

Ajustement de la courbe de lactation des vaches Holstein selon le modèle de Wood

M. A. FERCHICHI¹, B. JEMMALI¹, H. SELMI², A. BEN GARA¹

(Reçu le 20/06/2022; Accepté le 14/07/2022)

Résumé

Les deux objectifs de cette étude ont été d'ajuster les courbes de lactation des vaches Holstein en Tunisie et d'étudier les facteurs de variations des paramètres de ces dernières. L'ajustement a été réalisé selon le modèle de Wood pour les 9 premières lactations. Les données proviennent de 190 905 contrôles journaliers de la quantité de lait, de la matière grasse (MG) et de la matière protéique (MP), collectés entre 1995 et 2011 et répartis sur 10 troupeaux issus de 4 différents secteurs de production. La fonction de Wood a servi pour modéliser les courbes de lactations par la régression non linéaire. Les paramètres de la courbe de lactation «a», MG et MP les plus élevées ont été enregistrés à la 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} lactation, contrairement au paramètre «b». Le paramètre «c» et la persistance la plus élevée de la courbe de lactation ont été enregistrés à la 1^{ère} lactation. Pour les paramètres des courbes de lactation et ses traits (lait, MG et MP), ils ont tous été affectés par les facteurs inclus dans le modèle d'analyse à savoir le secteur, le troupeau, l'interaction année de vêlage-saison de vêlage et le numéro de lactation.

Mots clés: Contrôles journaliers, ajustement, Wood, courbe de lactation

Adjustment of the lactation curve of Holstein cows according to Wood's model

Abstract

The two objectives of this study were to adjust the lactation curves of Holstein cows in Tunisia and to study the factors of variation of the parameters of the latter. The adjustment was made according to the Wood model for the first 9 lactations. The data comes from 190,905 daily checks of the quantity of milk, fat (MG) and protein (MP), collected between 1995 and 2011 and distributed over 10 herds from 4 different production sectors. Wood's function was used to model the lactation curves by nonlinear regression. The highest "a", MG and MP lactation curve parameters were recorded at the 3rd, 4th and 5th lactation, unlike the "b" parameter. The "c" parameter and the highest persistence of the lactation curve were recorded in the 1st lactation. For the parameters of the lactation curves and its traits (milk, fat and protein), they were all affected by the factors included in the analysis model, namely the sector, the herd, the interaction year of calving - calving season and lactation number.

Keywords: Daily checks, adjustment, Wood, lactation curve

INTRODUCTION

À l'indépendance de la Tunisie, au début de la seconde moitié du 19^{ème} siècle, les autorités ont été confrontées à une demande croissante en protéines animales de la part de populations en plein essor et qui s'urbanisaient rapidement. Étant donné la valeur symbolique que les Tunisiens accordent au lait (accueil des invités et accompagnement de régimes alimentaires dominés par les céréales), un effort impérieux devait être mené pour sécuriser son approvisionnement. Des politiques de développement de l'élevage se mirent en place, et se focalisèrent sur le lait de vache (Sraïri *et al.*, 2007). Les pouvoirs publics ont essayé de sécuriser les approvisionnements par divers moyens dont la constitution de filières locales de production bovine et l'importation de vaches surtout de race Holstein (Sraïri, 2008).

Depuis quelques années, l'élevage bovin - qui représente une composante importante de la production agricole et de l'économie nationale - a été classé parmi les secteurs prioritaires, du fait qu'il génère deux produits stratégiques: le lait et la viande (Jaouad, 2010).

Le succès de chaque exploitation dépend fortement des décisions prises à différents stades du cycle de production. L'analyse des courbes de lactation du lait et de ses principaux constituants : matières grasses et protéiques fournit des informations suffisantes pour une gestion efficace des troupeaux laitiers et c'est aussi un outil important dans l'évaluation génétique. Pour ajuster ces courbes, des modèles mathématiques sont généralement utilisés.

L'avantage principal de leur utilisation est que l'analyse est basée sur des données réelles, non estimées ou prédites. Le modèle de Wood, que nous avons choisi pour élaborer cette étude, décrit les changements dans la production laitière durant la lactation. En effet, cette production est régie par une multitude de facteurs de variation dont la connaissance de leurs effets est très importante en élevage laitier.

Selon Leclerc (2008) et Boujenane (2010), une courbe de lactation décrit l'évolution de la production laitière de la vache depuis le vêlage jusqu'au tarissement tout en suivant le niveau journalier de la production laitière en fonction du temps écoulé. Elle traduit l'évolution de la production du lait et de ses constituants en fonction du stade de lactation.

L'évolution de la production laitière au cours de la lactation est expliquée par Knight et Wilde (1993) comme suit : pendant la première phase, il y a une augmentation exponentielle du volume de cellules sécrétrices, d'une part pendant la gestation grâce au phénomène d'hyperplasie (prolifération des cellules) et d'autre part entre le vêlage et le pic de lactation par hypertrophie (intensification de leur activité). Alors que pendant la seconde phase, il y a une involution des cellules sécrétrices et surtout une chute du nombre de cellules sécrétrices par apoptose.

Pour décrire l'évolution temporelle des phénomènes biologiques, les scientifiques ont généralement recours à des courbes paramétriques (Leclerc, 2008). Divers fonctions mathématiques ont été utilisées pour décrire les courbes de lactation (Wood, 1967; Scott *et al.*, 1996; Schaeffer *et al.*,

¹ École Supérieure d'Agriculture de Mateur, Université de Carthage, Tunisie

² Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka, Tunisie

1997 et Vargas *et al.*, 2000). Leclerc (2008) a indiqué que ceci se fait en modélisant la variation au cours du temps à l'aide de fonctions linéaires ou non linéaires comme celle de Wood (1967). La production estimée $y=f(t)$, qui est souvent une production journalière obtenue le jour t , est une fonction plus ou moins complexe du stade de lactation. Deux des avantages des courbes paramétriques sont: premièrement de résumer les caractéristiques de distribution à travers un petit nombre de paramètres et deuxièmement de disposer algébriquement des caractéristiques de la courbe.

Leclerc (2008) a aussi cité que parmi les modèles déterministes, les courbes de lactation modélisées par des fonctions exponentielles ont été largement utilisées. La plus marquante est celle proposée par Wood (1967), aussi appelée fonction Gamma incomplète, qui a été l'une des plus communément employées dans les études portant sur la courbe de lactation. En effet, selon Wood (1967), Scott *et al.* (1996), Tekerli *et al.* (2000) et Vargas *et al.* (2000), cette fonction (IG) et ses variantes ont été prouvées relativement puissantes dans l'ajustement des rendements laitiers observés. D'après Rekik *et al.* (2003) cette fonction est utilisée pour ajuster les courbes de lactation dans différents types de troupeaux.

Le succès de ce modèle non linéaire, cité par Leclerc (2008), s'explique d'une part parce qu'il prend en compte la phase ascendante de la courbe, et d'autre part parce que les paramètres sont faciles à estimer après linéarisation de l'équation $\ln(y(t)) = a + b \ln(t) - c$. Wood (1977 et 1979) ainsi que Masselin *et al.* (1987) ont tenté de donner une interprétation physiologique aux paramètres a , b et c en lien avec les modalités d'utilisation de l'énergie durant la lactation. Le paramètre a traduirait le potentiel métabolique global à produire du lait. Les expressions t^b et e^{-ct} sont quant à elles à rapprocher de l'évolution métabolique liée à la production laitière (néoglucogénèse suivie de la diminution de la contribution des réserves corporelles) et de l'activité mammaire (mobilisation progressive des cellules sécrétrices suivie de la décroissance exponentielle de leur nombre).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'ajustement des différents traits de la courbe de lactation et les facteurs de variation des paramètres de cette dernière à savoir l'indicateur du début de lactation, l'indice de croissance en phase ascendante, l'indice de décroissance en phase descendante, le pic et la persistance.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données

Un échantillon de 23 753 enregistrements de lactation des vaches Holstein Tunisiennes nous a été fourni par l'Office de l'Élevage et du Pâturage (OEP) de Sidi Thabet. Les données ont été collectées de 1995 à 2011 dans 10 troupeaux sur 4 types de secteurs de production (OEP, Office des Terres Domaniales (OTD), Société de Mise en Valeur et de Développement Agricole (SMVDA) et fermes privées (PRI)). Le fichier final a été construit à partir des bases de données de l'OEP.

Les données ont inclus 190 905 observations des contrôles laitiers du jour. Chaque observation a inclus le numéro d'identification nationale de la vache, le troupeau, le code, le secteur et le lieu de la ferme (région), le numéro de lactation, la date du vêlage, les dates des contrôles, la production laitière, les taux des matières grasses, les taux des matières protéiques.

La fonction IG de Wood (1967) a été utilisée pour ajuster les courbes du lait, des matières grasses (MG) et des matières protéiques (MP) pour 23 753 vaches dans 4 types de troupeaux. Pour illustration à ce niveau du manuscrit, on n'a pris en considération que les lactations 1, 3, 6 et 9. L'ajustement des courbes a été exécuté par l'algorithme de Gauss-Newton dans la procédure NLIN du SAS (1989). La fonction utilisée est comme suit:

$$Y(t) = a t^b e^{-ct} \quad [1]$$

Avec, Y_t est la production journalière au jour t , « a », « b » et « c » sont les paramètres liés respectivement à la production au début de la lactation, à la phase ascendante et à la phase descendante. Les constantes « a », « b » et « c » ont servis pour définir deux formes mathématiques de ces courbes. Les courbes avec $b > 0$ et $c > 0$ ont été considérées typiques alors que les celles avec $b < 0$, $c < 0$ ou encore $b < 0$ et $c < 0$ ont été considérées atypiques pour le lait, MG et MP.

Au début, nous avons utilisés les données des lactations typiques et atypiques. Puis, nous avons terminé l'analyse avec les données des lactations typiques seulement.

Le pic, et la date de pic et la persistance de la lactation sont les indices qui caractérisent une courbe de l'autre.

Le pic de lactation

C'est le point où la vache atteint la production laitière journalière la plus élevée durant la lactation. Il détermine l'allure de la lactation complète (Boujenane, 2010). Il est calculé par l'équation [2] en utilisant l'ajustement de Wood.

$$\text{Pic} = a (b/c)^b e^{-b} \quad [2]$$

La persistance de lactation

Elle souvent identifiée à un indice qui mesure l'intensité de décroissance de la quantité du lait produite sur un intervalle de temps (Decaen, 1970). Cette persistance, dérivée de Wood, est estimée par plusieurs auteurs dont Tekerli *et al.*, (2000) et Rekik *et al.*, 2003.

$$\text{Persistance} = - (b + 1) \ln(c) \quad [3]$$

La date du pic est calculée par l'équation [4]:

$$\text{Date du pic} = b/c \quad [4]$$

Facteurs de variation des paramètres des courbes de lactation pour les traits étudiés (lait, MG et MP)

Les effets de ont été analysés par le modèle suivant:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \text{Sect}_i + \text{Troupeau}_j(\text{Sect}_i) + \text{Av}_k * \text{Sais}_l + \text{NL}_m + e_{ijklmn} \quad [5]$$

Avec:

Y_{ijklmn} : les traits étudiés de la courbe de lactation (a , b , c , pic et persistance);

μ = Moyenne générale;

Sect_i : effet fixe du $i^{\text{ème}}$ secteur (i = OEP, OTD, PRI et SMV);

$\text{Troupeau}_j(\text{scet})$: effet fixe du $j^{\text{ème}}$ troupeau (j = F136, F173, F224, F225, F271, F532, F593, F602, F681 et F827) avec le $i^{\text{ème}}$ secteur;

$\text{Av}_k * \text{Sais}_l$: effet fixe de l'interaction de la $k^{\text{ème}}$ année de vêlage (k = 1995, 1996, 1997, ..., 2010 et 2011) avec la $l^{\text{ème}}$ saison de vêlage (l = automne, hiver, automne et été);

NL_m : effet fixe de la $m^{\text{ème}}$ lactation (m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9);

e_{ijklmn} : erreur résiduelle.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Performances moyennes des productions du lait, des MG et des MP

Le tableau 1 résume les moyennes des productions journalières du lait, des matières grasses, des protéines, de l'urée et des comptages et des scores des cellules somatiques ainsi que leurs écarts types respectifs. Les productions des contrôles journaliers du lait, des MG et des MP augmentent de la première à la troisième lactation puis diminuent. Les valeurs maximales sont réalisées au cours de cette dernière. Ces résultats s'accordent avec ceux trouvés par Rekik *et al.* (2003) qui ont situé le pic de ces productions au cours de la troisième lactation. Les moyennes de la production laitière sont de 23,1 kg, 23,6 kg et 23,8 respectivement pour la 1^{ère}, la 2^{ème} et la 3^{ème} lactation. Celles des matières grasses sont de 0,74 kg, 0,78 kg et 0,79 kg et celles des matières protéiques sont de 0,70 kg, 0,72 kg et 0,73 kg respectivement pour les 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} lactations.

Ajustement des courbes par la fonction Gamma Incomplète

La fonction IG de Wood ajuste convenablement les courbes moyennes du lait et de ses composants (Rekik *et al.*, 2003).

Après l'ajustement des courbes, on a constaté que ces dernières sont classées en deux types: les courbes typiques ($b > 0$ et $c > 0$) et les courbes atypiques qui elles mêmes sont divisées en 3 classes: classe I ($b < 0$ et $c < 0$), classe II ($b > 0$ et $c < 0$) et classe III ($b < 0$ et $c > 0$).

L'utilisation d'une courbe de lactation moyenne (Tableau 2) peut cacher une variabilité au sein des individus à étudier. En effet, le paramètre «a» représente 22,9 kg pour la courbe moyenne du lait en 3^{ème} lactation par contre il valorise

seulement 22,0 kg pour la moyenne des courbes individuelles. Les paramètres «b» et «c» sont plus faibles pour la courbe moyenne (0,11 et 0,0021) contre 0,19 et 0,0045 pour la moyenne des courbes individuelles respectivement. Le pic de la lactation moyenne est de 30,4 kg alors qu'il est plus élevé pour la moyenne des courbes individuelles et atteint 36,6 kg. La persistance est légèrement variable entre la courbe moyenne (6,45) et la moyenne des courbes individuelles (6,77). Les mêmes variations sont observées pour la MG et la MP.

Analyse des courbes moyennes de lactation des traits: lait, MG et MP

Les figures 1, 2 et 3 représentent respectivement les courbes moyennes du lait, des MG et des MP en fonction de la parité; ces dernières ont été ajustées selon le modèle de Wood (1967). D'après ces courbes, on remarque la valeur maximale de production atteinte pendant les 9 lactations est celle de la troisième lactation, c'est le pic du rendement où la production atteint une valeur de 30,4 kg au 37^{ème} jour de lactation; ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Ben Gara *et al.* (2006) et Rekik *et al.* (2003) qui ont situé le rendement maximal entre la 3^{ème} et la 5^{ème} lactation. Alors que la persistance la plus élevée est celle de la première lactation (6,90); elle diminue ensuite d'une lactation à une autre pour atteindre une valeur de (6,47) au cours de la 9^{ème} lactation. Concernant la date de pic, on remarque qu'elle varie entre 32 et 57 jours et qu'elle diminue avec le numéro de lactation. L'accroissement progressif de la production jusqu'au pic est du à la croissance de l'activité mammaire pendant le début de la lactation. Ces résultats confirment ceux trouvés par Silvestre *et al.* (2010) qui ont indiqué que les multipares atteignent leur pic plus tôt durant la lactation

Tableau 1: Performances moyennes des productions du lait, des MG et des MP

Lactation	Lait (kg)			Matières grasses (kg)			Matières protéiques (kg)		
	N	Moyenne	ET	N	Moyenne	ET	N	Moyenne	ET
1	58479	23,1	7,96	58479	0,74	0,26	58479	0,70	0,23
2	39755	23,6	9,54	39755	0,78	0,33	39755	0,73	0,29
3	26046	23,8	9,87	26046	0,79	0,34	26046	0,73	0,29
4	16063	23,0	9,77	16063	0,77	0,34	16063	0,71	0,29
5	9550	22,0	9,52	9550	0,74	0,33	9550	0,68	0,28
6	5169	21,1	9,16	5169	0,71	0,32	5169	0,65	0,27
7	2709	20,0	8,36	2709	0,68	0,30	2709	0,61	0,25
8	1170	19,7	8,07	1170	0,66	0,29	1170	0,60	0,23
9	510	18,4	7,90	510	0,61	0,28	510	0,55	0,23

Lact: lactation, N: nombre d'observations, ET: écart-type

Tableau 2: Estimation des paramètres des courbes moyennes du lait, des MG et des MP des lactations 1, 3, 6 et 9

Variables	Lait				Matières grasses				Matières protéiques			
	1	3	6	9	1	3	6	9	1	3	6	9
NI												
a (Kg)	18,9	22,9	21,3	15,9	0,7594	0,8785	0,8075	0,5200	0,5939	0,7475	0,7034	0,5374
B	0,12	0,11	0,10	0,13	0,046	0,064	0,059	0,1341	0,095	0,086	0,071	0,094
C	0,0021	0,0030	0,0030	0,0033	0,0013	0,0024	0,0025	0,0030	0,0015	0,0025	0,0026	0,0027
Pic (Kg)	27,3	30,4	27,3	23,08	0,8550	1,01	0,9164	0,7551	0,7986	0,9283	0,8288	0,6836
date du pic (jours)	57,0	37,0	32,0	40,9	35,0	26,0	23,0	44,0	60,0	34,0	27,0	35,0
Persistance	6,90	6,45	6,35	6,47	6,94	6,41	6,31	6,56	7,05	6,48	6,36	6,46
Coefficient de détermination (%)	0,18	0,29	0,28	0,26	0,09	0,22	0,21	0,18	0,10	0,25	0,24	0,21

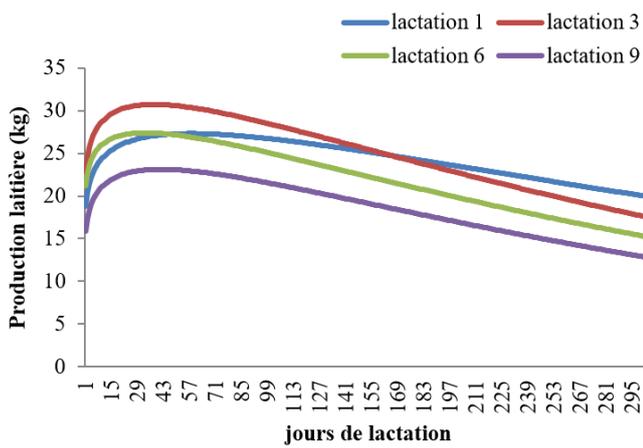


Figure 1: Courbes moyennes du lait des vaches Holstein selon le numéro de lactation

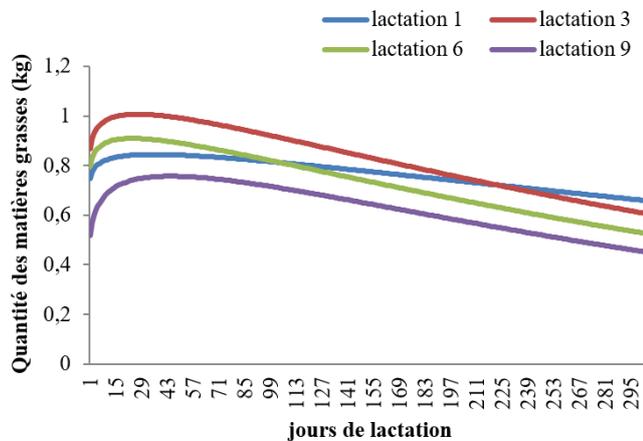


Figure 2: Courbes moyennes des matières grasses des vaches Holstein selon le numéro de lactation

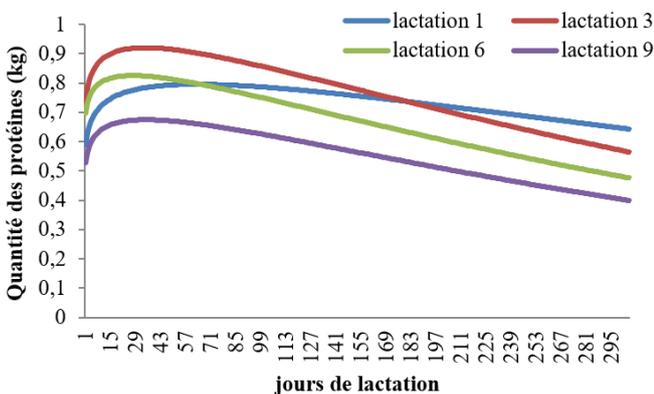


Figure 3: Courbes moyennes des matières protéiques des vaches Holstein selon le numéro de lactation

que les primipares et ceux de Rekik *et al.* (2003) qui ont indiqué que le pic de lactation est atteint entre la 6^{ème} et la 8^{ème} semaine après le vêlage.

Les courbes des MP et des MG évoluent dans le même sens que celle de la production laitière en fonction du numéro et du stade de la lactation. Les quantités maximales coïncident avec des dates de pic de 26 et 34 jours avec des moyennes de 0,878 kg et 0,747 kg respectivement pour les MP et les MG; ceci lors de la 3^{ème} lactation. Comme pour la courbe de lactation, la persistance la plus élevée pour les courbes des MP et des MG est plus élevée chez les primipares (6,94 et 7,05 respectivement pour les MP et les MG) et elle diminue en fonction de la parité; plus le numéro de lactation augmente, plus la persistance diminue.

Facteurs de variation des paramètres des courbes de lactation des traits

Variation de l'indicateur du début de lactation «a»

Il apparaît, selon le tableau 3, que le secteur et le troupeau (secteur) ont des effets hautement significatifs ($p < 0,0001$) sur le paramètre «a». Les moyennes des moindres carrés (MMC) de «a» varient de 16,4 à 22,0 respectivement dans les fermes de l'OEP et la SMVDA. Ces variations sont dues au type d'alimentation, d'hygiène, la topographie ainsi qu'à la gestion proprement dite du troupeau. Ces résultats se trouvent conforme à ceux d'Accacha (1985) et Garrouri (1986), ayant signalé que l'effet du troupeau entraîne des variations importantes dans la courbe de lactation. Darej *et al.* (2010) ont aussi indiqué que l'effet ferme induit des variabilités d'expression des potentiels génétiques des vaches d'une unité de production à une autre.

L'interaction de l'année de vêlage-saison de vêlage a modifié d'une manière importante ($p < 0,0001$) l'indicateur du début de lactation «a». Les moyennes des MMC de «a» sont de 17,9; 17,7; 19,0 et 19,6 respectivement pour les vaches qui vêlent en été, automne, hiver et printemps. Les moyennes les plus élevées de «a» sont donc obtenues pour les vêlages d'hiver et de printemps. Ceci s'accorde avec les résultats d'Agabriel *et al.* (1990) qui ont mentionné que les lactations de début d'été bien qu'ayant le niveau initial le plus élevé, présentent une production totale inférieure à celle des lactations démarrant en fin d'été ou début d'hiver. Ceci est peut être du, d'une part à l'irrégularité de point de vue précipitation et température d'une année à une autre et d'autre part à la différence entre les niveaux d'alimentation selon les saisons: en hiver, l'herbe est abondante et sa digestibilité est maximale. L'animal en consomme de grandes quantités et ce haut niveau d'alimentation lui per-

Tableau 3: Facteurs de variation des paramètres de la courbe de lactation

Source de variation	Paramètre a		Paramètre b		Paramètre c		Paramètre pic		Paramètre persistance	
	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F
Secteur	32143,7	<,0001	2,31	<,0001	0,00013293	<,0001	11,50	0,0081	11,500652	0,0081
Troupeau (secteur)	14171,7	<,0001	1,00	<,0001	0,00039180	<,0001	115,66	<,0001	115,663123	<,0001
Année vêlage*saison vêlage	962,2	<,0001	0,13	<,0001	0,00003827	<,0001	20,89	<,0001	20,890984	<,0001
Numéro de lactation	7623,5	<,0001	0,09	0,0002	0,00133384	<,0001	189,76	<,0001	189,764618	<,0001
R ²	8,60%		3,4%		6,67%		4,6%		4,62%	

CM: carré moyen, NS: Non significatif, R²: coefficient de détermination

met de réaliser des productions laitières élevées. En plus les températures fraîches à cette période sont favorables à la production. En revanche, en été, l'herbe est moins abondante et souvent de valeur nutritive moindre, la conséquence est une baisse de production, ce qui est confirmé par Garrouri (1986) qui a mentionné la saison de vêlage optimale pour la production laitière est l'hiver suivi par le printemps, ensuite l'automne et enfin l'été.

L'effet du numéro de lactation est hautement significatif ($p < 0,0001$) sur «a». Les MMC de «a» sont de 16,1; 19,5; 19,9; 19,6; 19,2; 18,1; 18,1; 17,7 et 18,5 respectivement de la 1^{ère} à la 9^{ème} lactation. On remarque que «a» augmente de la 1^{ère} à la 3^{ème} lactation où elle atteint son maximum (19,9) puis elle diminue progressivement. Les variations de ce dernier sont dues à l'augmentation progressive de la capacité d'ingestion en relation avec l'amélioration du poids vif de l'animal qui atteint son maximum puis diminue par la suite à partir de la 5^{ème} lactation. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Rekik *et al.* (2003) et Ben Gara *et al.* (2006) qui ont indiqué que le pic du rendement se situe entre la 3^{ème} et la 5^{ème} lactation.

Variation de l'indice de croissance de la phase ascendante «b» (lait)

Les effets du secteur et du troupeau (secteur) sont très importants ($p < 0,0001$) sur la variation du paramètre «b». Les MMC de l'indice de croissance en phase ascendante «b» varie entre 0,16 en OTD et 0,21 dans les fermes privées. Ces effets peuvent être expliqués par la présence de facteurs spécifiques à chaque exploitation (technicité de la main d'œuvre, type de traite, alimentation...).

L'effet de l'interaction année de vêlage-saison de vêlage sur la variation de «b» est aussi considérable ($p < 0,0001$). Les moyennes des MMC de «b» sont de 0,19 en été, 0,20 en automne, 0,19 en hiver et 0,16 au printemps. On déduit que les vêlages d'automne et d'hiver sont les plus favorables pour avoir une meilleure phase ascendante.

La constante «b» varie avec le rang de lactation ($p < 0,0002$). Elle est élevée en 1^{ère}, 6^{ème}, 7^{ème} et 8^{ème} lactations contrairement au paramètre «a» qui est faible au cours de ces mêmes lactations. Ceci s'explique par le fait que ces deux paramètres sont corrélés négativement.

Variation de l'indice de décroissance de la phase descendante «c»

Le secteur a un effet considérable ($p < 0,0001$) sur la variation de «c». L'OTD se caractérise par la MMC la plus faible du paramètre «c» (0,0046) alors que la MMC de «c» des SMVDA est la plus élevée (0,0049). Ce dernier définit la phase descendante de la courbe de lactation, plus ce paramètre est faible plus la persistance de la courbe est élevée. L'augmentation des MMC de «c» des SMV revient à l'augmentation des nombres des vaches âgées dans le troupeau (taux de réforme faible). La contribution du numéro de lactation est la plus grande pour l'ensemble du modèle (70,3%); son effet modifie d'une façon importante ($p < 0,0001$) le paramètre «c». La MMC de ce paramètre varie de 0,0031 à 0,0058 de la 1^{ère} à la 9^{ème} lactation et augmente avec l'augmentation de la parité, on déduit que la MMC la plus faible est celle de la 1^{ère} lactation (0,0031) par conséquent, la persistance de la 1^{ère} lactation est la plus élevée.

L'interaction année de vêlage- saison de vêlage représente une faible contribution de l'ordre de 2,01%, elle a un effet important sur la variation de «c» (Tableau 6). Les moyennes des MMC sont 0,0046; 0,0047; 0,0050 et 0,0045 respectivement pour l'été, automne, hiver et le printemps. On remarque que les faibles MMC sont situées au vêlage d'été et d'automne. Ces résultats s'accordent avec Leclerc *et al.* (2007) qui ont mentionné que les vaches vêlant en automne produisent plus à la fin de la lactation. On remarque aussi, que la MMC de «c» varie d'une année à une autre et dans la même année dans des saisons différentes. Ces variations sont dues à l'irrégularité des conditions climatiques méditerranéennes inter et intra année.

Variation du pic

Le secteur contribue de 86,5% à la variation du pic, son effet est significatif ($p < 0,0081$) (Tableau 3). Les MMC du pic de lactation de l'OEP, l'OTD, PRI et SMV sont respectivement de 26,9; 30,0; 32,9 et 39,1. On remarque que les meilleures productions sont obtenues aux fermes privées (PRI) et aux (SMV). Cela peut refléter la politique du secteur cherchant à maximiser les profits par la maîtrise de la conduite d'élevage et surtout de l'alimentation. Aussi, on s'intéresse plus au côté hygiène (étable et salle de traite). La gestion des troupeaux dans les fermes privées et les SMV est plus facile car généralement les effectifs sont réduits par rapport aux fermes étatiques (OEP et OTD). Notons aussi que dans le secteur étatique (OTD et OEP) la gestion n'est pas facile et la mobilisation des réserves est lente. De même, on remarque qu'au sein du même secteur, il y a une variation des pics de lactation ce qui revient à la variation de l'effet du troupeau (spécificité de la conduite de chaque troupeau).

L'interaction année de vêlage-saison de vêlage a un effet hautement significatif ($p < 0,001$) sur le pic, malgré sa faible contribution (3,45%) (Tableau 3). On remarque que les meilleurs pics de lactation sont ceux des vaches qui ont vêlé en automne et hiver car pour les vêlages d'automne et d'hiver, les pics coïncident avec l'hiver et le printemps où les fourrages sont de quantité abondante et de bonne qualité.

De même, la parité affecte remarquablement ($p < 0,0001$) la variation du pic de lactation, elle contribue que 3,38% de l'ensemble des sources de variation du modèle étudié (Tableau 3). On constate que les meilleures productions sont obtenues à la 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} lactation. Ces résultats s'accordent avec ceux de Ben Gara *et al.* (2006) ayant indiqué que le rendement laitier varie en fonction de la parité et de Silvestre *et al.* (2010) qui ont mentionné que les vaches multipares atteignent leur pic de rendement plus tôt, durant la lactation, que les primipares

Variation de la persistance

Le modèle explique aux alentours de 5% de la totalité de la variation de la persistance (Tableau 3).

La meilleure persistance (6,95) est enregistré chez les vaches des fermes privées, ceci peut être due à la bonne gestion de la conduite (respect de la durée du tarissement, une bonne préparation des vaches gestantes pour assurer une bonne lactation).

L'interaction année de vêlage-saison de vêlage modifie considérablement ($p < 0,0001$) la persistance. Les MMC de la persistance sont 6,90; 7,03; 6,61 et 6,83 respectivement pour les vaches vêlant en été, en automne, en hiver et au

printemps. Donc, les meilleures saisons de vêlage des vaches laitières sont l'été et l'automne. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Agabriel *et al.* (1990) qui ont mentionné que les vêlages de fin d'été (août-octobre) conduisent ainsi à une meilleure persistance de la production et à des taux plus stables et plus élevés que les vêlages de fin d'hiver (février-avril).

Le numéro de lactation a aussi un effet important ($p < 0,0001$) sur la variation de la persistance avec une contribution de 56,2% (tableau 20). Les MMC de la persistance diminuent avec l'augmentation de la parité, la meilleure persistance est celle de la 1^{ère} lactation.

RÉFÉRENCES

- Accacha M. (1985). Effet de la saison de vêlage sur les paramètres de production chez la Pie-Noire. Mémoire de fin d'étude de cycle de spécialisation. Institut National Agronomique de Tunis.
- Agabriel G., Coulon J.B., Marty G., Cheneau N. (1990). Facteurs de variation du protéique du lait de vache ; Etude des exploitations du Puy-de-Dôme. *INRA Prod. Anim.*, 3:137-150.
- Ben Gara A., Rekik B., Bouallègue M. (2006). Genetic parameters and evaluation of the Tunisian dairy cattle population for milk yield by Bayesian and BLUP analyses. *Livestock Prod. Science*, 100: 142–149.
- Boujenane I. (2010). La courbe de lactation des vaches laitières et ses utilisations. *L'Espace Vétérinaire*, 92 Mai – Juin.
- Darej C., Moujahed N., Kayouli C. (2010). Effets des systèmes d'alimentation sur les performances des bovins dans les fermes laitières du secteur organisé dans le nord de la Tunisie: 1. Effets sur la production laitière. *Livestock Research for Rural Development*, 22 (5).
- Decean C., Journet M., Poutous M. (1970). Évolution de la production laitière de la vache au cours des deux premiers mois de lactation. Description graphique de l'évolution journalière de la quantité de lait secrétée, du taux butyreux et de la quantité de matières grasses secrétée. *Ann. Zootech.*, 19: 191-203.
- Garrouri M. (1986). Facteurs de variation des performances laitières de la race Pie-Noire exploitée en Tunisie. Étude des possibilités d'ajustement pour la sélection. Mémoire de fin d'étude de cycle de spécialisation. Institut National Agronomique de Tunisie. 99 p.
- Jaouad M. (2010). Dynamique des cheptels bovins en Tunisie et contraintes alimentaires et fourragères. Institut des Régions Arides, 4119 Médenine, Tunisie
- Knight C.H., Wilde C.J. (1993). Mammary cell changes during pregnancy and lactation. *Livestock Production Science*, 35: 3-19.
- Leclerc H. (2008). Mise en place de l'évaluation génétique sur les contrôles élémentaires en bovins laitiers et perspectives d'utilisation des résultats en appui technique. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech). Spécialité: Génétique animale.
- Masselin S., Sauvant D., Chapoutot P., Milan D. (1987). Les modèles d'ajustement des courbes de lactation. *Annales de Zootechnie*, 36: 171-206.
- Rekik B., Ben Gara A., Ben Hamouda M., Hammami H., (2003). Fitting lactation curves of dairy cattle in different types of herds in Tunisia. *Livestock Production Science*, 83: 309–315.
- Scott T.A., Yandell B., Zepeda L., Shaver R.D., Smith T.R., (1996). Use of lactation curves for analysis of milk production data. *J. Dairy Sci.*, 79: 1885-1894.
- Silvestre A.M.D., De Almeida J.C.M., Dos Santos V.A.C., Fontes P.J.P., Alves V.C., (2010). Modeling lactation curves of "Barrosã" beef cattle with Wood's model. *Italian Journal of Animal Science*, 9:e47.
- Sraïri M. T., Ben Salem M., Bourbouze A., Elloumi M., Faya, B. (2008). Perspective de la durabilité des élevages de bovins laitiers au Maghreb à l'aune de défis futurs: libéralisation des marchés, aléas climatiques et sécurisation des approvisionnements. In Colloq. Int. Développement durable des Productions Animales: Enjeux, Évaluation et Perspectives, Alger (pp. 20-21).
- Sraïri M.T., Ben Salem M., Bourbouze A., Elloumi M., Faye B., Madani T., Yakhlef H., (2007). Analyse comparée de la dynamique de la production laitière dans les pays du Maghreb. *Cahiers Agricultures*, 16(4).
- Tekerli M., Akici Z., Dogan I., Acan A. (2000). Factors affecting the shape of lactation curves of Holstein cows from the Balikesir province of Turkey. *J. Dairy Sci.*, 83: 1381- 1386.
- Vargas B., Koops W.J., Herrero M., Van Arendonck J.A.M., (2000). Modeling extended lactation of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 83: 1371-1380.
- Wood P.D.P. (1976). Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production, with the estimates of seasonal variation. *Animal Production*, 22: 35-40.
- Wood P.D.P. (1977). The biometry of the lactation. *Journal of Agricultural Science*, 88: 333-339.
- Wood P.D.P. (1979). A simple model of lactation curves for milk yields, food requirement and body weight. *Animal Production*, 28: 55-63.