et de validation.



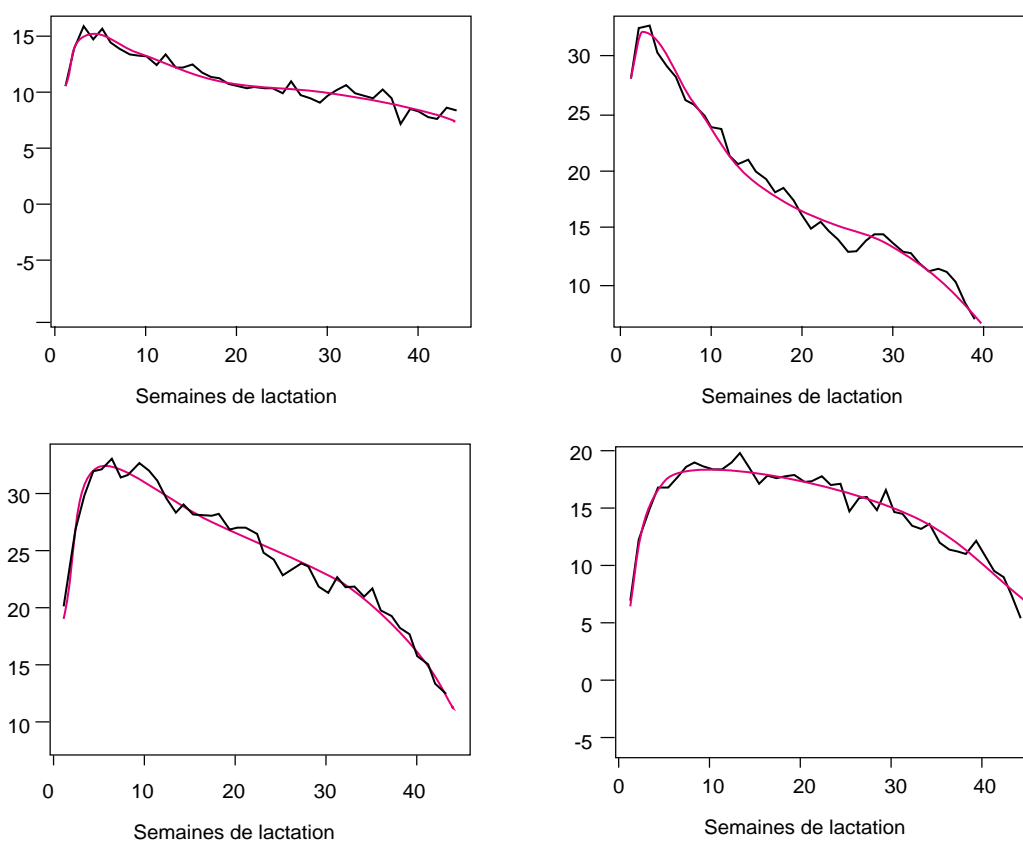
en décembre et janvier sont très bien prédites, en dehors d'une légère sous-estimation entre les semaines 15 et 20 (de 0,5 kg/j, P<0,01) et en toute fin de lactation (de 1 kg/j, P<0,01). Les lactations faisant suite aux vêlages de février sont en moyenne bien prédites (écart moyen de -0,1 kg/j), mais avec une forte variabilité selon la période : en juillet (semaine 21 à 25) la production est sous-estimée d'environ 1,5 kg/j (P<0,01), et en octobre (semaine 31 à 35) elle est sur-estimée d'environ 1,5 kg/j. A Rennes, les lactations suivant les vêlages d'automne (septembre, octobre, novembre) sont sous-estimées de manière croissante au cours de la lactation (l'écart au modèle est significatif durant toute la lactation), alors que les vêlages d'hiver (décembre et janvier) conduisent à des sous-estimations, en particulier entre la semaine 12 et 20 de lactation (-0,7 kg/j environ, P<0,01), soit entre le 15 mars et le 15 mai.

INRA Productions Animales, décembre 2000

3 / Elaboration du modèle final

3.1 / Elaboration du modèle

Améliorer le modèle peut se faire en changeant les équations (cf tableau 2) et/ou les fonctions de prédiction des paramètres de l'équation de la forme générale de la courbe de production. Les résultats précédents montrent un effet de la saison de vêlage. Comme celui-ci est déjà représenté par une équation, cela aurait pu nous conduire à la modifier. Cependant, dans Pérochon *et al* (1996), l'effet de la saison est considéré comme représentant un effet "durée du jour". L'étude actuelle montre bien un effet lié à la saison, mais celui-ci ne représente pas forcément le même phénomène biologique. Nous avons donc choisi de ne pas mélanger ces deux effets et, donc, de conserver telles quelles les équations du modèle en ne modifiant que les fonctions de prédiction des paramètres de l'équation de la forme générale de la courbe de production. L'amélioration consiste en l'ajout d'un effet saison dans ces fonctions et à tester de nouveau l'effet de l'âge au premier vêlage des primipares. Dans un premier temps, le modèle a été ajusté à chaque courbe individuelle pour obtenir pour chacune d'entre elles un jeu de valeurs pour les paramètres de l'équation de la forme générale de la courbe de production (tableau 2). Puis nous avons créé des fonctions de prédiction de ces paramètres au moyen d'un modèle linéaire multiple. Les variables utilisées dans ces fonctions de prédiction étaient : le potentiel de production (production laitière durant la 5ème semaine de lactation), la parité et son interaction avec le potentiel de production, l'âge au premier vêlage (inférieur ou supérieur à 850 jours) en fonction de la parité et, enfin, la saison de vêlage. Pour tenir compte de l'aspect cyclique de cette dernière variable, nous l'avons codé de la manière suivante : $\cos(2\pi \text{ semvel} / 52) + \sin(2\pi \text{ semvel} / 52)$, semvel étant la semaine calendaire du vêlage. La sélection des variables explicatives s'est effectuée par analyse descen-

Figure 2. Exemples de différentes formes de courbes de lactation ajustées par le modèle final.

dante associée à la technique bootstrap (Huet *et al* 1992), afin de limiter autant que possible l'effet de données particulières. Cette analyse s'est effectuée sur l'ensemble de la population des lactations disponibles (339+538).

3.2 / Résultats

Comme dans l'étude initiale, ce modèle permet un ajustement très précis des courbes de lactation individuelles, même lorsqu'elles présentent des formes inhabituelles (figure 2). Sur les 877 lactations utilisées, 99 % présentent une moyenne des écarts hebdomadaires au modèle inférieure à 0,1 kg/j.

La variabilité des valeurs des paramètres est importante. Le paramètre *a*, qui contrôle le niveau de production, varie ainsi de 9 à 38 et dépend fortement de la parité. La persistance, représentée par le paramètre *c*, varie de 1 à 5 (en moyenne 2,2 pour les primipares et 2,9 pour les multipares). Les variations durant la phase décroissante de la lactation sont représentées par le paramètre *b1*, qui présente une amplitude très importante : de -34 à 28. La croissance initiale est quant à elle représentée par le paramètre *b2*, variant de -1,7 à 0,0. Les fonctions de prédiction des paramètres de l'équation de la forme générale de la courbe de lactation sont détaillées en annexe pour la 5^{ème} semaine de lactation.

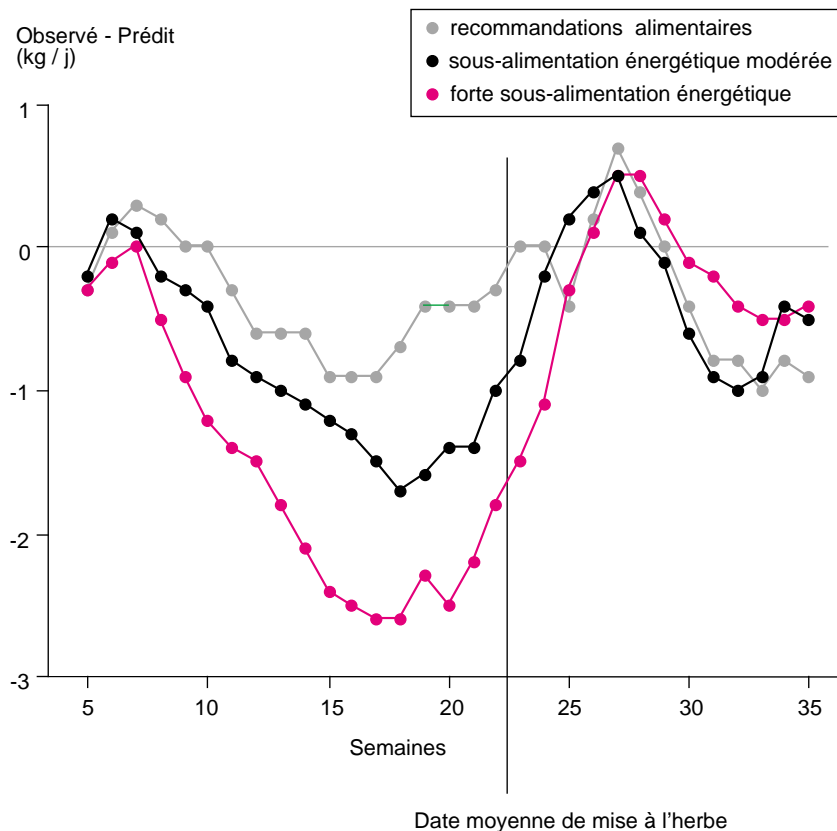
4 / Exemple d'utilisation du modèle final

Un échantillon de 145 lactations (cf tableau 1 : échantillon d'illustration), provenant d'un essai de comparaison de niveaux d'alimenta-

tion hivernale (Coulon *et al* 1996), a été utilisé pour illustrer l'utilisation possible du modèle pour diagnostiquer des situations non optimales d'alimentation. En effet, le modèle ayant été construit sur des données provenant de vaches ayant été alimentées selon les recommandations de l'INRA, il prédit ce qu'auraient pu être leurs productions selon ces recommandations. La différence entre la prédiction et les observations montre l'effet d'une alimentation différente. Dans cet essai, un lot de vaches était alimenté conformément aux recommandations de l'INRA, un autre était modérément sous-alimenté (-1,5 kg/j d'aliment concentré au cours de la période hivernale), et le troisième était fortement sous-alimenté (-3 kg/j d'aliment concentré au cours de la période hivernale). Au pâturage, toutes les vaches étaient conduites ensemble.

La figure 3 montre que le modèle prédit très correctement la production hebdomadaire moyenne des vaches du lot alimenté selon les recommandations et qu'il permet de quantifier l'effet de la sous-alimentation hivernale des deux autres lots. En particulier, il met clairement en évidence l'augmentation de l'effet de la sous-alimentation au cours du temps et la réponse très rapide de la production laitière lors de la mise à l'herbe. Ainsi, en pratique, il est possible de tracer une courbe prévisionnelle d'évolution de la production, de la confronter aux productions réellement observées et de faire un diagnostic dynamique à partir des écarts observés. On peut aussi imaginer de se servir de ce modèle pour moduler l'alimentation en ajustant au mieux la production réelle à la production souhaitée, cette dernière n'étant pas forcément la production optimale prévue.

Figure 3. Prédiction, à l'aide du modèle final, de la production laitière pour trois lots de vaches expérimentales alimentées durant la période hivernale selon les recommandations alimentaires, avec une sous-alimentation énergétique modérée, et avec une forte sous-alimentation énergétique



5 / Validation du modèle

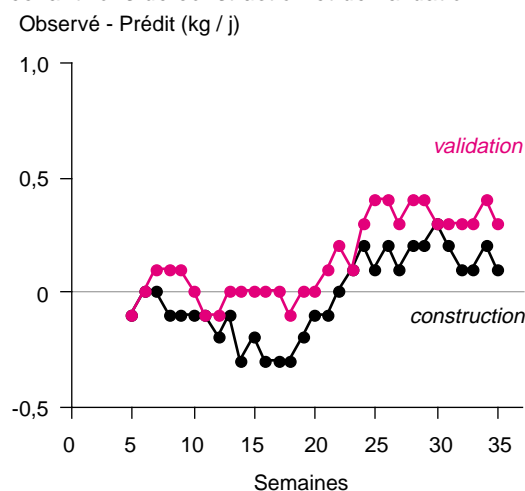
Pour effectuer cette validation sur le modèle obtenu, il aurait été nécessaire d'utiliser un autre jeu de données. Comme nous n'en disposions pas, nous avons constitué, par tirage aléatoire sur l'ensemble de la population, deux sous-échantillons indépendants et de tailles identiques (échantillon de création et de validation). Les valeurs des paramètres des fonctions de prédiction de la forme générale de la courbe de production obtenues précédemment ont été déterminées de nouveau après ajustement sur l'échantillon de création. Le modèle a ensuite été utilisé sur l'échantillon de validation. En pratiquant de cette manière, nous observons le comportement du modèle quand celui-ci ne prend en compte que la moitié des données (les fonctions de prédiction de la forme générale de la lactation seront donc moins précises que celles de l'annexe). Le modèle final tel qu'il a été défini sur l'ensemble de la population prend en compte plus de variabilité.

Résultats

En moyenne, sur l'échantillon de validation, le modèle final prédit très correctement les valeurs : l'écart moyen au modèle est de 0,1 kg/j et ne dépasse jamais 0,3 kg/j ($P > 0,05$) (figure 4). Comme dans le modèle initial, ni la race, ni l'âge au premier vêlage des primipares, ni le numéro de lactation n'a d'effet

significatif sur l'écart calculé entre les valeurs observées et prédites par le modèle (tableau 4). Malgré l'introduction, dans ce modèle, d'un effet saison distinct de l'effet longueur du jour, l'écart entre prédit et observé varie encore de manière significative selon la période de vêlage, mais de manière moins importante que dans le modèle initial (tableau 5). En fait, l'effet de la période de vêlage est différent d'un domaine à l'autre : à Rennes, avec des régimes à base d'ensilage de maïs, les lactations d'automne sont sous-estimées (de 0,8 kg/j en moyenne) et celles d'hiver sont surestimées (de 0,4 kg/j en moyenne). C'est l'inverse à Marcenat, avec des régimes à base d'herbe : surestimation pour les vêlages d'automne (de 0,9 kg/j en moyenne) alors que l'estimation est satisfaisante pour les vêlages d'hiver (écart moyen observé-prédit de 0,2 kg/j). Cet écart n'est pas lié à l'échantillon de validation : les mêmes tendances ont été observées sur l'échantillon de création. Ce résultat provient du fait que, même si l'échantillon ne contient que des lactations d'animaux correctement alimentés, il reste une variabilité importante dans la conduite alimentaire des animaux d'un domaine à l'autre et, vraisemblablement, à l'intérieur d'un même domaine, d'une saison de vêlage à l'autre. On touche là aux limites d'un tel modèle.

Figure 4. Evolution de l'écart entre les valeurs observées et prédites par le modèle final sur les échantillons de construction et de validation.



Pour une même période de vêlage, le niveau de production des vaches (estimé par leur production initiale) n'a pas d'effet important sur la qualité de la prédiction. L'augmentation de production en début de lactation (estimé par l'écart entre la production maximale et la production initiale) a un effet significatif (plus l'augmentation est importante, plus les valeurs observées sont sous-estimées). Cet effet disparaît lorsque l'on tient compte de la semaine de production maximale qui a un effet très sensible sur la qualité de la prédiction : les pics de production tardifs conduisent à une sous-estimation importante de la production (tableau 6), de respectivement 0,8 et 2,0 kg/j en moyenne, pour les pics survenus entre les semaines 7 à 9 et ceux survenus entre les semaines 10 à 12. Cet effet se manifeste respectivement dès les semaines 7 et 11 de lactation et reste pratiquement stable par la suite. Il est dû à une incapacité du modèle

à prendre en compte correctement les formes de courbes " tardives ". Ce problème existait déjà sur les données initiales. Il est lié au fait qu'aucune variable explicative du modèle n'a été introduite pour tenir compte de cette variabilité.

A l'échelle individuelle, la qualité de prédiction du modèle est médiocre : sur l'échantillon de validation, 29 % des lactations ont présenté un écart moyen au modèle supérieur à 2 kg/j et 39 % des lactations ont présenté au moins 10 valeurs hebdomadaires différentes de plus de 3 kg/j de la valeur pré-

dite. Ces pourcentages atteignent respectivement 34 et 48 % dans le cas des vêlages d'automne à Rennes. En revanche, sur des groupes de vaches présentant des vêlages relativement étalés, la prédiction devient excellente, même sur des petits effectifs (tableau 7). Ainsi, pour des groupes de 10 vaches, 76 % des écarts hebdomadaires sont inférieurs à 1 kg/j ; ce pourcentage passe à 88 % pour des lots de 20 vaches, ce qui permet une utilisation efficace à l'échelle de lots d'animaux.

Tableau 4. Effet de la race, de l'âge au premier vêlage et de la parité sur les écarts entre les valeurs observées et prédites par le modèle final appliqué à l'échantillon de validation.

	Race ⁽¹⁾				Age au 1er vêlage ⁽²⁾		Parité ⁽³⁾	
	HF	NO	FF	MO	2	3	1	2 et +
n	54	29	21	29	41	33	197	242
Ecart moyen	0,6	0,4	-0,9	-0,1	0,7	0,7	0,0	0,3
Semaine 10	0,5	-0,3	-0,9	-0,7	0,7	0,5	0,1	-0,1
Semaine 15	1,2	0,3	-1,2	-0,6	0,9	0,3	0,0	0,0
Semaine 20	0,9	0,9	-1,6	-0,3	0,4	0,4	-0,2	0,2
Semaine 25	0,7	0,7	-0,8	0,4	1,1	0,6	0,1	0,6
Semaine 30	0,6	0,6	-0,7	0,4	0,6	1,1	0,1	0,5
Semaine 35	1,1	0,9	-1,1	0,7	0,6	1,5	0,0	0,5

⁽¹⁾ Analyse faite sur les domaines du Pin (HF vs NO, vêlages de décembre, janvier et février, n= 83) et de Marcenat (FF vs MO, vêlages de septembre à janvier, n=50).

⁽²⁾ Analyse faite sur les données de Rennes (vêlages de septembre, octobre et novembre, n=74).

⁽³⁾ Analyse faite sur l'ensemble des données de l'échantillon de validation (n=439).

Tableau 5. Effet de la période de vêlage sur les écarts entre les valeurs observées et prédites par le modèle final appliqué aux échantillons de création et de validation.

Echantillon	Validation						Création					
	Rennes		Le Pin		Marcenat		Rennes		Le Pin		Marcenat	
	S/O/N	D/J	D/J	F	S/O/N	D/J	S/O/N	D/J	D/J	F	S/O/N	D/J
n	147	47	66	17	20	29	153	48	57	22	19	37
Ecart moyen	0,8 **	-0,4	0,4	0,1	-0,9 **	0,2	0,3	-0,2	0,0	0,3	-0,8	-0,2
Semaine 10	0,4	-0,1	0,3	-0,2	-1,1	-0,6	0,0	-0,3	0,1	0,4	-1,1	-0,4
Semaine 15	0,4 *	-0,6	1,2 **	-0,4	-1,7 *	-0,4	0,0	-0,5	0,8	-0,1	-1,1	-0,9
Semaine 20	0,5 *	-0,7	1,2 *	-0,2	-1,5 **	0,1	0,2	-0,3	0,9	-0,2	-1,4	-0,1
Semaine 25	1,2 **	-0,6	0,8	0,1	-1,0 **	0,8	0,7	0,3	0,3	-0,3	-0,8	0,6
Semaine 30	1,2 **	-0,5	0,5	1,1	-0,1	0,4	0,9	0,1	0,2	0,4	0,1	0,0
Semaine 35	1,4 **	-0,5	0,9	1,5	-0,6 **	0,8	0,7	-0,4	-0,1	1,5	-0,7	0,6

* : P<0,05 ; ** : P<0,01

⁽¹⁾ Vêlages de septembre, octobre et novembre (S/O/N), de décembre et janvier (D/J) et de février (F).

Tableau 6. Effet de la semaine du pic de lactation sur l'écart entre les données observées et prédites par le modèle final appliqué aux échantillons de création et de validation.

Echantillon	Validation			Création		
	3 à 6	7 à 9	10-11	3 à 6	7 à 9	10-11
Ecart moyen	-0,7	0,8	2,0	-0,9	1,0	1,6
Semaine 10	-0,8	1,2	1,8	-0,8	1,2	2,1
Semaine 15	-1,0	0,9	2,3	-1,2	1,1	2,1
Semaine 20	-0,9	1,6	2,5	-1,0	1,0	2,1
Semaine 25	-0,6	0,9	2,6	-0,9	1,1	1,9
Semaine 30	-0,6	0,8	2,2	-0,7	1,0	1,8
Semaine 35	-0,4	0,9	2,0	-0,7	1,0	1,4

⁽¹⁾ Analyse faite sur l'ensemble des données sauf vêlages de mars, compte tenu du domaine, de la période de vêlage, et de la semaine du pic (n= 845).

Tableau 7. Qualité de la prédiction du modèle intermédiaire sur 1000 groupes de 10 ou 20 lactations tirées au hasard dans l'échantillon de validation.

Nombre de vaches par groupe	échantillon total		Marcenat + Orcival		Rennes + Theix	
	10	20	10	20	10	20
écart moyen >0,5 kg/j (%)	40	22	53	48	45	31
écart moyen >1 kg/j (%)	9	2	15	7	13	5
écart hebdomadaire >0,5 kg/j (%)	54	41	59	55	56	46
écart hebdomadaire >1 kg/j (%)	24	12	27	18	27	18

Tableau 8. Exemple de prédiction d'une courbe de lactation avec le détail par équation du modèle.

Semaine de lactation	Forme générale	Effet saison	Effet gestation	Prédiction
1	23,4	-1,0		22,4
2	29,7	-1,1		28,6
3	31,6	-1,2		30,4
4	32,2	-1,2		31,0
5	32,2	-1,3		30,9
6	31,9	-1,3		30,6
7	31,4	-1,3		30,1
8	30,9	-1,3		29,6
9	30,3	-1,3		29,0
10	29,7	-1,2		28,5
11	29,0	-1,1		27,9
12	28,3	-1,0		27,3
13	27,7	-0,9		26,8
14	27,0	-0,8		26,2
15	26,3	-0,7		25,6
16	25,6	-0,5		25,1
17	25,0	-0,4		24,6
18	24,4	-0,2		24,2
19	23,7	-0,1		23,6
20	23,1	0,1		23,2
21	22,5	0,2		22,7
22	21,9	0,4		22,3
23	21,3	0,5		21,8
24	20,7	0,7		21,4
25	20,2	0,8		21,0
26	19,6	0,9		20,5
27	19,1	1,0		20,1
28	18,5	1,1		19,6
29	18,0	1,2		19,2
30	17,5	1,3		18,8
31	17,0	1,3	-0,1	18,2
32	16,6	1,3	-0,3	17,6
33	16,1	1,3	-0,5	16,9
34	15,6	1,3	-0,7	16,2
35	15,2	1,3	-0,9	15,6
36	14,8	1,2	-1,1	14,9
37	14,3	1,1	-1,3	14,1
38	13,9	1,1	-1,5	13,5
39	13,5	0,9	-1,8	12,6
40	13,1	0,8	-2,0	11,9
41	12,8	0,7	-2,3	11,2
42	12,4	0,6	-2,6	10,4

6 / Le modèle en pratique

D'un point de vue pratique, l'utilisation de ce modèle nécessite la connaissance ou l'estimation d'une valeur de production en début de lactation (5ème semaine dans le modèle développé ci-dessus). Sur le terrain on ne dispose généralement que d'une valeur individuelle par mois (obtenue par le Contrôle Laitier). Nous avons donc recalculé les paramètres pour chacune des semaines de lactation entre la 2ème et la 8ème (valeurs en annexe).

Exemple d'utilisation du modèle

Nous prendrons l'exemple d'une vache en deuxième lactation, qui a produit 29,4 kg de lait le deuxième jour de sa 3ème semaine de lactation. Elle avait 3 ans à son premier vêlage et la lactation en cours a débuté le 2 novembre 1999. Enfin, l'éleveur désire qu'elle soit inséminée au cours de sa 13ème semaine de lactation et prévoit de la tarir pendant sa 43ème semaine de lactation.

Première étape : calcul d'une production moyenne journalière ($PSem$) pour une semaine donnée (Sem) à partir d'une production un jour donné de cette semaine.

Cette étape n'est à utiliser que si on ne dispose pas d'une moyenne hebdomadaire des productions journalières pour une semaine située entre les semaines 2 et 8 de lactation.

Dans le cas où on dispose d'une valeur pour un jour donné (P_{jour} au jour j) et une semaine donnée (Sem), nous proposons la formule suivante pour la convertir en une valeur en milieu de semaine.

Pour les semaines 2 et 3 :

$$PSem = P_{jour} + a(4 - j)$$

avec j variant de 1 à 7, $a = 0,6$ en semaine 2 et 0,2 en semaine 3. Pour les semaines 4 à 8, $PSem = P_{jour}$

Dans l'exemple proposé : $PSem = 29,4 + 0,2(4 - 2)$

Deuxième étape : calcul de l'effet saison

On calcule cet effet à partir de l'équation décrite au tableau 2, avec la semaine de vêlage de la lactation en cours, et t variant de 1 à la semaine précédant la date du tarissement escomptée.

Dans l'exemple proposé :

L'animal a vêlé le 2 novembre 1999, la semaine calendaire de vêlage de la lactation

en cours est donc 44. La semaine de lactation du tarissement sera la 43^{ème}, nous calculerons donc cet effet de la semaine 1 à 42.

Effet de la saison = $0,0065 - 1,26 \cos[2\pi (44 + t - 1) / 52] + 0,374 \sin[2\pi (44 + t - 1) / 52]$
pour t variant de 1 à 42 et $\pi = 3,1416$.
(voir tableau 8)

Troisième étape : calcul de la forme générale de la courbe

Dans un premier temps nous avons besoin du potentiel de production de l'animal, corrigé de l'effet de la saison. Il convient donc de modifier Psem pour obtenir cette valeur corrigée (PsemCor). Ceci est effectué par la formule suivante :

$$PsemCor = Psem - \text{Effet de la saison} (tv, t = Sem)$$

Dans notre exemple :

Le potentiel est déterminé à partir de la production observée en troisième semaine de lactation.

Psem = 29,8 kg/j (valeur moyenne hebdomadaire calculée précédemment) et l'effet de la saison en 3^{ème} semaine de lactation (voir calcul précédent) est de -1,2 kg/j.

$$PsemCor = 29,8 - (-1,2) = 31 \text{ kg / j}$$

Nous avons également besoin des valeurs des paramètres a , b_1 , b_2 et c . Pour cela nous utilisons les modèles linéaires multiples décrits en annexe pour la semaine Sem.

Dans notre exemple :

Nous prenons le jeu de paramètres correspondant à la 3^{ème} semaine de lactation. La parité est supérieure à 1, PsemCor = 31 kg/j, Semvel = 44.

$$a = 0,9524 + (-1,6075) + (0,7626 \times 31) + (-1,5967) [\cos(2\pi \times 44 / 52)] + (-0,8808) [\sin(2\pi \times 44 / 52)] \\ = 22,8033$$

$$b_1 = 6,2702 + 1,3076 + [(-0,2008) \times 31] + (4,1834) [\cos(2\pi \times 44 / 52)] + (2,0446) [\sin(2\pi \times 44 / 52)] \\ = 2,046827$$

Il faut noter que pour le paramètre b_1 , le coefficient 1,9128 ne s'applique pas ici car il s'agit d'une multipare.

$$b_2 = (-0,4326) + 0,0965 + [(-0,0064) \times 31] \\ = -0,5345$$

$$c = 1,9326 + 0,2084 + (0,0218 \times 31) \\ = 2,8168$$

Nous pouvons ensuite utiliser l'équation déterminant la forme générale de la courbe entre la première semaine de lactation et la semaine précédant le tarissement à partir de l'équation décrite au tableau 2.

Dans notre exemple :

$$\text{Forme Générale} = 22,8033 \exp [(2,046827 t^2 / 2) + (-0,5345 / t) - 2,8168 (1 + t/2) t] \\ \text{avec } t' = (t - 21,4) / 100 \text{ et } t \text{ variant de } 1 \text{ à } 42. \\ \text{(voir tableau 8)}$$

Quatrième étape : calcul de l'effet de la gestation

La valeur des paramètres de cette équation varie en fonction de la parité et du niveau de

production maximal pour les multipares.

Pour les primipares, $a = 4,248$ et $b = -0,080$.

Pour les multipares, il faut d'abord prédire la production maximale Pmax en prenant la valeur maximale donnée par la forme générale de la courbe en ajoutant l'effet de la saison. Pour Pmax < 32,5, $a = 2,571$ et $b = -0,035$, pour Pmax >= 32,5, $a = 3,839$ et $b = -0,094$.

Dans notre exemple :

L'animal est multipare, il faut donc calculer Pmax. Pour cela nous additionnons les deux tableaux de valeurs obtenus précédemment. La valeur maximale est obtenue en 4^{ème} semaine de lactation. Pmax = 31 kg/j. Nous obtenons donc $a_2 = 2,571$ et $a_3 = -0,035$.

Nous calculons ensuite l'effet de la gestation, en utilisant ces paramètres et en faisant varier t_g de la 19^{ème} semaine de gestation à celle précédant la semaine de tarissement escomptée. Il faut noter ici que nous utilisons des semaines de gestation et non de lactation.

Dans notre exemple :

$$\text{Effet de la gestation} = - \exp[2,571 (t_g - 18)] \exp [- (-0,035) t_g]$$

La 19^{ème} semaine de gestation correspond à la 31^{ème} (19+13-1) semaine de lactation.

La dernière semaine de lactation avant le tarissement (42) correspond donc à la 30^{ème} semaine de gestation. Nous calculerons donc l'effet gestation entre la 19^{ème} semaine et la 30^{ème} semaine de gestation. (voir tableau 8)

Cinquième étape : prédiction de la courbe de production laitière

Il suffit d'ajouter à la forme générale, l'effet de la saison et l'effet de la gestation (seulement pour les semaines de gestation à partir de la 19^{ème}) pour obtenir l'évolution de la production laitière.

Remarque : l'effet de la gestation n'intervient qu'à partir de la 19^{ème} semaine de gestation. On peut donc très bien faire une première prédiction de la production de l'animal, indépendamment de l'effet de la gestation, puis, quand la semaine de l'insémination fécondante est connue, corriger cette prédiction en intégrant l'effet de la gestation.

Conclusion

Le modèle proposé ici est un modèle empirique dont l'objectif est de prédire, à partir des valeurs de quelques variables faciles à obtenir, une évolution de la production laitière hebdomadaire dans des conditions " optimales ou sub-optimales " de conduite des vaches laitières (alimentation suivant les recommandations INRA, absence de troubles sanitaires majeurs, deux traites par jour, tarissement classique d'une durée de deux mois). Cette évolution peut donc être considérée comme une référence à laquelle pourra être comparée l'évolution réelle. Si la prédiction obtenue à l'échelle individuelle est médiocre et d'un faible intérêt pratique, elle devient très

bonne dès qu'elle concerne un petit groupe de vaches et peut donc être utilisée à l'échelle d'un troupeau, voire d'un lot dans un troupeau afin de prédire la production au cours du temps et de détecter des dérives par comparaison entre la courbe simulée et la courbe observée. Dans ce cas, la forme de la dérive constituera un élément précieux de diagnostic de la cause de cette dérive.

Ce modèle nécessite la connaissance ou l'estimation d'une valeur de production en début de lactation. Il est donc très sensible à une sous-estimation du potentiel de production, liée par exemple à une sous-alimentation en début de lactation. Ceci est d'autant plus vrai que l'on disposera d'une valeur à une date plus éloignée du vêlage. Par construction, ce modèle ne peut pas prédire des modifications ponctuelles de la production sous l'effet de facteurs environnementaux (alimentaires en particulier) qui devront être modélisés par ailleurs. Son intérêt majeur est d'avoir été

construit et validé sur une très large gamme de données. Sous réserve de disposer d'un estimateur suffisamment fiable du potentiel de production en début de lactation, il constitue donc un outil robuste de prévision de l'évolution " physiologique " de la production.

Remerciements

Cette étude a été réalisée à partir de données issues des troupeaux expérimentaux de l'INRA de Rennes, Le Pin, Theix, Marcenat et Orcival. Nous tenons à remercier les responsables de ces troupeaux (J. Bony, J.-P. Garel, J.-L. Troccon, A. Ollier, J.-R. Peccatte, A. Boutié) pour leur précieuse collaboration dans la constitution de la base de données et leurs conseils lors de leur traitement ainsi que L. Delaby pour ses remarques constructives lors de l'élaboration du texte.

Références

Beever D.E., Rook A. J., France J., Dhanoa M.S., Gill M., 1991. A review of empirical and mechanistic models of lactational performance by the dairy cow. *Livest. Prod. Sci.*, 29, 115-130.

Coulon J.B., D'Hour P., Garel J.P., Petit M., 1996. Long term effect of level and pattern of winter concentrate allocation in dairy cows. *Ann. Zootech.*, 45, 233-251.

Huet S., Jolivet E., Messéan A., 1992. La régression non-linéaire. Méthodes et applications en biologie. INRA Editions, Paris.

Masselin S., Sauvant D., Chapoutot P., Milan D., 1987. Les modèles d'ajustement des courbes de lactation. *Ann. Zootech.*, 36, 171-206.

Morant S.V., Gnanasakthy A., 1989. A new approach to the mathematical formulation of lactation curves. *Anim. Prod.*, 49, 151-162.

Pérochon L., Coulon J.B., Lescouret F., 1996. Modelling lactation curves of dairy cows with emphasis on individual variability. *Anim. Sci.*, 63, 189-200.

SAS Institute Inc., 1987. SAS User's guide : Statistics. SAS Institute Inc, Cary, NC.

Strandberg E., Lundberg C., 1991. A note on the estimation of environmental effects on lactation curves. *Anim. Prod.*, 53, 399-402.

Wood P.D.P., 1969. Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle. *Anim. Prod.*, 11, 307-316.

Abstract

The evolution of milk yield during lactation : a predictive model in the dairy cow.

The objective of this study was to build an empirical model for the prediction of the evolution of milk yield during lactation for correctly fed cows without any significant disease. It was elaborated from a set of 877 lactations coming from 5 experimental herds of the INRA, representing a broad range of situations (yield level, calving period, age, ...) which provided distinct samples for the development and the validation of the model. The final proposed model integrates the effects of lactation stage, gestation stage and season. Input variables are calving date, parity, insemination date and yield potential. The latter is estimated from a yield measured between weeks 2 and 8 of lactation. The final

model provides a very good fit of individual production curves, even when they present an unusual shape. The quality of prediction on an individual scale is limited: 29% of lactations of the validation sample present an average variation with the model higher than 2 kg/d. By contrast, with groups of cows the prediction becomes excellent: with 20 cows the average variation with the model exceeds 1 kg/d in only 2% of the cases. This model is thus an effective tool for the prediction of a reference of production on the herd scale. Its parameters are specified in the appendix.

COULON J.B., PÉROCHON L., 2000. Evolution de la production laitière au cours de la lactation : modèle de prédiction chez la vache laitière. *INRA Prod. Anim.*, 13, 349-360.

Annexe. Descriptions des fonctions de prédiction des paramètres de l'équation de la forme générale de la courbe de production en fonction de la semaine de prélèvement (modèle final).

Pour chacun des paramètres de l'équation de la forme générale de la courbe de production (tableau 2), nous donnons les valeurs des paramètres des fonctions de prédictions, Celles-ci sont des modèles linéaires multiples qui sont de la forme suivante :

$Param = Constante + Parité + x_1 Psemcor + x_2 \cos(2\pi Semvel / 52) + x_3 \sin(2\pi Semvel / 52) + Age \text{ au premier vêlage}$

avec $Param = a, b_1, b_2$ ou c

Constante est la valeur du paramètre indépendamment de tous facteurs de variation

Parité est une valeur à ajouter en fonction de la parité de la vache

Psemcor est la production journalière moyenne de la semaine de lactation considérée, corrigée de l'effet saison, On l'ajoute après l'avoir multiplié par la valeur x_1 donnée dans les tableaux suivants

Semvel est la semaine calendaire du vêlage de la vache

x_2 et x_3 sont des coefficients multiplicateurs donnés dans les tableaux

Age au premier vêlage est une valeur à ajouter, uniquement prise en compte pour les primipares.

Semaine 2

	a	b ₁	b ₂	c
Constante	2,3123 (0,5929)	6,3035 (1,3184)	-0,5525 (0,0357)	1,9648 (0,1141)
Parité				
1	1,6574 (0,1463)	-1,3864 (0,3369)	-0,0790 (0,0094)	-0,2046 (0,0302)
>1	-1,6574 (0,1463)	1,3864 (0,3369)	0,0790 (0,0094)	0,2046 (0,0302)
PsemCor	0,7567 (0,0205)	-0,2148 (0,0451)	-0,0023 (0,0013)	0,0220 (0,0042)
cos (2π Semvel / 52)	-1,5004 (0,3582)	4,2141 (0,7941)		
sin (2π Semvel / 52)	-1,0853 (0,2469)	2,1177 (0,5614)		
Age au premier vêlage				
< 850 j		-1,8852 (0,4243)		
>=850j		1,8852 (0,4243)		
Qualité du modèle				
R ²	0,64	0,12	0,09	0,18
Erreur résiduelle	3,27	7,19	0,22	0,69

Semaine 3

	a	b ₁	b ₂	c
Constante	0,9524 (0,5416)	6,2702 (1,3308)	-0,4326 (0,0359)	1,9326 (0,1162)
Parité				
1	1,6075 (0,1287)	-1,3076 (0,3294)	-0,0965 (0,0091)	-0,2084 (0,0293)
>1	-1,6075 (0,1287)	1,3076 (0,3294)	0,0965 (0,0091)	0,2084 (0,0293)
PsemCor	0,7626 (0,0176)	-0,2008 (0,0430)	-0,0064 (0,0012)	0,0218 (0,0040)
cos (2π Semvel / 52)	-1,5967 (0,3234)	4,1834 (0,7938)		
sin (2π Semvel / 52)	-0,8808 (0,2230)	2,0446 (0,5613)		
Age au premier vêlage				
< 850 j		-1,9128 (0,4246)		
>=850j		1,9128 (0,4246)		
Qualité du modèle				
R ²	0,71	0,12	0,12	0,18
Erreur résiduelle	2,96	7,20	0,21	0,69

Semaine 4

	a	b ₁	b ₂	c
Constante	0,8828 (0,5011)	6,3867 (1,3071)	-0,3761 (0,0348)	1,9377 (0,1140)
Parité				
1	1,4804 (0,1184)	-1,2908 (0,3223)	-0,1036 (0,0088)	-0,2135 (0,0287)
>1	-1,4804 (0,1184)	1,2908 (0,3223)	0,1036 (0,0088)	0,2135 (0,0287)
PsemCor	0,7458 (0,0158)	-0,2002 (0,0409)	-0,0082 (0,0012)	0,0210 (0,0038)
cos (2π Semvel / 52)	-1,6157 (0,3038)	4,2018 (0,7923)		
sin (2π Semvel / 52)	-0,7909 (0,2097)	2,0180 (0,5606)		
Age au premier vêlage				
< 850 j		-1,9178 (0,4241)		
>=850j		1,9178 (0,4241)		
Qualité du modèle				
R ²	0,74	0,12	0,14	0,18
Erreur résiduelle	2,78	7,19	0,21	0,69

Semaine 5

	a	b ₁	b ₂	c
Constante	0,3765 (0,4550)	7,2893 (1,2939)	-0,3552 (0,0345)	1,9920 (0,1139)
Parité				
1	1,4670 (0,1068)	-1,4044 (0,3169)	-0,1053 (0,0086)	-0,2242 (0,0284)
>1	-1,4670 (0,1068)	1,4044 (0,3169)	0,1053 (0,0086)	0,2242 (0,0284)
PsemCor	0,7557 (0,0142)	-0,2311 (0,0399)	-0,0088 (0,0011)	0,0189 (0,0038)
cos (2 π Semvel / 52)	-1,6385 (0,2770)	4,3115 (0,7876)		
sin (2 π Semvel / 52)	-0,6657 (0,1913)	1,9830 (0,5576)		
Age au premier vêlage				
< 850 j		-1,9074 (0,4218)		
>=850j		1,9074 (0,4218)		
Qualité du modèle				
R ²	0,79	0,13	0,15	0,18
Erreur résiduelle	2,54	7,15	0,21	0,69

Semaine 6

	a	b ₁	b ₂	c
Constante	0,4832 (0,4231)	7,7424 (1,2700)	-0,3334 (0,0335)	2,0123 (0,1116)
Parité				
1	1,3198 (0,0989)	-1,4366 (0,3106)	-0,1068 (0,0084)	-0,2302 (0,0279)
>1	-1,3198 (0,0989)	1,4366 (0,3106)	0,1068 (0,0084)	0,2302 (0,0279)
PsemCor	0,7520(0,0131)	-0,2478 (0,0389)	-0,0095 (0,0011)	0,0183 (0,0037)
cos (2 π Semvel / 52)	-1,5489 (0,2610)	4,3408 (0,7832)		
sin (2 π Semvel / 52)	-0,6529 (0,1806)	1,9757 (0,5555)		
Age au premier vêlage				
< 850 j		-1,9244 (0,4202)		
>=850j		1,9244 (0,4202)		
Qualité du modèle				
R ²	0,81	0,14	0,16	0,18
Erreur résiduelle	2,40	7,12	0,21	0,69

Semaine 7

	a	b ₁	b ₂	c
Constante	0,3941 (0,3909)	8,1589 (1,2545)	-0,3207 (0,0330)	2,0693 (0,1105)
Parité				
1	1,1431 (0,0903)	-1,4256 (0,3032)	-0,1061 (0,0082)	-0,2421 (0,0274)
>1	-1,1431 (0,0903)	1,4259 (0,3032)	0,1061 (0,0082)	0,2421 (0,0274)
PsemCor	0,7606 (0,0121)	-0,2649 (0,0386)	-0,0101 (0,0011)	0,0165 (0,0037)
cos (2 π Semvel / 52)	-1,3653 (0,2427)	4,3330 (0,7786)		
sin (2 π Semvel / 52)	-0,5308 (0,1684)	1,9372 (0,5535)		
Age au premier vêlage				
< 850 j		-1,8953 (0,4186)		
>=850j		1,8953 (0,4186)		
Qualité du modèle				
R ²	0,84	0,15	0,17	0,17
Erreur résiduelle	2,23	7,10	0,21	0,69

Semaine 8

	a	b ₁	b ₂	c
Constante	0,3062 (0,3639)	9,1840 (1,2361)	-0,3289 (0,0328)	2,1103 (0,1099)
Parité				
1	1,0623 (0,0837)	-1,5356 (0,2978)	-0,1036 (0,0081)	-0,2494 (0,0271)
>1	-1,0623 (0,0837)	1,5356 (0,2978)	0,1036 (0,0081)	0,2494 (0,0271)
PsemCor	0,7756 (0,0114)	-0,3074 (0,0384)	-0,0099 (0,0011)	0,0153 (0,0037)
cos (2 π Semvel / 52)	-1,3108 (0,2272)	4,4240 (0,7709)		
sin (2 π Semvel / 52)	-0,3965 (0,1578)	1,8763 (0,5487)		
Age au premier vêlage				
< 850 j		-1,9031 (0,4149)		
>=850j		1,9031 (0,4149)		
Qualité du modèle				
R ²	0,86	0,16	0,17	0,17
Erreur résiduelle	2,09	7,03	0,21	0,69