

# ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2006 - Thèse n° 57

## ***RELATIONS ENTRE FERTILITE ET EVOLUTION DE L'ETAT CORPOREL CHEZ LA VACHE LAITIERE : LE POINT SUR LA BIBLIOGRAPHIE***

# THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 12 Septembre 2006  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*Laurent BOSIO*  
Né le 9 Juin 1978  
à Lyon VIII<sup>ème</sup>





**DEPARTEMENTS ET CORPS ENSEIGNANT DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON**

*Directeur : Stéphane MARTINOT*

Au 16 JANVIER 2005

DEPARTEMENT	PRÉLX	PRI	PRC	MCA	Conférence Assoc. IMAC et ISV	AABK	Associations d'Étudiants
<b>DEPART. SANTÉ PUBLIQUE VÉTÉRINAIRE</b> Microbiologie, Immunologie, Pathologie Générale	Y. RICHARD		A. LACHERETZ M. ARTOIS	V. GUERIN-FAUBLEE 90 % A. KODJO D. GREZEL J. VIALARD			
Pathologie infectieuse							
Parasitologie & Maladies parasitaires	MC. CHAUVE	G. BOURDOISEAU		MP. CALLAIT CARDINAL L. ZENNER	ISPV		
Qualité et Sécurité des Aliments		G. CHANTEGRELET	P. DEMONT C. VERNZOZY A. LACHERETZ	A. GONTHIER			
Législation & Jurisprudence				P. SABATIER M.L. DELIGNETTE 80 % K. CHALVET-MONFRAY			
Bio-Mathématiques							
<b>DEPART DES ANIMAUX DE COMPAGNIE</b>							
Anatomie		E. CHATELAIN	T. ROGER	S. SAWAYA	R. DA ROCHA CARARO MCC		BENREDOUANE K. N. GAY I. GOUJON
Chirurgie et Anesthésiologie	J.P. GENEVOIS	J.P. MAGNOL C. FOURNEL	D. FAU E. VIGHIER D. REMY		G. CHANOIT S. JUNOT K. PORTIER C. DECOSNE-JUNOT	MCC MCC MCC MCC	
Anatomie-pathologique/Dermatologie-Cancérologie/ Hématologie			C. FLEURY	T. MARCHAL	D. WATRELOT-VIRIEUX F. BELLI D. PIN	MCC MCA MCA	I. BUBLOT C. GALET C. ESCRIOU
Médecine interne	J.L. CADORE			L. CHABANNE F. FONCE	M. HUGONNARD	MCC	F. DURIEUX
Imagerie médicale				E. CAUVIN	J. SONET	MCC	
<b>DEPART DES PRODUCTIONS ANIMALES</b>							
Zootéchnie, Ethologie & Économie rurale		M. FRANCK		P. LETERME		L. MOUNIER	
Nutrition et Alimentation			M. KACHAL-BRETTIN	D. GRANCHER L. ALVES de OLIVEIRA G. EGROU-MORAND S. BUFF P. GUERLIN			
Biot & Patho de la Reproduction		F. BADDINAND		R. FRUKHA M.A. ARCAANGIOLI D. LE GRAND	D. LAURENT	MCA	N. GIRAUD P. DEBARNOT D. LAURENT
Patho Animaux de Production		P. BEZILLE	T. ALOGNINOUIVA				
<b>DEPART SCIENCES BIOLOGIQUES</b>							
Physiologie /Thérapeutique	R. BOVIN		E. BENOIT F. GRAIN	J.J. THIEBAULT J.M. BONNET-GARIN 90 % T. BUKONFOSSE V. LAMBERT			
Biophysique/Biochimie Génétique et Biologie moléculaire		F. GARNIER					
Pharmacie / Toxicologie Législation du Médicament	G. KECK		P. FAUSSAUD P. BERNY				C. FARMER R. SULLIVAN IPAC IPAC
Langues							
<b>DEPART HIPPIQUE</b>							
Pathologie équine Chimie équine	J.L. CADORE O. LEPAGE		C. FLEURY	A. LEBLOND A. BENAMOU-SMITH			
Expertise nécropsique							



A Monsieur le Professeur Michel BERLAND  
De la Faculté de Médecine de Lyon,

Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de notre thèse,

Hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur Stéphane MARTINOT  
Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

Pour nous avoir encadré et soutenu dans la réalisation de ce travail,

Puissiez-vous trouver ici l'expression de notre profonde gratitude ainsi que nos sincères vœux de réussite dans l'accomplissement de vos fonctions pour notre Ecole.

A Monsieur le Docteur Denis GRANCHER  
De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

Pour avoir accepté de juger notre travail,

Sincères remerciements.



A mes parents,  
A Aurélie,

Pour tout, et bien plus encore.

A ma grande famille ainsi qu'à nos regrettés défunts,

Tout mon amour.

A mes amis,

Pour votre indispensable présence.

A mes Professeurs et Maîtres, qui m'ont tant aidés,

Puissé-je toujours être digne de votre confiance et de votre enseignement.

A toute l'équipe de la Clinique Vétérinaire des Etangs,

Pour la chance de pouvoir exercer chaque jour mon métier avec vous.



A Maryline et Amandine.



« Toujours imbus des principes d'honnêteté qu'ils auront puisés et dont ils auront vu des exemples dans les Ecoles, ils ne s'en écarteront jamais. Ils distingueront le pauvre du riche. Ils ne mettront point à un trop haut prix des talents qu'ils ne devront qu'à la bienfaisance et à la générosité de leur patrie. Enfin, ils prouveront par leur conduite qu'ils sont tous également convaincus que la fortune consiste moins dans le bien que l'on a que dans celui que l'on peut faire. »

Article 19 du Règlement pour les Ecoles Royales Vétérinaires, 1777.



# TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>19</b>
<b>PREMIERE PARTIE :.....</b>	<b>21</b>
<b>ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE DE LA REPRODUCTION CHEZ LA VACHE LAIETIERE .....</b>	<b>21</b>
<b>I. LE CYCLE OESTRAL DE LA VACHE.....</b>	<b>23</b>
A. <i>Physiologie de l'activité ovarienne cyclique chez la vache</i> .....	23
1) Ovogenèse .....	23
2) Folliculogenèse.....	24
3) Phase lutéale .....	27
B. <i>Régulation hormonale du cycle sexuel chez la vache</i> .....	27
1) Aperçu du contrôle hormonal du cycle .....	27
2) Régulation de la sécrétion de la GnRH .....	30
3) Régulation de la croissance folliculaire.....	30
a) Croissance folliculaire pré-antrale .....	31
b) Recrutement .....	32
c) Sélection .....	32
d) Dominance .....	32
<b>II. PHYSIOLOGIE REPRODUCTRICE <i>POSTPARTUM</i> DE LA VACHE LAIETIERE .....</b>	<b>34</b>
A. <i>Péri-partum et postpartum immédiat</i> .....	34
B. <i>Reprise d'activité sexuelle après le vêlage</i> .....	34
1) Rétablissement de l'activité des gonadotrophines postpartum .....	34
2) Reprise du développement folliculaire postpartum.....	35
<b>III. FERTILITE ET OBJECTIFS DE REPRODUCTION EN ELEVAGE BOVIN LAITIER.....</b>	<b>36</b>
A. <i>Notion de fertilité : application en élevage bovin laitier</i> .....	36
B. <i>Objectifs standards pour la reproduction des vaches laitières</i> .....	38
1) Intervalle vêlage – insémination fécondante (IV-IF) .....	38
2) Taux de réussite en première insémination (TRIA1) .....	39
<b>DEUXIEME PARTIE : .....</b>	<b>41</b>
<b>ETAT CORPOREL : NOTATION, PROFIL <i>POSTPARTUM</i>, MAITRISE DE L'ALIMENTATION <i>POSTPARTUM</i> .....</b>	<b>41</b>
<b>I. NOTATION DE L'ETAT CORPOREL .....</b>	<b>43</b>
A. <i>Principes et échelles de notation</i> .....	43
B. <i>Intérêts de la notation de l'état corporel chez la vache laitière</i> .....	46
1) Représentativité du statut énergétique de l'animal.....	46
2) Fiabilité de la méthode .....	46
3) Autres intérêts zootechniques.....	47
<b>II. PROFIL DE L'ETAT CORPOREL AU COURS DU <i>POSTPARTUM</i> CHEZ LA VACHE LAIETIERE .....</b>	<b>48</b>
A. <i>Influence du stade du postpartum</i> .....	48
B. <i>Influence de l'état d'engraissement au moment du part</i> .....	50

C.	<i>Influence de la saison du vêlage</i> .....	50
D.	<i>Influence de la parité</i> .....	50
E.	<i>Relations avec le niveau de la production laitière</i> .....	51
<b>III.</b>	<b>LA GESTION DES CONTRAINTES NUTRITIONNELLES AUTOUR DU VELAGE</b> .....	<b>52</b>
A.	<i>Evolution des besoins alimentaires et de la capacité d'ingestion</i> .....	52
1)	Evolution théorique de la ration de la vache laitière en péri-partum .....	52
2)	Conséquences .....	53
a)	Besoins énergétiques .....	53
b)	Besoins protéiques et minéraux.....	54
c)	Evolution de la ration .....	54
B.	<i>Couverture des besoins énergétiques</i> .....	54
1)	Réserves corporelles.....	54
2)	Maîtrise des besoins énergétiques .....	56
C.	<i>Couverture des besoins azotés</i> .....	56
	<b>TROISIEME PARTIE :</b> .....	<b>59</b>
	<b>RELATIONS ENTRE FERTILITE ET PROFIL DE L'ETAT CORPOREL</b>	
	<b>POSTPARTUM : INFLUENCE DU DEFICIT ENERGETIQUE SUR LES</b>	
	<b>PERFORMANCES DE REPRODUCTION CHEZ LA VACHE LAITIERE</b> .....	<b>59</b>
<b>I.</b>	<b>FERTILITE EN ELEVAGE BOVIN LAITIER : SITUATION ACTUELLE</b> .....	<b>61</b>
A.	<i>Constat du déclin de la fertilité en élevage bovin laitier moderne</i> .....	61
1)	Evolution de l'intervalle entre mise bas .....	62
2)	Evolution de l'IVIA1 .....	63
3)	Intervalle entre inséminations .....	64
4)	Evolution du TRIA1 .....	65
B.	<i>Production laitière et fertilité</i> .....	66
1)	Relation génétique entre fertilité et production .....	66
2)	Relation phénotypique entre fertilité et production.....	67
3)	Influence de la composition du lait .....	68
C.	<i>Aspects physiologiques et physiopathologiques de la reproduction et de la fertilité</i> <i>des vaches laitières contemporaines</i> .....	69
1)	Reprise de l'activité ovarienne postpartum .....	69
2)	Anomalies de reprise de la cyclicité après vêlage.....	69
a)	Identification et fréquence des anomalies de la reprise de cyclicité <i>postpartum</i> 69	
b)	Facteurs de risque des anomalies de la cyclicité .....	70
c)	Effets sur les performances de reproduction .....	71
3)	Détection et expression des chaleurs.....	72
a)	Effet du profil d'activité cyclique sur la qualité de détection des chaleurs de mise à la reproduction .....	72
b)	Evolution de l'expression des chaleurs .....	72
4)	Mortalités embryonnaires précoce et tardive .....	73
a)	Détermination des différentes situations après insémination.....	73
b)	Fréquence des différentes situations après IA .....	75
c)	Facteurs de variations du taux de gestation et de mortalité embryonnaire .....	75
<b>II.</b>	<b>PROFILS D'ETAT CORPOREL POSTPARTUM, BALANCE ENERGETIQUE ET FERTILITE</b>	<b>76</b>
A.	<i>Relation entre la perte d'état corporel postpartum et les performances de</i> <i>reproduction</i> .....	76
B.	<i>Déficit énergétique et cyclicité ovarienne postpartum</i> .....	78

C.	<i>Déficit énergétique et mortalité embryonnaire</i> .....	80
D.	<i>Déficit énergétique et expression des chaleurs</i> .....	80
E.	<i>Etat corporel et affections du postpartum</i> .....	81
1)	Affections de l'appareil génital .....	81
2)	Maladies métaboliques .....	81
F.	<i>Profils optimaux d'état corporel</i> .....	82
1)	Etat corporel au vêlage .....	82
2)	Du vêlage au pic d'ingestion de matière sèche .....	82
3)	En milieu de lactation.....	83
4)	En fin de lactation .....	83
5)	Tarissement .....	83
6)	Bilan : profil idéal de note d'état corporel .....	84
<b>III.</b>	<b>ASPECTS PHYSIOPATHOLOGIQUES DE LA RELATION ENTRE METABOLISME ET FERTILITE POSTPARTUM</b> .....	<b>85</b>
A.	<i>Mécanismes d'action du déficit énergétique sur la fertilité</i> .....	85
1)	Statut hormonal et métabolique postpartum de la vache laitière .....	85
2)	Action centrale .....	86
3)	Action sur l'activité ovarienne .....	87
4)	Autres effets .....	89
B.	<i>Impact de l'alimentation azotée sur la fertilité</i> .....	90
1)	Carences azotées .....	90
2)	Excès azotés .....	90
C.	<i>Influence de l'alimentation minérale et vitaminique</i> .....	91
1)	Minéraux majeurs.....	91
a)	Rôle du calcium.....	91
b)	Rôle du phosphore.....	92
c)	Rôle du magnésium .....	92
2)	Oligo-éléments et vitamines .....	92
a)	Influence sur les maladies génitales du <i>postpartum</i> .....	92
b)	Rôles dans la reprise de la cyclicité ovarienne.....	92
<b>IV.</b>	<b>SYNTHESE ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>93</b>
A.	<i>Etat corporel et conduite d'élevage</i> .....	93
B.	<i>Autres évolutions souhaitables dans la conduite d'élevage</i> .....	93
C.	<i>Sélection génétique sur les caractères de fertilité</i> .....	94
1)	Evaluation génétique des caractères de la fertilité femelle .....	95
2)	Evaluation génétique des caractères de fertilité mâle .....	95
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>97</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>99</b>



# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## Liste des figures

Figure 1 : Diagramme ovarien représentant les étapes du développement folliculaire vers l'ovulation et le corps jaune ou l'atrésie (d'après PETERS <i>et al.</i> , 1995). .....	24
Figure 2 : Chronologie du développement folliculaire (d'après FIENI <i>et al.</i> , 1995). .....	25
Figure 3 : Vagues de croissance folliculaire et variations hormonales au cours du cycle oestral de la vache (d'après FIENI <i>et al.</i> , 1995). .....	26
Figure 4 : Interactions entre hypothalamus, hypophyse, ovaire et utérus au cours du cycle oestral (d'après MEREDITH, 1995). .....	28
Figure 5 : Profils schématiques des concentrations hormonales plasmatiques au cours du cycle oestral : - - - , progestérone ; —, oestradiol ; PG, prostaglandines (d'après PETERS <i>et al.</i> , 1995). .....	29
Figure 6 : Rôles relatifs des gonadotrophines et des facteurs de croissance au cours du développement folliculaire (d'après WEBB, 1999). .....	31
Figure 7 : Croissances folliculaires au cours d'un cycle oestral chez la vache (d'après ENNUYER, 2000). .....	33
Figure 8 : Reprise du développement folliculaire chez la vache laitière <i>postpartum</i> (adapté d'après ENNUYER, 2000) .....	35
Figure 9 : Cycle reproducteur annuel théorique chez la vache laitière. ....	36
Figure 10 : Notions de fertilité et de fécondité appliquées en élevage bovin laitier (d'après TILLARD <i>et al.</i> , 1999). .....	37
Figure 11 : Diagramme de notation d'état corporel pour les vaches Prim'Holstein (d'après EDMONSON <i>et al.</i> , 1989). .....	45
Figure 12 : Evolution de l'état corporel moyen au cours du <i>postpartum</i> chez les vaches laitières (d'après DRAME <i>et al.</i> , 1999). .....	48
Figure 13 : Fréquence des vaches maigres et des vaches grasses au cours du <i>postpartum</i> (d'après DRAME <i>et al.</i> , 1999). .....	49
Figure 14 : Perte d'état corporel au cours des 60 premiers jours de lactation chez les vaches maigres, normales et grasses au moment du vêlage (d'après DRAME <i>et al.</i> , 1999). .....	50
Figure 15 : Evolution comparée de l'appétit et des besoins alimentaires autour du vêlage (d'après ENJALBERT, 2003). .....	53
Figure 16 : Modalités et contrôle hormonal de la mobilisation des réserves énergétiques en début de lactation (d'après ENJALBERT, 2003). .....	54
Figure 17 : Evolution de l'intervalle vêlage-vêlage chez des vaches laitières soumises au contrôle laitier sur dix campagnes d'insémination (d'après CHEVALLIER <i>et al.</i> , 1998). .....	62
Figure 18 : Evolution de l'intervalle entre vêlages depuis 1980 dans les trois principales races françaises (d'après BOICHARD <i>et al.</i> , 2002). .....	62
Figure 19 : Evolution de l'intervalle mise bas-1ère IA de 1995 à 2001 selon le numéro de lactation ( $L_n$ ) en race Prim'Holstein (d'après BOICHARD <i>et al.</i> , 2002). .....	63
Figure 20 : Evolution sur dix campagnes d'insémination du pourcentage de vaches avec un intervalle vêlage-première insémination de moins de 50 jours et de plus de 90 jours (d'après CHEVALLIER <i>et al.</i> , 1998). .....	64

Figure 21 : Distribution des intervalles entre IA au cours de l'année 2001, selon la race (d'après BOICHARD et al., 2002). .....	64
Figure 22 : Evolution du TRIA1 en race Prim'Holstein (d'après BOICHARD <i>et al.</i> , 2002). .....	65
Figure 23 : Evolutions de la production laitière annuelle et du taux de conception en race Prim'Holstein aux Etats-Unis (d'après BUTLER <i>et al.</i> , 1989). .....	66
Figure 24 : Evolution des niveaux de progestérone plasmatique périphérique pendant l'anoestrus, au cours du cycle et au début de la gestation chez la vache (d'après THIMONNIER, 2000). .....	74
Figure 25 : Relations entre perte d'état corporel post-partum et performances de reproduction (d'après BUTLER <i>et al.</i> , 1989). .....	76
Figure 26 : Relations entre perte d'état corporel <i>postpartum</i> et performances de reproduction (d'après EDE Bretagne, Pays de Loire, 1985). .....	77
Figure 27 : Effet du déficit énergétique sur la reprise d'activité ovarienne (STAPLES <i>et al.</i> , 1990). .....	78
Figure 28 : Conséquences d'un bilan énergétique négatif sur l'expression des chaleurs (d'après SPICER, 1990). .....	80
Figure 29 : Grille de profil de note d'état corporel et représentation des valeurs idéales pour une vache laitière multipare (d'après RODENBURG, 1992). .....	84
Figure 30 : Relation entre l'urémie et le TRIA1 (d'après FERGUSON, 1991). .....	91

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Définition des variables intéressant la fécondité et la fertilité des vaches laitières (d'après TILLARD <i>et al.</i> , 1999). .....	37
Tableau 2 : Objectifs standards pour la reproduction des vaches laitières (d'après VALLET <i>et al.</i> , 1984). .....	38
Tableau 3 : Principaux critères d'appréciation de l'état corporel des vaches laitières Prim'Holstein (d'après BAZIN, 1984). .....	44
Tableau 4 : Besoins énergétiques quotidiens d'une vache laitière de 600 kg en fonction de son stade physiologique (d'après INRA, 1988). .....	52
Tableau 5 : Besoins azotés quotidiens d'une vache laitière en fonction de son poids vif et de stade physiologique (d'après INRA, 1988). .....	56
Tableau 6 : Estimations des corrélations génétiques entre taux de réussite et production laitière chez les trois principales races laitières françaises (d'après BOICHARD <i>et al.</i> , 1998). .....	67
Tableau 7 : Fréquence des anomalies du cycle oestral dans 2 populations de vaches laitières à vingt ans d'intervalle (d'après ROYAL <i>et al.</i> , 2000). .....	70
Tableau 8 : Estimation des paramètres génétiques du TRIA chez la génisse ou <i>postpartum</i> (d'après BOICHARD et al., 1998). .....	95

# INTRODUCTION

La réussite de la reproduction est primordiale pour la rentabilité économique de l'élevage, elle constitue un préalable indispensable à toute production. Alors que la sélection génétique intense a permis une progression spectaculaire du niveau de la production laitière, les résultats publiés ces vingt dernières années en France, comme dans de nombreux autres pays, font état d'une dégradation de la fertilité chez les vaches laitières hautes productrices, plus particulièrement en race Prim'Holstein.

Malgré l'amélioration dans les connaissances du déroulement du cycle oestral bovin et les applications thérapeutiques qui en découlent (protocoles de synchronisation des chaleurs notamment), et en dépit de progrès zootechniques nombreux (en particulier dans l'alimentation des animaux), l'infertilité apparaît aujourd'hui comme une véritable maladie de l'élevage bovin laitier, les résultats des paramètres de reproduction s'étant ainsi éloignés des objectifs standards définis pour une gestion efficace de la reproduction.

Le *postpartum* constitue une période critique chez les vaches laitières hautes productrices : la croissance importante de la production laitière au cours des premières semaines suivant la mise bas coïncide avec une nouvelle mise à la reproduction, dont le succès requiert une reprise précoce de l'activité ovarienne normale, une excellente détection des chaleurs ainsi qu'un haut taux de réussite à l'insémination première [OPSOMER *et al.*, 1996].

Les besoins énergétiques *postpartum* étant maximaux, la vache laitière apparaît systématiquement en déficit énergétique marqué après le vêlage, et ce déficit pourrait expliquer en partie les résultats médiocres de reproduction dans la filière lait. De nombreuses études s'attachent en effet depuis plusieurs années à évaluer l'impact réel du déficit énergétique *postpartum* sur la fertilité et à en appréhender les mécanismes.

Nous exposerons dans une première partie les connaissances actualisées de physiologie de la reproduction chez la vache laitière, nécessaires à la compréhension des phénomènes impliqués dans le rétablissement de la cyclicité oestrale *postpartum*.

Dans une deuxième partie, nous présenterons la méthode de la notation de l'état corporel de la vache, reflet du statut énergétique de l'animal, l'évolution de cet état au cours du *postpartum* et la gestion particulière de l'alimentation des vaches laitières durant cette période.

Enfin, nous envisagerons l'influence du déficit énergétique sur la fertilité, en étudiant les relations entre le profil de l'état corporel des vaches laitières et leurs performances de reproduction, ainsi que les mécanismes physiopathologiques mis en jeu.



**PREMIERE PARTIE :**

**ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE DE LA  
REPRODUCTION CHEZ LA VACHE LAITIERE**



Chez tous les mammifères, l'appareil génital femelle présente au cours de la période d'activité génitale, des modifications morphologiques et physiologiques se produisant toujours dans le même ordre et revenant à intervalles périodiques, suivant un rythme bien défini pour chaque espèce.

Ces modifications, constituant le cycle sexuel ou cycle oestral, commencent à la puberté, se poursuivent tout au long de la vie génitale et ne sont interrompues que par la gestation. Elles dépendent de l'activité cyclique de l'ovaire, régulée par ses propres sécrétions hormonales, elles-mêmes sous dépendance étroite des hormones gonadotropes hypothalamo-hypophysaires.

## **I. LE CYCLE OESTRAL DE LA VACHE**

La vache est une espèce polyoestrienne de type continu avec une durée moyenne de cycle de 21/22 jours chez la femelle multipare et de 20 jours chez la génisse. L'activité sexuelle débute à la puberté, quand l'animal a atteint 50 à 60 % de son poids adulte, puis elle est marquée par cette activité cyclique, caractérisée par l'apparition périodique de l'œstrus. La presque totalité des génisses laitières sont cyclées à 15 mois [MIALOT *et al.*, 2001].

L'œstrus ou chaleur est la période d'acceptation du mâle et de la saillie. C'est la période de maturité folliculaire au niveau de l'ovaire, suivie de l'ovulation. Cet œstrus dure de 6 à 30 heures, et se caractérise par des manifestations extérieures : excitation, inquiétude, beuglements, recherche de chevauchement de ses compagnes, acceptation passive du chevauchement et écoulement de mucus.

L'ovulation a lieu 6 à 14 h après la fin de l'œstrus et est suivie par la formation du corps jaune et l'installation d'un état prégravidique de l'utérus, correspondant à la période d'installation de la fonction lutéale [DERIVAUX *et al.*, 1986].

### ***A. Physiologie de l'activité ovarienne cyclique chez la vache***

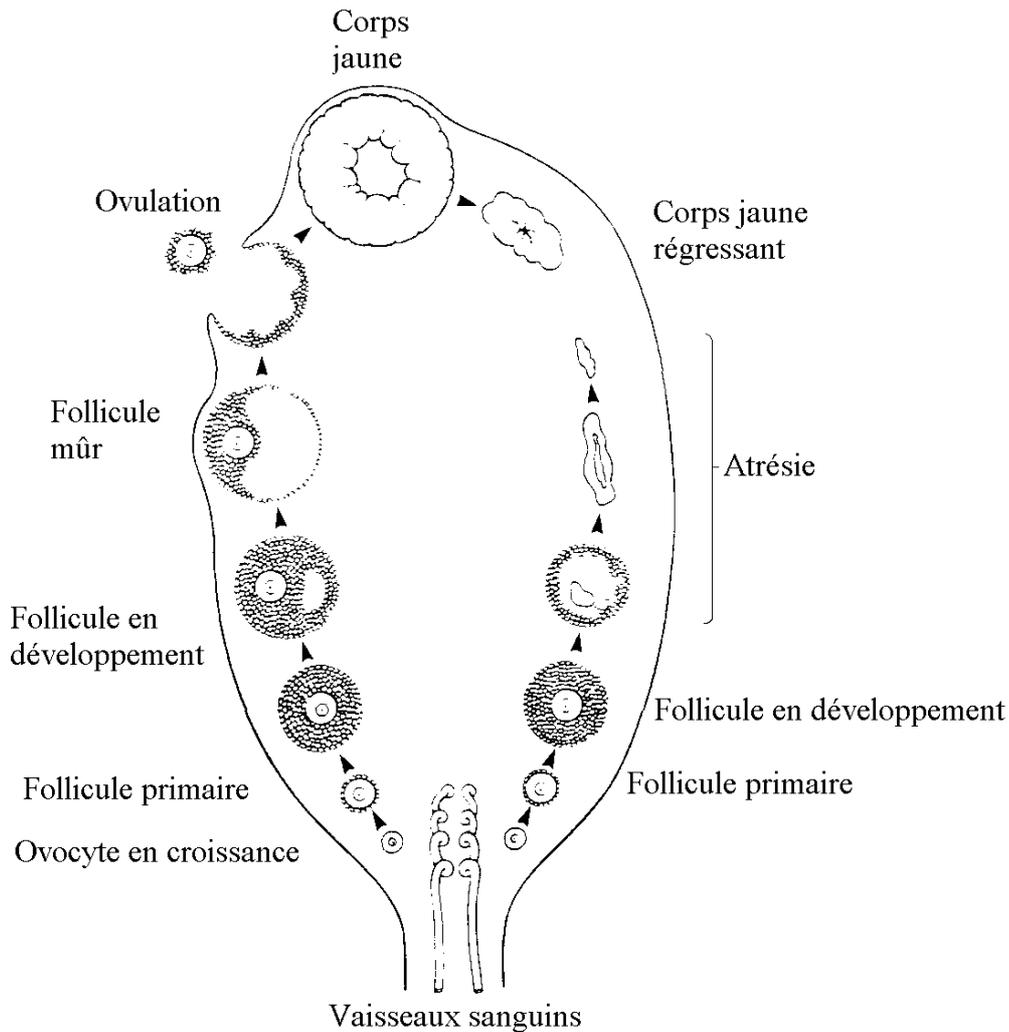
#### ***1) Ovogenèse***

L'ovogenèse, débutée lors du développement embryonnaire, s'est arrêtée à la prophase méiotique, laissant les ovocytes I entourés de cellules folliculeuses. Le nombre de ces follicules primordiaux, 235 000 à la naissance chez la vache [MIALOT *et al.*, 2001], diminuera avec l'âge par dégénérescence. Au cours de la succession des cycles, certains ovocytes iront jusqu'à la maturation et la ponte ovulaire, tandis que la majorité dégénèrera dans les follicules atrésiques.

Seulement quelques centaines d'ovocytes primordiaux achèveront ainsi la première division de la méiose pour évoluer en ovocyte II avec émission du premier globule polaire, suivie de la seconde division méiotique. C'est au stade métaphase de cette division qu'a lieu l'ovulation, et la maturation finale se déroulera lors de la fécondation, avec émission du second globule polaire.

## 2) Folliculogenèse

Une coupe d'ovaire de vache adulte permet de visualiser les follicules ovariens, présents depuis leur stade initial, ou follicule primordial, jusqu'au stade de follicule mûr ou dominant, libérant l'ovocyte.

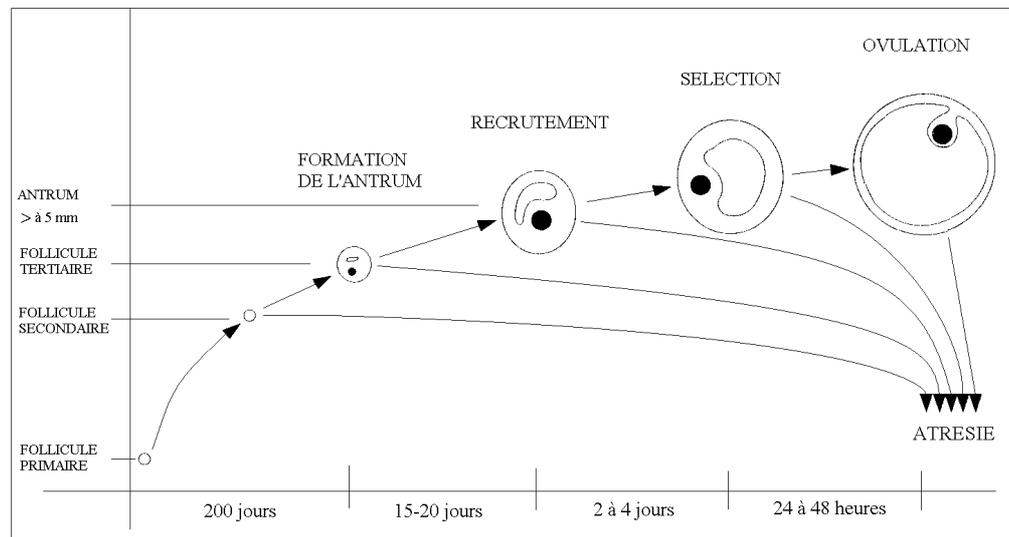


**Figure 1 : Diagramme ovarien représentant les étapes du développement folliculaire vers l'ovulation et le corps jaune ou l'atrésie (d'après PETERS *et al.*, 1995).**

La folliculogenèse est un phénomène continu, succession des différentes étapes du développement du follicule, structure endocrine temporaire, depuis le moment où il sort de la réserve constituée lors du développement embryonnaire, jusqu'à sa rupture au moment de l'ovulation.

A partir de la puberté, chaque jour, environ 80 follicules primordiaux (diamètre 30  $\mu\text{m}$ ) débutent leur croissance par multiplication des cellules folliculaires et développement de l'ovocyte [FIENI *et al.*, 1995 ; MIALOT *et al.*, 2001]. Cette croissance aboutit

successivement aux stades de follicule primaire, secondaire puis tertiaire, à partir duquel commence la différenciation de l'antrum. Au cours de cette croissance, les follicules acquièrent également des récepteurs les rendant potentiellement capables de répondre à une stimulation gonadotrope : récepteurs à LH (Luteinizing Hormone) pour les cellules de la thèque interne et récepteurs à FSH (Follicle Stimulating Hormone) pour les cellules de la granulosa [ENNUYER, 2000 ; FIENI *et al.*, 1995].



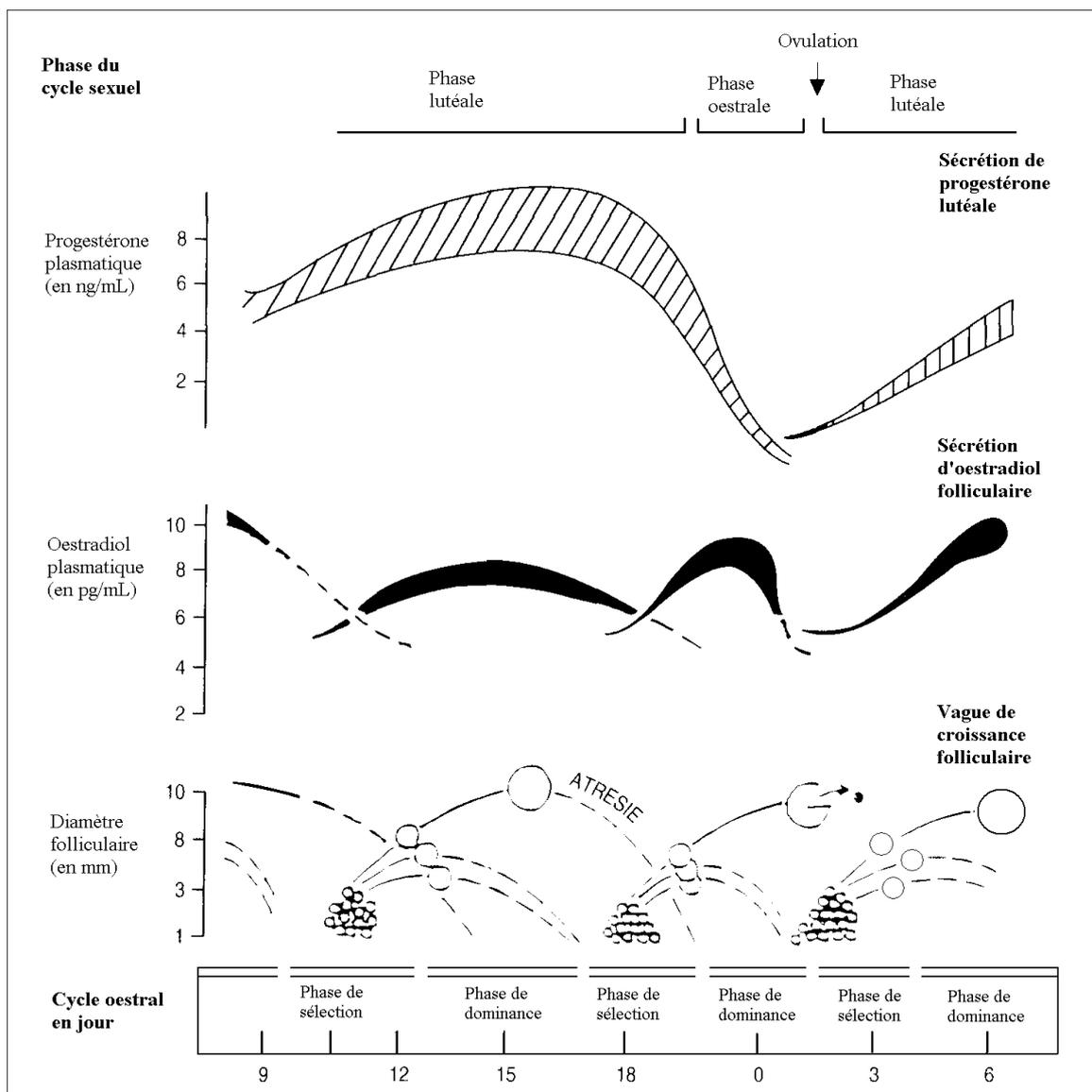
**Figure 2 : Chronologie du développement folliculaire (d'après FIENI *et al.*, 1995).**

La maturation qui s'ensuit, et qui ne concerne que quelques centaines de follicules pour toute la période de la vie génitale, est communément décrite par les concepts de recrutement, sélection et dominance. Elle est sous l'influence des gonadotrophines puis de l'émergence d'un ou de plusieurs follicules ovulatoires.

Le recrutement est l'entrée en croissance terminale d'un groupe de follicules gonadodépendants. La sélection est l'émergence parmi les follicules recrutés du follicule ovulatoire. La taille folliculaire au moment de la sélection correspond globalement à la taille où apparaissent les récepteurs à LH sur la granulosa (massif de cellules folliculaires). Enfin, la dominance correspond à l'amorce de la régression des autres follicules recrutés et au blocage du recrutement d'autres follicules.

Avant la phase de recrutement, le développement folliculaire est très lent puisque le stade précavitaire n'est atteint qu'après 200 jours [ENNUYER, 2000 ; FIENI *et al.*, 1995]. Au cours de cette période, l'ovocyte passe de 20 à 120  $\mu\text{m}$  et s'entoure de la membrane pellucide. Les follicules dont la taille est supérieure à 5 mm sont recrutables, c'est-à-dire qu'ils sont sensibles aux gonadotrophines.

Après recrutement, la croissance folliculaire est extrêmement rapide (environ 1,5 mm/jour), essentiellement par gonflement de l'antrum.



**Figure 3 : Vagues de croissance folliculaire et variations hormonales au cours du cycle oestral de la vache (d'après FIENI *et al.*, 1995).**

Le moment de la sélection est difficile à déterminer chez la vache en raison de l'existence de vagues folliculaires qui entraînent la juxtaposition de phénomènes de régression et de recrutement. Chaque vague de croissance dure chez la vache une dizaine de jours (2 vagues par cycles) ou environ 6 jours (3 vagues par cycle).

Plus précisément, les vagues débutent à J<sub>2</sub>, J<sub>8</sub> et J<sub>14</sub> pour des cycles à 3 vagues (J<sub>0</sub> correspondant à l'ovulation) : c'est le cas le plus fréquent chez les génisses.

Elles apparaissent à J<sub>2</sub> et J<sub>11</sub> pour des cycles à 2 vagues, essentiellement chez les vaches adultes [ENNUYER, 2000].

En pratique courante, il est donc impossible, étant donné l'existence de 2 types possibles de cycle, de savoir *a priori* à quel stade de la vague se trouve la femelle, même en connaissant la date des chaleurs précédentes. Cette précision pourrait pourtant permettre de mieux adapter certains protocoles thérapeutiques ; il serait notamment intéressant de déterminer la part de la

génétique dans le nombre de vagues par cycle d'un animal [CHASTANT-MAILLARD *et al.*, 2005].

Pour chacune de ces vagues, qui surviennent au hasard entre les deux ovaires, un follicule grossit beaucoup plus que les autres. C'est ce follicule dominant qui sera susceptible d'ovuler si sa phase de maturité correspond à la lyse du corps jaune du cycle précédent. Ce follicule ovulatoire se caractérise par une taille maximum de 16 à 20 mm (des follicules de 8 à 10 mm peuvent toutefois ovuler), un nombre de cellules de la granulosa maximum ainsi qu'une atresie systématique des follicules de taille immédiatement inférieure.

La croissance terminale du follicule préovulatoire, qui se déroule pendant la phase folliculaire, est explosive, de l'ordre de 5 à 6 mm par jour [FIENI *et al.*, 1995].

Ce follicule ovulera si le corps jaune du cycle précédent a régressé. En général, un seul follicule ovule par cycle ; la fréquence des ovulations multiples est de 3 à 6 % chez la vache.

### 3) *Phase lutéale*

Immédiatement après l'ovulation débute la phase lutéale, tout follicule rompu étant le siège de remaniements cytologiques et biochimiques qui conduisent à la formation du corps jaune. Cet organite contient des grandes cellules issues de la granulosa et des petites provenant de la thèque interne. En fin de croissance, il atteint un diamètre minimal de 20 mm [MIALOT *et al.*, 2001]. Il sécrète essentiellement de la progestérone, mais aussi des oestrogènes, de la relaxine et de l'ocytocine.

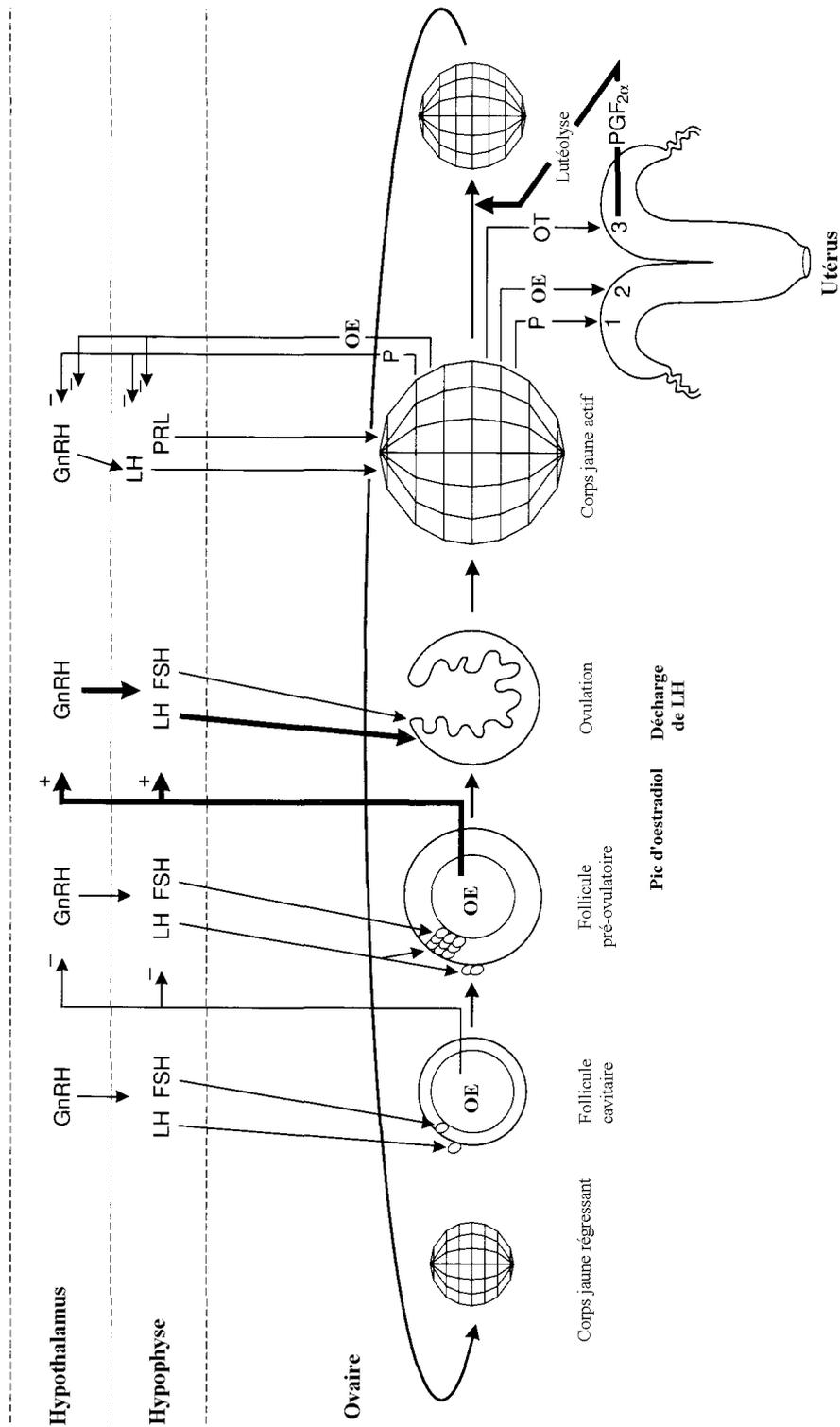
L'évolution du corps jaune chez la vache se réalise en trois temps : une période de croissance de 4 à 5 jours, au cours de laquelle il est insensible aux prostaglandines ; un temps de maintien d'activité pendant 8 à 10 jours ; enfin, s'il n'y a pas eu de fécondation, une période de lutéolyse, observable macroscopiquement à partir du 17<sup>ème</sup>-18<sup>ème</sup> jour du cycle, aboutissant à la formation d'un reliquat ovarien, le corps blanc [FIENI *et al.*, 1995].

## ***B. Régulation hormonale du cycle sexuel chez la vache***

### *1) Aperçu du contrôle hormonal du cycle*

La physiologie du cycle sexuel est complexe et fait intervenir le système nerveux central (axe hypothalamo-hypophysaire) et l'appareil génital (ovaires et utérus).

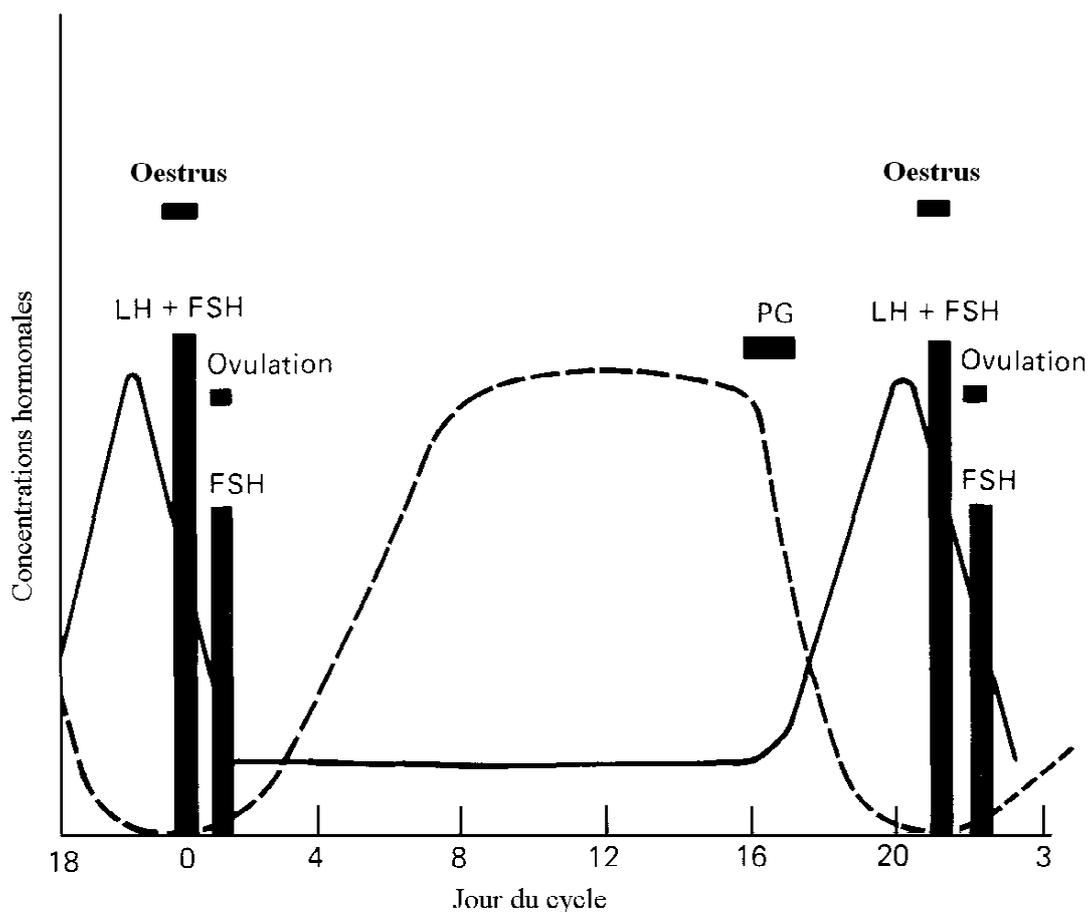
Les interactions entre ces organes au cours d'un cycle sont représentées sur la figure 4.



**Interrelations entre hypothalamus, hypophyse, ovaire et utérus au cours du cycle oestral.**

Légende : Progesterone (P), Oestradiol (OE), Oxytocine (OT), Prolactine (PRL).

**Figure 4 : Interactions entre hypothalamus, hypophyse, ovaire et utérus au cours du cycle oestral (d'après MEREDITH, 1995).**



**Figure 5 : Profils schématiques des concentrations hormonales plasmatiques au cours du cycle oestral : - - -, progestérone ; —, œstradiol ; PG, prostaglandines (d'après PETERS *et al.*, 1995).**

Quand le corps jaune régresse à la fin du cycle (du 15<sup>ème</sup> au 19<sup>ème</sup> jour du cycle), le rétrocontrôle négatif exercé par la progestérone, sécrétée au cours de la phase lutéale par le corps jaune, sur l'axe hypothalamo-hypophysaire est levé progressivement.

Les gonadotrophines hypophysaires, FSH et LH, stimulent la croissance du follicule dominant, jusqu'au stade pré-ovulatoire, et son activité sécrétoire, libérant des quantités croissantes d'œstradiol. En 2 à 3 jours, la forte augmentation d'œstradiol plasmatique (à l'origine du comportement de chaleurs) entraîne une décharge importante de FSH et de LH, provoquant l'ovulation.

Le corps jaune néoformé se développe sous l'influence trophique de la LH et de la prolactine, d'origine hypophysaire. Il sécrète à la fois de la progestérone et de l'œstradiol, à l'origine d'un rétrocontrôle négatif marqué sur l'axe hypothalamo-hypophysaire, ce qui inhibe une éventuelle sécrétion pré-ovulatoire de gonadotrophines tout en permettant l'émergence d'une nouvelle vague folliculaire.

La progestérone provoque le stockage de précurseurs d'acides gras dans l'endomètre. Après le 10<sup>ème</sup> jour du cycle, à partir de ces précurseurs, l'œstradiol induit la synthèse de prostaglandines utérines PGF2 $\alpha$ , qui seront ensuite libérées par l'action de l'ocytocine lutéale sur ses récepteurs utérins. Leur effet lutéolytique aura pour conséquence d'un point de vue hormonal la diminution progressive de la progestéronémie [MEREDITH, 1995].

## 2) Régulation de la sécrétion de la GnRH

L'initiateur et le régulateur fondamental de la fonction reproductrice est la GnRH (Gonadotrophin Releasing Hormone ou gonadolibérine). Cette hormone est synthétisée et libérée par les neurones de l'hypothalamus, et se lie aux récepteurs spécifiques situés sur les cellules gonadotropes de l'antéhypophyse, ce qui provoque la synthèse et la libération des gonadotrophines, FSH et LH.

La FSH, à son tour, agit spécifiquement sur les petits follicules ovariens pour stimuler leur croissance, tandis que la LH agit en plus sur le follicule dominant mûr pour provoquer la maturation finale et l'ovulation.

La GnRH est sécrétée par l'hypothalamus de façon pulsatile, ces décharges pulsatiles étant responsables de la pulsatilité des sécrétions des gonadotrophines [FIENI *et al.*, 1995]. La régulation de la sécrétion de GnRH fait à la fois intervenir des facteurs internes et externes :

- facteurs internes :

Ce sont principalement les hormones stéroïdes ovariennes, la progestérone et l'œstradiol. La progestérone agit sur les neurones de la GnRH en abaissant la fréquence des décharges de GnRH. Lors de la phase lutéinique, où les concentrations de progestérone sont élevées, l'œstradiol agit en synergie avec la progestérone pour diminuer la sécrétion de GnRH par l'hypothalamus. Au contraire, pendant la phase folliculaire, l'œstradiol sécrété par le follicule pré-ovulatoire exerce une rétroaction positive sur la GnRH, ce qui provoque la prolongation d'une sécrétion élevée responsable des pics pré-ovulatoires de LH et de FSH.

- facteurs externes :

Ce sont essentiellement le statut nutritionnel de l'animal, le stimulus d'allaitement chez la vache allaitante, les phéromones du mâle ainsi que la photopériode (corrélation positive démontrée chez la vache entre fertilité et longueur du jour).

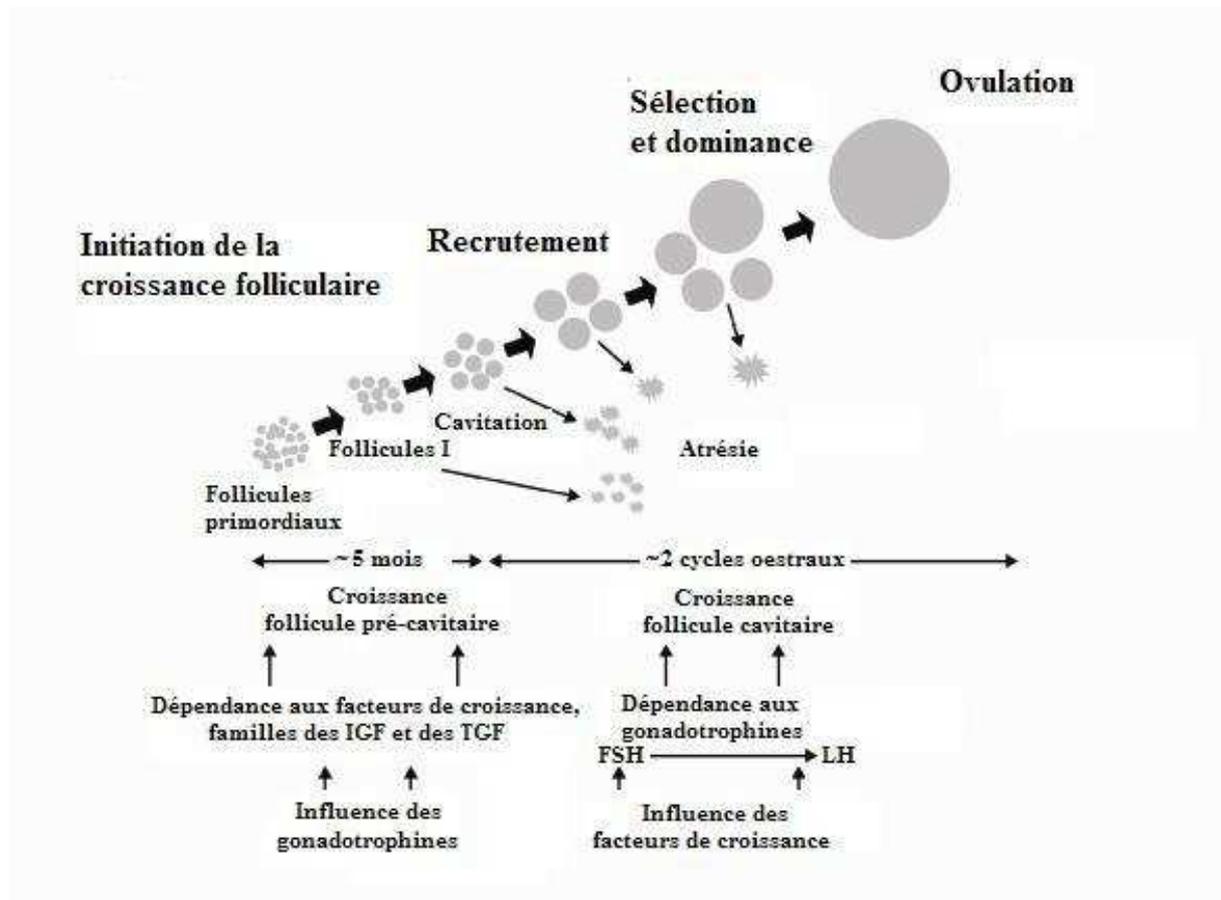
Le stimulus nerveux de la tétée, voire de la traite, entraîne en début de *postpartum* une inhibition de la sécrétion de GnRH, le mécanisme faisant éventuellement intervenir la libération de substances opiacées au niveau du système nerveux central. Ceci expliquerait en partie l'état d'anoestrus *postpartum* chez les vaches allaitantes [FIENI *et al.*, 1995 ; MIALOT *et al.*, 2001].

## 3) Régulation de la croissance folliculaire

Les stades initiaux de la folliculogénèse se produisent indépendamment des gonadotrophines [WEBB *et al.*, 2003].

En revanche, la FSH et la LH deviennent indispensables au développement des follicules dès le début de la maturation, grâce à une action synergique séquentielle mais aussi parfois simultanée. Ces hormones sont animées d'une sécrétion de base « tonique » à caractère pulsatile de faible fréquence mais aussi à intervalles réguliers, puis, 24 heures avant

l'ovulation, d'une décharge importante de courte durée, décharge « cyclique » ou ovulatoire, également pulsatile mais de haute fréquence.



**Figure 6 : Rôles relatifs des gonadotrophines et des facteurs de croissance au cours du développement folliculaire (d'après WEBB, 1999).**

a) Croissance folliculaire pré-antrale

Ce phénomène continu démarre lors de l'entrée en croissance des follicules primordiaux, à partir de la sortie du stock, jusqu'à la taille de 5 mm. Les gonadotrophines ne sont probablement pas indispensables dans l'initiation de la croissance folliculaire [MCNATHY *et al.*, 1999], bien que les ARNm des récepteurs à FSH et à LH semblent apparaître précocement [BAO *et al.*, 1998].

La régulation de cette première phase, dite non-gonadodépendante, semble être largement assurée par des facteurs locaux, à l'origine d'interactions entre les cellules de la granulosa et l'ovocyte : activines et inhibines, protéines BMP (Bone Morphogenetic Proteins), facteurs de croissance, en particulier IGF (Insulin-like Growth Factors), bFGF (basic Fibroblast Growth Factor), EGF (Epidermal Growth Factor) et TGF  $\beta$  (Transforming Growth Factors  $\beta$ ), ... [MCNATTY *et al.*, 1999 ; WEBB *et al.*, 2004].

## b) Recrutement

La formation de l'antrum coïncide avec l'acquisition d'une dépendance du développement folliculaire vis-à-vis des gonadotrophines. Au cours de la maturation folliculaire, les cellules de la granulosa acquièrent des récepteurs spécifiques à la FSH. La sécrétion de la FSH va provoquer à leur niveau deux effets biologiques : d'une part, grâce à l'action conjointe de l'IGF-I, la stimulation de l'aromatation des androgènes, fournis par les cellules de la thèque, en oestrogènes ; d'autre part, l'apparition de récepteurs à LH sur les membranes cellulaires, toujours en relation avec l'IGF-I.

Les oestrogènes synthétisés grâce à l'action synergique de la FSH et de la LH stimulent la multiplication des cellules de la granulosa, induisant la croissance du follicule et le développement de la cavité antrale remplie de liquide folliculaire [ENNUYER, 2000 ; FIENI *et al.*, 1995]. L'IGF-II, produit par les cellules thécales, serait le principal facteur ovarien de croissance folliculaire impliqué dans la régulation de la croissance des follicules cavitaires chez la vache [WEBB *et al.*, 1999].

## c) Sélection

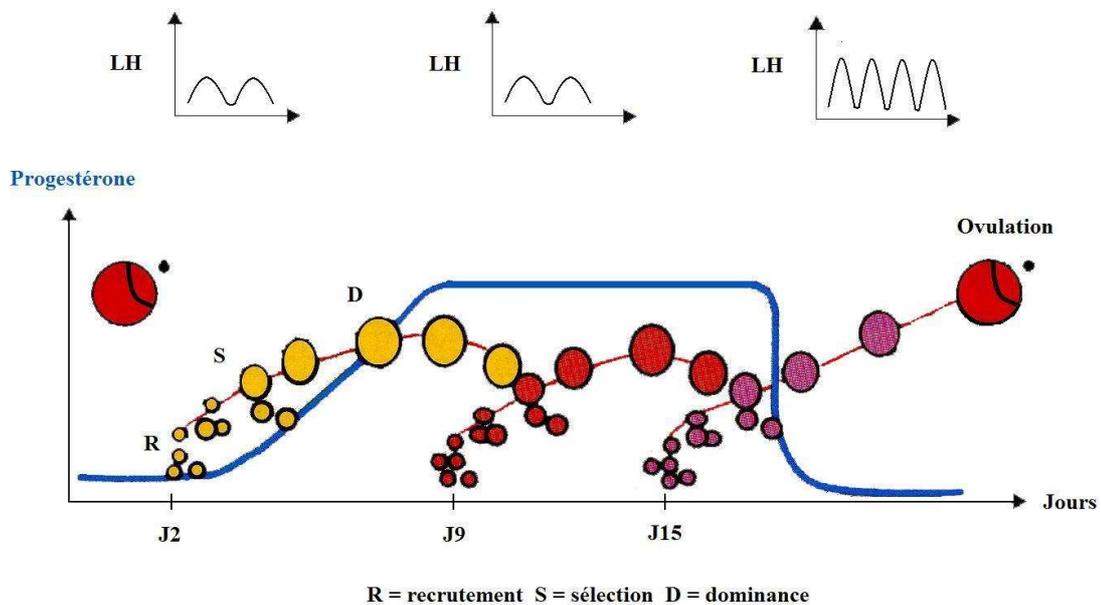
Lors de la sélection, l'augmentation de la fréquence des pulses de LH stimule la production d'œstradiol et d'inhibine par la granulosa des gros follicules. Oestradiol et inhibine agissent conjointement en réduisant progressivement la sécrétion de la FSH, réduction responsable de la sélection [WEBB *et al.*, 1999]. En effet, la prévention de la chute de FSH par injection de cette hormone à petite dose conduit à une polyovulation [ENNUYER, 2000 ; FIENI *et al.*, 1995].

Lorsqu'un follicule dominant a acquis suffisamment de récepteurs à LH pour lui permettre de subsister quand le taux de FSH diminue, il sécrète de grandes quantités d'œstrogènes et continue à croître en raison de l'augmentation de sa propre sensibilité à la FSH et à la LH, et par production de facteurs locaux, notamment des IGF. L'action de l'IGF-I semble régulée par la concentration en ses protéines-ligands, les IGFBP (Insulin-like Growth Factor Binding Proteins) : une diminution de la concentration en IGFBP, entraînant une plus grande biodisponibilité de l'IGF-I, serait déterminante dans le mécanisme d'acquisition de la dominance [AUSTIN *et al.*, 2001 ; MONGET *et al.*, 2002]. La sécrétion réduite de FSH ne permet plus en revanche la croissance des follicules non sélectionnés [ENNUYER, 2000].

## d) Dominance

La LH induit la synthèse de progestérone par les cellules de la granulosa. La progestérone a un effet inhibiteur sur la production de 17- $\beta$ -œstradiol : ainsi, sa sécrétion par le follicule dominant maintient les autres follicules dans un état d'immaturité en inhibant l'aromatation à leur niveau. Les follicules dominants ne seraient pas affectés en raison de concentrations importantes d'œstradiol présentes dans leur liquide folliculaire, tandis que les follicules atrophiques se caractérisent par leur richesse en androgènes.

L'inhibine folliculaire, outre son action inhibitrice sélective sur la FSH, empêcherait également l'aromatation [FIENI *et al.*, 1995].



**Figure 7 : Croissances folliculaires au cours d'un cycle oestral chez la vache (d'après ENNUYER, 2000).**

La LH assure la maturation du follicule dominant, dont l'avenir dépend de la fréquence des décharges de LH, régulées par la GnRH.

Lorsqu'un corps jaune est présent, la fréquence d'une décharge de LH toutes les 3 ou 4 heures aboutit à la perte de dominance et à l'atrésie du follicule, donc à l'absence d'ovulation et d'œstrus. Une nouvelle vague folliculaire émerge alors, également précédée d'une augmentation transitoire de FSH, celle-ci commençant environ 60 heures avant le recrutement et se terminant lorsque celui-ci débute [HAMILTON, 1995].

Lorsque la fréquence est d'un pic par heure, l'ovulation peut avoir lieu. Celle-ci est possible lors de la levée de l'inhibition de la progestérone sur la production de GnRH, à la suite de la lyse du corps jaune du cycle précédent [ENNUYER, 2000].

**La croissance folliculaire chez la vache se déroule en 2 étapes : à une phase de croissance indépendante de l'action des gonadotrophines, succède une phase gonadodépendante, pendant laquelle la croissance folliculaire est soumise à l'influence des gonadotrophines, FSH et LH. Le développement des follicules passe alors d'une croissance de type continu à une croissance de type cyclique, sous forme de vagues folliculaires.**

## II. PHYSIOLOGIE REPRODUCTRICE POSTPARTUM DE LA VACHE LAITIÈRE

Chez la vache laitière, comme chez la vache allaitante, une période d'inactivité ovarienne suit le vêlage. L'intervalle vêlage-première ovulation, malgré une variabilité élevée, est court chez les femelles laitières, compris entre 15 et 30 jours [ROYAL *et al.*, 2000]. 85 à 90% des vaches ont ovulé dans les cinquante jours qui suivent la mise bas [GRIMARD *et al.*, 2005].

Les mécanismes qui conduisent au rétablissement de l'activité sexuelle chez la vache sont aujourd'hui relativement bien connus.

### A. *Péri-partum et postpartum immédiat*

Avant le vêlage, les taux élevés des oestrogènes fœtaux et de la progestérone maternelle et fœtale inhibent la sécrétion de LH et de FSH par l'axe hypothalamo-hypophysaire, réduisant l'activité ovarienne [WEAVER, 1987].

Après le part, le volume de l'utérus diminue rapidement. La sécrétion utérine de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , qui augmente deux jours avant le vêlage et atteint un pic au deuxième ou troisième jour *postpartum*, ainsi que la sécrétion neurohypophysaire d'ocytocine induisent l'involution utérine, qui sera complète au bout de 35 à 40 jours chez la vache [HAFEZ, 1993], plus rapidement chez les primipares que chez les multipares [PETERS *et al.*, 1995].

La dystocie, la rétention placentaire ainsi que les infections utérines, souvent liées aux deux premières, provoquent un retard dans l'involution utérine et, en conséquence, augmente le taux d'échec à l'insémination et décale la mise à la reproduction [PETERS *et al.*, 1995].

### B. *Reprise d'activité sexuelle après le vêlage*

#### 1) *Rétablissement de l'activité des gonadotrophines postpartum*

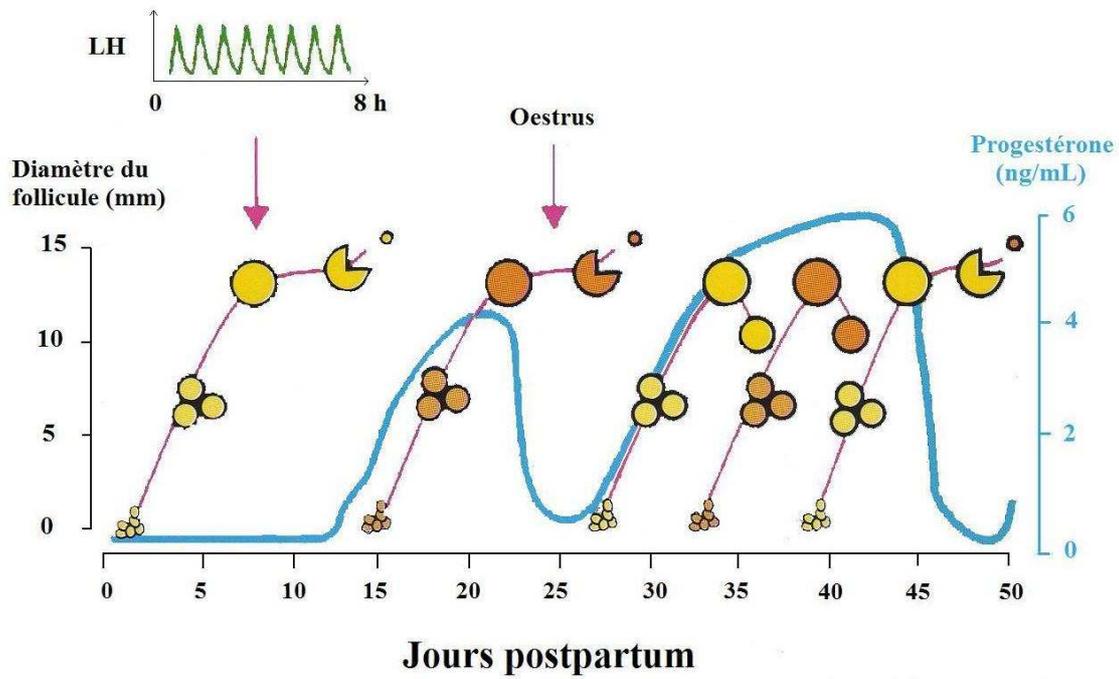
La diminution des concentrations en oestrogènes et en progestérone lève l'inhibition exercée sur la sécrétion de FSH. Selon BEAM *et al.* (1997), après une augmentation de la concentration plasmatique en FSH au cours des 5 premiers jours, toutes les vaches présentent un développement d'une vague folliculaire au cours de la 2<sup>ème</sup> semaine *postpartum* et ceci indépendamment de leur alimentation et de leur balance énergétique.

La reprise précoce de la sécrétion de LH après le vêlage est davantage sensible au contrôle de la GnRH. La faible fréquence des décharges de LH après le vêlage provoque une faible production d'androgènes dans les cellules thécales du follicule. Ce défaut d'androgènes, qui sont les précurseurs de la synthèse d'œstradiol dans les cellules de la granulosa du follicule, induit une faible production d'œstradiol par le follicule, et donc l'atrésie.

Par conséquent, le facteur crucial déterminant le moment où se produit la première ovulation est l'obtention d'une fréquence des décharges de LH similaire à la phase folliculaire du cycle (une décharge de LH par heure). En l'absence de progestérone, qui est le principal agent inhibiteur de la fréquence des décharges de LH durant la phase lutéinique, la fréquence

des décharges de LH chez la vache en *postpartum* est régulée par son alimentation, son état corporel et l'allaitement.

## 2) Reprise du développement folliculaire *postpartum*



**Figure 8 : Reprise du développement folliculaire chez la vache laitière *postpartum*** (adapté d'après ENNUYER, 2000). Dans 75 % des cas, l'ovulation du premier follicule dominant *postpartum* a lieu.

L'augmentation précoce de la FSH a pour conséquence l'apparition d'une cohorte de follicules moyens, aboutissant à la formation du premier follicule dominant entre le 5<sup>ème</sup> et le 39<sup>ème</sup> jour *postpartum* [SAVIO *et al.*, 1990]. Son sort est déterminé par la fréquence des décharges de LH : si elle est élevée, l'ovulation a lieu (75 % des cas). Dans 20 % des cas, il devient kystique. Il subit l'atrésie dans les 5 % restants, un second follicule dominant se développant alors [MIALOT *et al.*, 2001].

A l'automne, l'intervalle entre le vêlage et l'apparition du premier follicule dominant est court (7 jours en moyenne) ; en revanche, cet intervalle semble plus long au printemps (20 jours).

A la fin de la maturation folliculaire, lorsque la concentration en oestrogènes est suffisante, celle-ci induit le pic pré-ovulatoire de LH à l'origine de la première ovulation *postpartum* vers 14-25 jours en moyenne, première ovulation généralement en l'absence de manifestations visible de chaleurs (2 fois sur 3) [ENNUYER, 2000 ; MIALOT *et al.*, 2001].

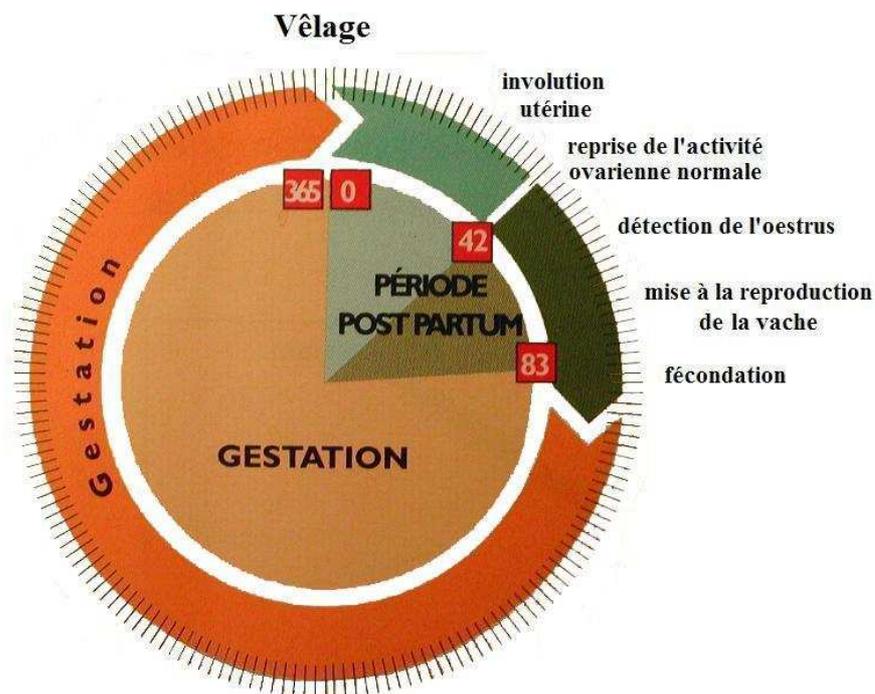
Cette première ovulation est le plus souvent suivie d'une phase lutéale courte (4 à 13 jours), caractérisée par des niveaux de progestérone inférieurs à ceux des cycles physiologiques, en raison d'une lutéolyse due à la sécrétion précoce de PGF2 $\alpha$  utérine [TERQUI *et al.*, 1982 ; PETERS *et al.*, 1995]. Le retour à une cyclicité normale semble nécessiter une imprégnation lutéale préalable de quelques jours, ce qui est confirmé lors de l'utilisation de dispositifs intravaginaux à base de progestérone.

Le retour à une activité ovarienne normale et cyclique, vers 25-35 jours *postpartum*, indique la restauration des interactions entre hypothalamus, hypophyse, ovaires et utérus, nécessaires au démarrage d'un nouveau cycle de reproduction.

**L'augmentation de la fréquence des décharges de LH constitue l'événement majeur et limitant à l'origine de la reprise de l'activité ovarienne *postpartum*.**

### III. FERTILITE ET OBJECTIFS DE REPRODUCTION EN ELEVAGE BOVIN LAITIER

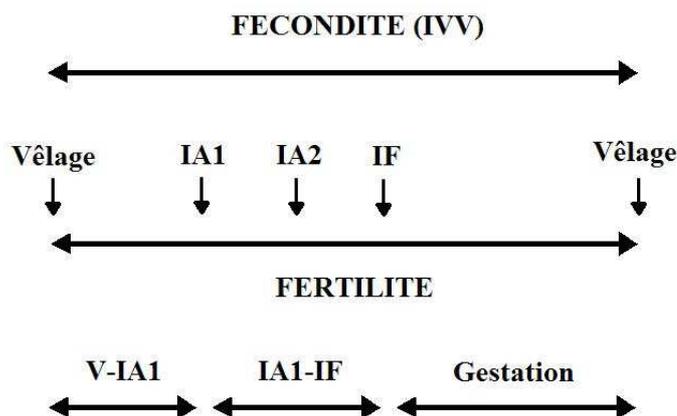
#### A. Notion de fertilité : application en élevage bovin laitier



**Figure 9 : Cycle reproducteur annuel théorique chez la vache laitière.**

La fertilité peut se définir comme la capacité de se reproduire, ce qui correspond chez la femelle à la capacité de produire des ovocytes fécondables.

La fécondité, elle, caractérise l'aptitude d'une femelle à mener à terme une gestation, dans des délais requis. La fécondité comprend donc la fertilité, le développement embryonnaire et fœtal, la mise bas et la survie du nouveau-né. Il s'agit d'une notion économique, ajoutant à la fertilité un paramètre de durée.



Abréviations : IVV : intervalle vêlage-vêlage ; IA1,2 : première ou deuxième insémination ;  
 IF : insémination fécondante ; V-IA1 : intervalle vêlage-première insémination ;  
 IA1-IF : intervalle première insémination-insémination fécondante .

**Figure 10 : Notions de fertilité et de fécondité appliquées en élevage bovin laitier (d'après TILLARD *et al.*, 1999).**

Quelques paramètres de fécondité :	
Intervalle $V_n - V_{n+1}$	= nombre de jours entre le vêlage $n$ et la date estimée du vêlage $n+1$
Intervalle $V_n - IF_{n+1}$	= nombre de jours entre $V_n$ et l'insémination fécondante suivante
Nb d'intervalle $V_n - IA1_{n+1} > 60$ jours	
Proportion des intervalles $V_n - IA1_{n+1} > 60$ jours	= $\frac{\text{Nb d'intervalle } V_n - IA1_{n+1} > 60 \text{ jours}}{\text{Nb d'intervalles } V_n - IA1_n \text{ étudiés}}$
Nb d'intervalle $V_n - IF_{n+1} > 60$ jours	
Proportion des intervalles $V_n - IF_{n+1} > 60$ jours	= $\frac{\text{Nb d'intervalle } V_n - IF_{n+1} > 60 \text{ jours}}{\text{Nb d'intervalles } V_n - IF_{n+1} \text{ étudiés}}$
Quelques paramètres de fertilité :	
Taux de mise bas	= $\frac{\text{Nb de mise bas à terme suite à IA1}}{\text{Nb d'IA1}} \times 100$
Taux de non-retour	= $\frac{\text{Nb d'IA1 sur mois } n \text{ sans retour jusqu'à la fin du mois } n+2}{\text{Nb d'IA1 sur mois } n} \times 100$
Taux de réussite (TRIA1)	= $\frac{\text{Nb d'IA1 suivies de gestation à 90 jours}}{\text{Nb d'IA1}} \times 100$ ou $\frac{\text{nb d'IA1 suivies de fécondation}}{\text{Nb d'IA1}}$
IA / IF	= $\frac{\text{Nb d'IA pour toutes les vaches pour obtenir une IF}}{\text{Somme des IF}} \times 100$
Proportion des vaches > 2 IA	= $\frac{\text{Nb de vaches } > 2 \text{ IA (fécondantes ou non)}}{\text{Nb d'IA1}} \times 100$

**Tableau 1 : Définition des variables intéressant la fécondité et la fertilité des vaches laitières (d'après TILLARD *et al.*, 1999).**

Les paramètres de fertilité les plus couramment utilisés sont : le taux de réussite en première insémination artificielle (TRIA1), le nombre d'inséminations par insémination fécondante (IA/IF) et le pourcentage de vaches inséminées plus de 2 fois.

Pour les paramètres de fécondité, on retiendra essentiellement l'intervalle vêlage-vêlage (IV-V), l'intervalle vêlage-première insémination (IV-IA1) et l'intervalle vêlage-insémination fécondante (IV-IF).

Il convient de noter que cette distinction entre fécondité et fertilité, retrouvée dans la littérature vétérinaire francophone, est absente dans la littérature anglo-saxonne, les deux termes se traduisant par « fertility ».

## ***B. Objectifs standards pour la reproduction des vaches laitières***

Chacun des paramètres de reproduction se voit attribuer un objectif en vue de l'optimisation de la productivité du troupeau. Les objectifs pour la reproduction peuvent varier en fonction de l'élevage et de la productivité (production laitière notamment) :

<b>FERTILITE</b>	<b>OBJECTIFS</b>
IA nécessaires à la fécondation (IA /IF)	< 1,6
% vaches inséminées 3 fois ou plus	< 15 %
TRIA1	> 60 %
<b>FECONDITE</b>	
IV-IA1	70 jours
% vaches à IV-IA1 > 80 jours	< 15 %
IV-IF	90 jours
% vaches à IV-IF > 110 jours	< 15 %
IV-V	365 jours

**Tableau 2 : Objectifs standards pour la reproduction des vaches laitières (d'après VALLET *et al.*, 1984).**

### *1) Intervalle vêlage – insémination fécondante (IV-IF)*

Cet intervalle est très étroitement corrélé à l'intervalle vêlage - vêlage. Il résulte de la somme de 2 périodes pouvant révéler des problèmes fondamentalement différents : l'intervalle vêlage - première insémination (IV-IA1) et l'intervalle première insémination – insémination fécondante (IA1-IF).

L' IV-IA1 optimal varie de 65 à 80 jours et dépend de 3 paramètres principaux :

- La reprise de la cyclicité *postpartum* : 85 à 95 % des vaches étant cyclées à 60 jours *postpartum* [DISENHAUS, 2004 ; ROYAL *et al.*, 2000], la mise à la reproduction des vaches sera préférable à partir de ce délai (TRIA1 optimal entre le 60<sup>ème</sup> et le 90<sup>ème</sup> jour *postpartum*),

- La manifestation des chaleurs : très variable, un tiers des vaches ont des chaleurs de moins de 12 heures, et la plupart ont des chaleurs essentiellement voire seulement nocturnes,
- La détection de l'œstrus : c'est un facteur-clé dans la réussite en matière de reproduction en élevage bovin laitier. Idéalement, trois observations quotidiennes sont nécessaires, d'une demi-heure si besoin, en dehors de toute activité (alimentation, traite), ceci afin de pouvoir détecter 80 % des chaleurs.

Concernant l'IA1-IF, les vaches non fécondées en première insémination reviendront en chaleurs de façon régulière ou irrégulière. La majorité d'entre elles doit avoir un retour en chaleurs régulier (compris entre 18 et 24 jours) ; les retours entre 36 et 48 jours sont également réguliers, mais signent un défaut de détection ou un repeat-breeding (une vache ou une génisse est dite « repeat-breeder » lorsqu'elle est non gestante après deux, voire trois inséminations artificielles ou naturelles, malgré la présence d'une activité cyclique régulière et l'absence de toute cause majeure cliniquement décelable).

Les autres retours sont irréguliers et sont le témoin d'autres troubles, notamment les mortalités embryonnaires tardives.

## 2) *Taux de réussite en première insémination (TRIA1)*

En France, il est mesuré a posteriori par le pourcentage de non-retour en chaleurs à 60 et 90 jours. Chez les anglo-saxons, il est évalué par le pourcentage de vaches allant à terme, plus « pessimiste ».

Un TRIA1 moyen de 55 à 60 % pour un IV-IF de 80 jours peut être considéré comme satisfaisant.

**Le *postpartum* apparaît comme une période critique dans la vie de production et de reproduction de la vache laitière haute productrice, au cours de laquelle la vache doit à la fois répondre à des contraintes métaboliques engendrées par une production lactée à forte croissance, mais aussi redevenir rapidement fertile par la restauration d'un équilibre hormonal entre hypothalamus, hypophyse, ovaires et utérus, indispensable à une nouvelle mise à la reproduction.**



## **DEUXIEME PARTIE :**

### **ETAT CORPOREL : NOTATION, PROFIL POSTPARTUM, MAITRISE DE L'ALIMENTATION POSTPARTUM**



## I. NOTATION DE L'ETAT CORPOREL

L'appréciation du statut nutritionnel de la vache laitière nécessite de connaître :

- la valeur de la ration, estimée à partir de tables ou par analyse chimique ;
- les quantités d'aliments, fourrages et concentrés, distribués ;
- les quantités d'aliments effectivement ingérées par l'animal, variables notamment suivant son stade physiologique et sa place dans la hiérarchie du troupeau ;
- la digestibilité de la ration, fonction de son état de conservation, de sa fibrosité et des éventuels traitements nécessaires à sa fabrication.

La notation de l'état corporel permet d'apprécier indirectement le statut énergétique d'un animal, par l'évaluation de son état d'engraissement superficiel. Cette méthode couramment employée à l'avantage d'être peu coûteuse en investissement et en temps. Sa fiabilité reste supérieure à celle de la pesée de l'animal, sujette à des variations suivant le poids des réservoirs digestifs et de l'utérus, mais aussi la production laitière [FERGUSON, 2002].

Ainsi, la notation de l'état corporel apparaît comme un moyen intéressant pour l'estimation de la quantité d'énergie métabolisable, stockée dans la graisse et les muscles, et de la mobilisation des réserves tissulaires [EDMONSON *et al.*, 1989]. Elle est de plus en plus utilisée dans les exploitations bovines pour contrôler l'adéquation entre les apports et les besoins nutritionnels.

### A. Principes et échelles de notation

La note d'état corporel est attribuée à l'animal sur la base de l'apparence des tissus recouvrant des proéminences osseuses des régions lombaire et caudale. Plus précisément, les zones anatomiques évaluées comprennent les processus transverses et épineux des vertèbres lombaires, les tubérosités iliaques (pointe de la hanche) et ischiatiques (pointe de la fesse), le détroit caudal, la base de la queue et la ligne du dos. La couverture tissulaire peut être estimée par la palpation et/ou l'inspection visuelle [FERGUSON *et al.*, 1994].

Selon une grille de notation établie par l'Institut Technique de l'Elevage Bovin [BAZIN, 1984], chaque critère anatomique se voit attribuer par un observateur une note de 0 à 5, la note globale correspondant à la moyenne de 6 notes (avec une précision de 0,5 point), de 0 pour vache cachectique à 5 pour vache très grasse.

NOTE	NOTE ARRIERE				NOTE DE FLANC	
	Pointe des fesses	Ligament sacro-tubéral	Détroit caudal	Epine dorsale	Pointe de la hanche	Apophyses vertébrales
5	Invisible	Invisible	Comblé	Invisible (dos plat)		
4	Peu visible	Peu visible	Presque comblé	A peine visible		Epineuses repérables
3	Couverte	Bien visible	Limites planes	Visible, couverte		Epineuses visibles
2	Non couverte	Légèrement couvert	Légèrement creusé	Ligne marquée	Crête invisible	Transverses à angle vif
1		En lame	Profond	Ligne irrégulière	Crête visible	Transverses séparées
0		Très saillant	Très creusé	Corps vertébral apparent		

**Tableau 3 : Principaux critères d'appréciation de l'état corporel des vaches laitières Prim'Holstein (d'après BAZIN, 1984).**

D'autres échelles de score existent : ainsi, outre-atlantique, le système de notation le plus communément utilisé s'étale de 1 à 5 points : 1 pour vache cachectique, 2 pour maigre, 3 pour moyenne, 4 pour grasse et 5 pour très grasse, avec une précision de 0,25 unité.

Des formules permettant la conversion d'une échelle à l'autre ont été établies [FERGUSON *et al.*, 1994].

	SCORE	Processus épineux 1	Région entre les 2 types de processus 2	Processus transverses 3	Creux du flanc 4	Pointes des hanches et des fesses 5	Entre les 2 tubérosités 6	Entre les pointes des hanches 7	Entre la base de la queue et les fesses 8
Défaut de condition sévère	1,00	processus distincts (en dents de scie) 			profond 	très saillantes 	dépression sévère 	dépression sévère 	profonde cavité en "V" sous la queue 
	1,25 1,50 1,75		dépression évidente 	très proéminents, >1/2 longueur visible 	marqué 	proéminentes 	dépression sévère 	dépression sévère 	cavité en "U" sous la queue 
Ossature bien visible	2,00 2,25	processus bien individualisés 		entre 1/3 et 1/2 de la longueur visible 			dépression marquée 	dépression marquée 	
	2,50 2,75 3,00 3,25	ligne du dos acérée, proéminente 	légèrement concave 	1/3 à 1/4 de la longueur visible 		mince couverture adipeuse 	dépression modérée 	dépression modérée 	discrète cavité sous la queue 
Ossature et dépôts équilibrés	3,50 3,75	ligne aplanie, processus épineux peu évidents 	en pente douce 	Processus non individualisables 		arrondies 	dépression discrète 	dépression discrète 	proéminences osseuses entourées de graisse 
	4,00 4,25 4,50	plate, processus indiscernables 	quasi-plat 	Bord lisse 		enfoncées sous la graisse 	plat 	plat 	os enfoncés sous la graisse 
Embonpoint sévère	4,75 5,00	enfoncés dans la graisse 	arrondi (convexe) 	enfoncés sous la graisse 	saillant 	arrondi 	arrondi 	arrondi 	arrondi 

Figure 11 : Diagramme de notation d'état corporel pour les vaches Prim'Holstein (d'après EDMONSON et al., 1989).

Il apparaît que les notes attribuées aux tubérosités ischiatiques et iliaques, à la dépression séparant ces deux proéminences, ainsi qu'à la région entre les pointes des hanches, reflètent étroitement la note globale d'état corporel. Ces régions anatomiques en particulier semblent donc fiables et présentent un intérêt pour l'estimation de notes d'état sur des vaches en stabulation libre. La note d'une seule région serait même un bon indicateur de la note globale de l'animal [EDMONSON *et al.*, 1989].

## ***B. Intérêts de la notation de l'état corporel chez la vache laitière***

### *1) Représentativité du statut énergétique de l'animal*

Bien que subjective, la méthode de notation de l'état corporel chez la vache peut toutefois être corrélée à d'autres mesures, objectives celles-ci, comme le poids vif ou la composition des tissus corporels. La note d'état corporel reflète l'épaisseur de la graisse sous-cutanée [EDMONSON *et al.*, 1989].

Une corrélation positive a également été démontrée entre la note d'état corporel chez la vache et la lipomobilisation [DOMECQ *et al.*, 1997b], mais aussi avec la balance énergétique négative cumulée [DOMECQ *et al.*, 1997a].

Une variation d'un point de la note d'état corporel représente environ 56 kg de variation de poids corporel et 400 Mcal d'énergie nette, sur une échelle de score de 1 à 5 [FERGUSON, 2001].

### *2) Fiabilité de la méthode*

La notation de l'état corporel apparaît comme une méthode répétable mais également reproductible : une corrélation de 82 % entre les notes attribuées à un animal par le même observateur, et de 79 % entre les notes accordées par les observateurs lors d'un même test ont été rapportées [AGABRIEL *et al.*, 1986]. Environ 90 % des notations entre 2 observateurs ne diffèrent que de 0,25 point [FERGUSON *et al.*, 1994]. D'autre part, il semble que l'utilisation de grilles sous forme de diagramme permet à un observateur débutant d'évaluer la note d'état corporel avec la même précision qu'un initié [EDMONSON *et al.*, 1989].

En lactation comme en période de tarissement, la notation de l'état corporel à des intervalles réguliers de 30 jours constitue une bonne méthode pour appréhender et détecter les changements de la condition corporelle au cours de ces 2 périodes, de façon significative et précise [HADY *et al.*, 1994], ce qui illustre l'intérêt pratique d'une telle méthode.

### *3) Autres intérêts zootechniques*

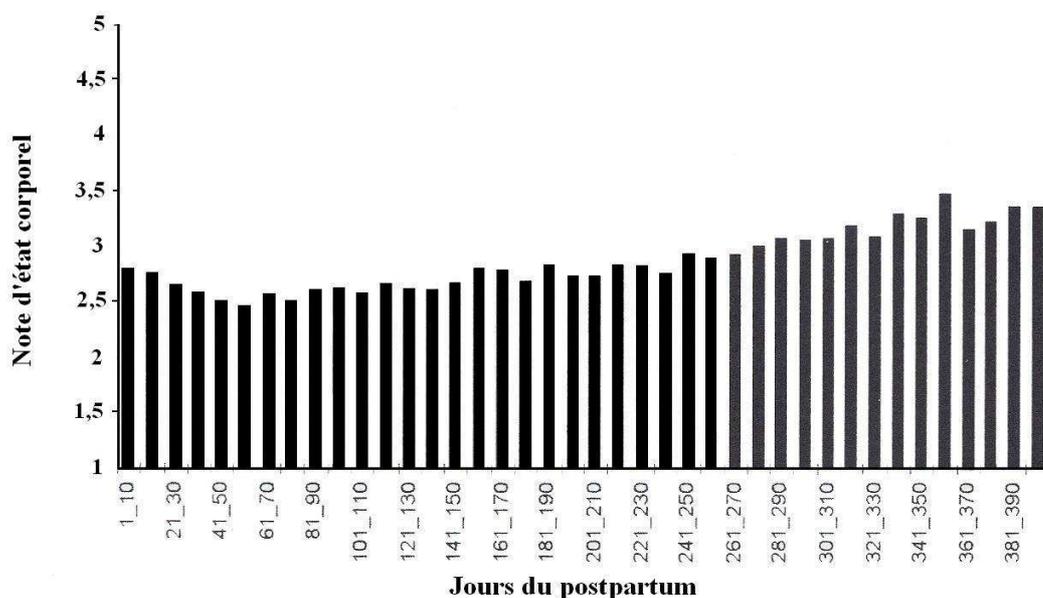
La notation de l'état corporel peut constituer un outil diagnostique intéressant dans l'évaluation de l'adéquation entre les apports et les besoins d'énergie. L'observation et le suivi de l'état corporel d'un troupeau au cours de la lactation permettent une meilleure gestion de la conduite alimentaire, notamment par une correction de la ration si nécessaire.

D'autre part, la note d'état elle-même ou ses variations sont associées à des troubles sanitaires nombreux comme des boiteries, des troubles métaboliques (cétose, fièvre de lait) et de nombreux troubles de la reproduction : métrites, kystes ovariens, dystocies, rétentions placentaires et baisse de fertilité, ... [FERGUSON, 2002].

**Ainsi, la notation de l'état corporel constitue un outil de terrain efficace, fiable, rapide et peu coûteux, permettant à l'éleveur, au technicien ou au vétérinaire d'évaluer les réserves lipidiques de l'animal, reflet de son statut énergétique à un moment donné, mais aussi, par l'obtention de profils d'état corporel, une approche dynamique des variations de la balance énergétique.**

## II. PROFIL DE L'ÉTAT CORPOREL AU COURS DU POSTPARTUM CHEZ LA VACHE LAITIÈRE

### A. Influence du stade du postpartum



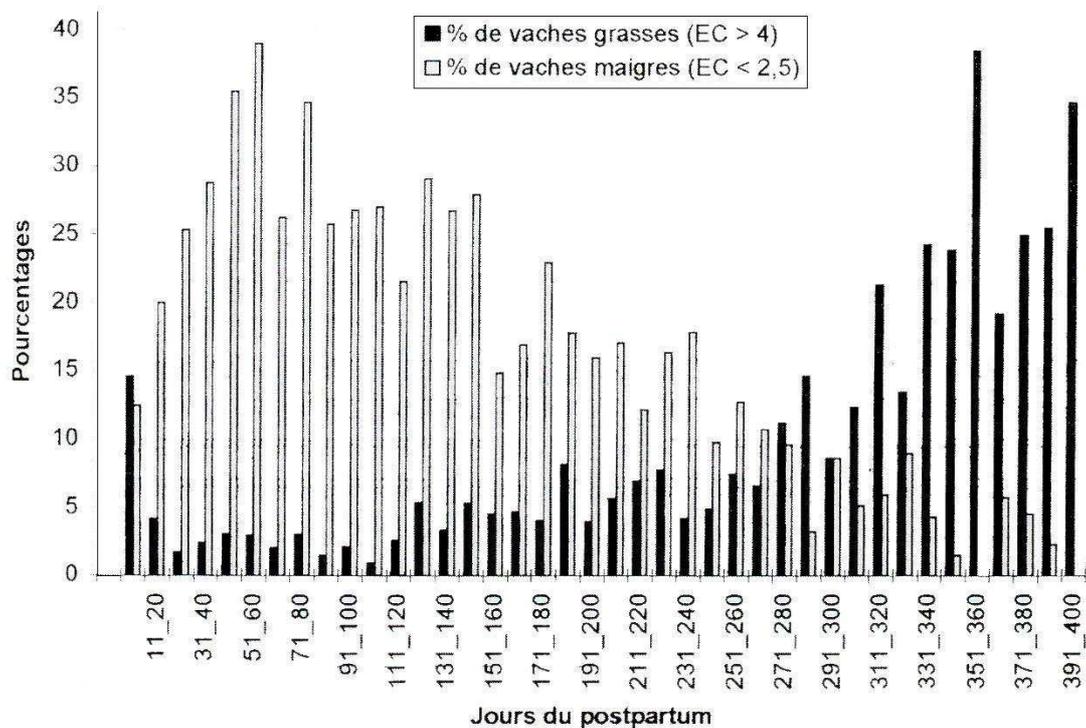
**Figure 12 : Evolution de l'état corporel moyen au cours du *postpartum* chez les vaches laitières (d'après DRAME *et al.*, 1999).**

L'état corporel de la vache laitière suit une évolution caractérisée par 2 grandes phases : l'une comprise entre le vêlage et le 60<sup>ème</sup> jour de lactation, l'autre au-delà du 60<sup>ème</sup> jour.

Au cours de la première phase, une diminution significative de l'état corporel est observée avec une valeur moyenne diminuant de 2,8 à 2,5 points durant les 60 premiers jours de lactation [DRAME *et al.*, 1999 ; EDMONSON *et al.*, 1989 ; FERGUSON *et al.*, 1994].

Cette perte d'état est une manifestation de l'utilisation intense des réserves corporelles survenant après le part. Une mobilisation de 20 à 70 kg de lipides a été rapportée au cours des 60 jours suivant le vêlage [OTTO *et al.*, 1991]. Elle se traduit par la réduction de l'épaisseur de la graisse sous-cutanée et du diamètre des adipocytes liée à la lyse des triglycérides. Elle s'accompagne d'une augmentation de la teneur plasmatique en acides gras qui atteint son pic vers le 15<sup>ème</sup> jour du *postpartum*. Cette augmentation reflète la lipolyse et la mobilisation des réserves adipeuses pour assurer les dépenses énergétiques de l'animal. Les raisons de la mobilisation des réserves graisseuses et donc de la diminution de l'état corporel observée en début de lactation sont liées à la balance énergétique négative.

La production laitière moyenne augmente après le vêlage pour atteindre un pic dans les 4 à 8 premières semaines de lactation, tandis que la consommation alimentaire est maximale entre la 12<sup>ème</sup> et la 15<sup>ème</sup> semaine : la prise d'énergie reste plus faible que la quantité d'énergie nécessaire à la production laitière. En compensation de ce déficit, la vache utilise ses réserves de graisse.

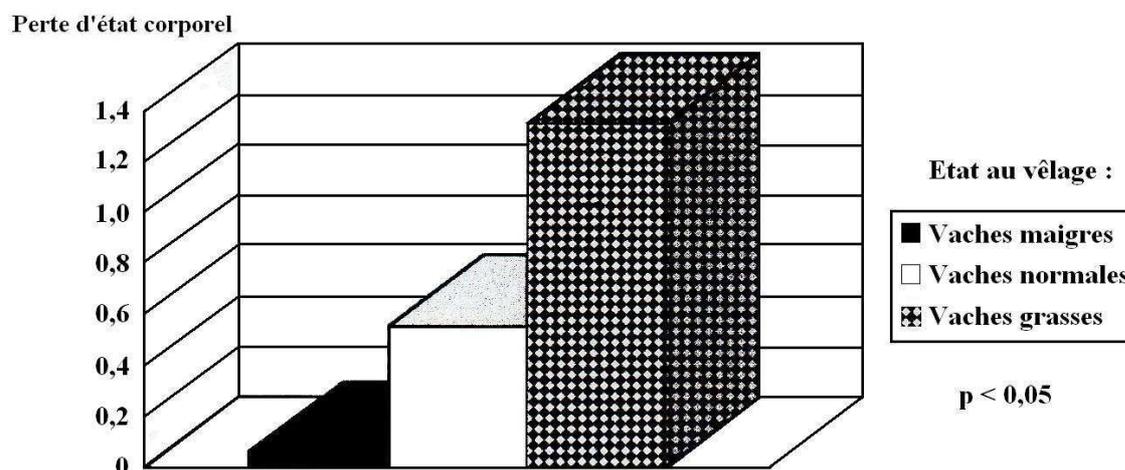


**Figure 13 : Fréquence des vaches maigres et des vaches grasses au cours du *postpartum* (d'après DRAME *et al.*, 1999).**

La seconde phase observée sur la courbe d'état corporel se situe au-delà du 60<sup>ème</sup> jour *postpartum*, avec une augmentation significative de 2,5 à 3,4 points [DRAME *et al.*, 1999 ; WALTNER *et al.*, 1993] Celle-ci traduit la reconstitution des réserves énergétiques de l'animal, liée au rétablissement de sa capacité d'ingestion de matière sèche ainsi qu'à l'activation de la lipogenèse au détriment de la lipolyse qui diminue. Les excédents de nutriments absorbés seront ainsi stockés dans les tissus de réserve, à l'origine d'une augmentation de la note d'état corporel.

A la fin de la lactation, la note d'état corporel redevient égale à celle du vêlage [WALTNER *et al.*, 1993].

## B. Influence de l'état d'engraissement au moment du part



**Figure 14 : Perte d'état corporel au cours des 60 premiers jours de lactation chez les vaches maigres, normales et grasses au moment du vêlage (d'après DRAME *et al.*, 1999).**

Le degré d'utilisation des réserves est significativement corrélé au niveau d'engraissement de l'animal au moment de son vêlage. Ainsi, les vaches vêlant avec un état gras présentent une perte d'état corporel excessive, supérieure à un point (1,36 selon DRAME *et al.*, 1999), tandis que celle-ci se limite à 0,56 et 0,06 respectivement chez les vaches normales et maigres.

## C. Influence de la saison du vêlage

Un effet significatif de la saison du vêlage a été observé sur le profil de l'état corporel au cours du *postpartum* [DRAME *et al.*, 1999]. Les vaches vêlant en période de pâturage présentent un état corporel moyen significativement plus élevé que les vaches vêlant en stabulation. Le rôle des conditions de stabulation et d'une diminution qualitative et quantitative des fourrages distribués en hiver est évoqué. D'autres auteurs n'ont toutefois pas montré de variation significative de l'état corporel liée aux saisons [WILDMAN, 1982].

## D. Influence de la parité

Les vaches primipares et celles en deuxième lactation atteignent leur niveau d'état corporel le plus bas au 2<sup>ème</sup> mois suivant le vêlage. La note d'état la plus basse est atteinte au 4<sup>ème</sup> mois *postpartum* chez les vaches en 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> lactation [WALTNER *et al.*, 1993].

La perte d'état *postpartum* augmente avec la parité, passant de 0,3 point en moyenne chez les primipares à 0,9 point pour les vaches à 4 lactations ou plus [WALTNER *et al.*, 1993].

D'autres travaux n'ont toutefois pas pu conclure à l'existence de différence significative portant sur la parité [DRAME *et al.*, 1999].

### ***E. Relations avec le niveau de la production laitière***

Il est souvent admis que, pour les vaches laitières à fort potentiel de production, la quantité des graisses corporelles disponibles au vêlage est positivement corrélée au niveau de la production laitière en début de lactation.

WALTNER *et al.* (1993) déterminent qu'une augmentation de la note d'état au vêlage de 2 à 3 points correspond à 322 kg supplémentaires de lait produit au cours des 90 premiers jours de lactation. Cette croissance est moins forte (+33 kg) lorsque l'on passe de 3 à 4 points. Au delà, un point de note d'état correspond à une diminution de production de 223 kg. Ainsi, les réserves adipeuses de la femelle au vêlage peuvent être un facteur limitant de la capacité à exprimer le potentiel laitier chez des vaches aptes à produire plus de 9000 kg de lait standard en 305 jours de lactation.

Pour les mêmes auteurs, le niveau de la production laitière est davantage lié à l'utilisation des réserves de graisse corporelles en début de lactation qu'à leur niveau au vêlage.

Ainsi, une perte note d'état corporel n'excédant pas 1,5 point à 120 jours de lactation est associée à une augmentation de la production laitière. Au delà de 1,5 point de perte, une diminution de la production comparativement au potentiel laitier est constatée [WALTNER *et al.*, 1993].

### III. LA GESTION DES CONTRAINTES NUTRITIONNELLES AUTOUR DU VÊLAGE

La période qui se situe autour du vêlage correspond à deux moments physiologiques différents : la fin de la période sèche, caractérisée par des besoins alimentaires modérés, et le début de la lactation, avec des besoins importants.

#### A. Evolution des besoins alimentaires et de la capacité d'ingestion

##### 1) Evolution théorique de la ration de la vache laitière en péri-partum

ENTRETIEN	TARISSEMENT	PRODUCTION
5 - 5,6 UFL / jour	7ème mois de gestation : + 0,9 UFL / j 8ème mois de gestation : + 1,6 UFL / j 9ème mois de gestation : + 2,6 UFL / j	+ 0,44 UFL par kg de lait standard

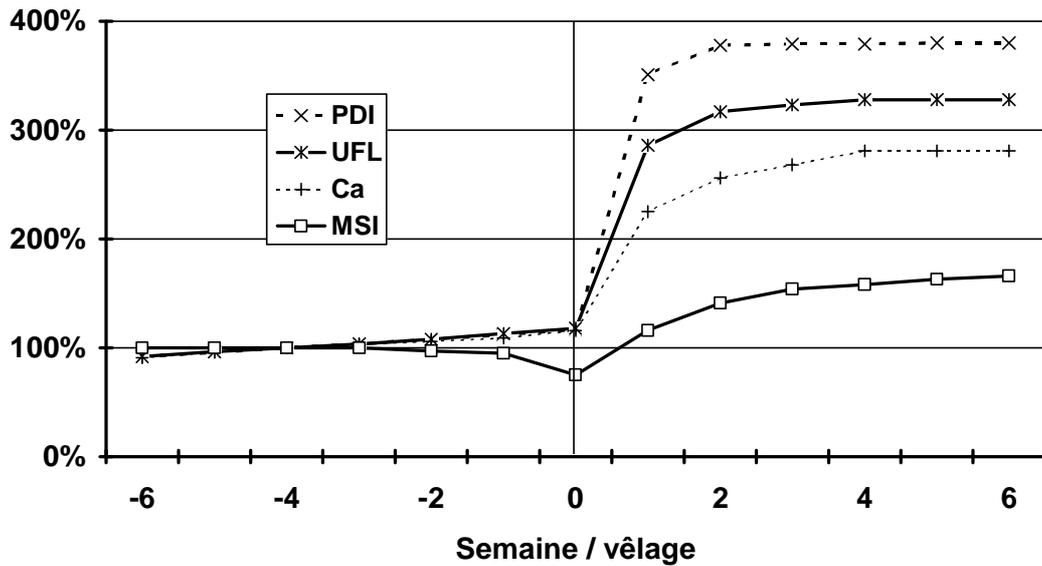
**Tableau 4 : Besoins énergétiques quotidiens d'une vache laitière de 600 kg en fonction de son stade physiologique (d'après INRA, 1988).**

*Les besoins énergétiques d'entretien sont augmentés en stabulation libre. Un kg de lait standard contient 40 g/kg de TB, 31 g/kg de TP et 48 g/kg de lactose pour une valeur énergétique de 740 kcal/kg. On rappellera la formule :*

*Quantité de lait standard (kg) = Quantité de lait produit (kg) x (0,4 + 0,15 TB(%)).*

Au cours des derniers jours de gestation, l'appétit des vaches tend à diminuer : la quantité de matière sèche ingérée chute de 12-14 kg à des valeurs comprises entre 8 et 12 kg. A l'inverse, les besoins liés à la gestation ainsi qu'à la préparation de la mamelle deviennent importants, ces derniers étant compris entre 1,5 et 2 UFL/jour.

/ besoin 1 mois avant vêlage



**Figure 15 : Evolution comparée de l'appétit et des besoins alimentaires autour du vêlage (d'après ENJALBERT, 2003).**

Après le vêlage, l'appétit augmente mais beaucoup plus lentement que les besoins, les apports recommandés en énergie et en protéines triplant voire quadruplant dès la 2<sup>ème</sup> semaine de lactation, soit bien avant le pic de lactation, tandis que l'appétit n'atteint son maximum que deux à quatre mois après le vêlage. Le statut énergétique d'une vache laitière varie en fonction de la saison, de l'âge, du type de stabulation, de la production laitière et principalement de son stade physiologique.

La production laitière croît quotidiennement du vêlage au pic de lactation, vers 6 à 8 semaines *postpartum*. La vache présente un bilan énergétique négatif, s'accroissant de jour en jour, atteignant un maximum en valeur absolue vers 7 à 15 jours *postpartum*. Plus le déficit sera intense, plus il faudra de temps pour le combler. L'appétit se restaurera au fur et à mesure de la lactation, avec un pic d'ingestion de matière sèche survenant 3 à 6 semaines après le pic de lactation. Le bilan énergétique redevient donc positif vers 8 semaines chez les primipares et 12 semaines maximum chez les multipares [BAREILLE *et al.*, 1995 ; BUTLER *et al.*, 1989], ce qui autorise la reconstitution des réserves corporelles jusqu'au tarissement [WEAVER, 1987].

## 2) Conséquences

### a) Besoins énergétiques

La balance énergétique peut être définie comme la différence entre l'énergie nette consommée et l'énergie nette requise pour l'entretien et la production. Elle est négative chez les vaches en début de lactation. La couverture des besoins énergétiques chez les vaches laitières à fort potentiel s'avère impossible en début de lactation [BEAM *et al.*, 1989], malgré l'utilisation de fourrages de qualité (impliquant l'obligation d'une transition progressive sur 2 à 3 semaines) et l'accroissement du pourcentage de concentrés, progressif également. En

effet, les très bons fourrages dépassent rarement 0,9 UFL/kg MS et les concentrés énergétiques courants, comme les céréales, avoisinent 1,2 UFL/kg MS [ENJALBERT, 2003].

#### b) Besoins protéiques et minéraux

La couverture des besoins protéiques et minéraux reste accessible et nécessaire, notamment par l'utilisation d'aliments riches en protéines, dépassant les 300 g de PDI/kg MS, et d'aliments minéraux à forte teneur en calcium et phosphore.

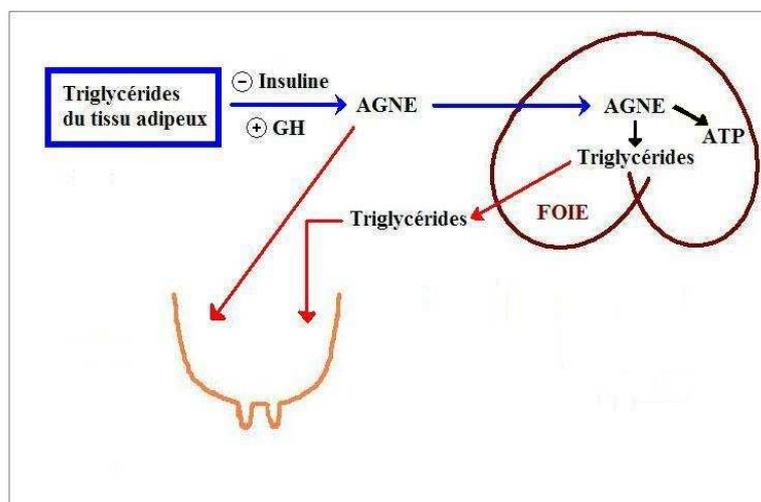
#### c) Evolution de la ration

En lactation, un fourrage plus riche que celui utilisé pendant la période sèche, insuffisamment énergétique, doit être distribué (herbe jeune, ensilage de maïs, bon ensilage d'herbe, foin récolté précocement). Pratiquement, la nécessité d'une transition alimentaire sur 2 à 3 semaines n'est guère réalisable étant donné l'étalement des vêlages sur plusieurs semaines, ce qui supposerait une distribution individuelle de la ration ou la mise en place de lots de vaches devant vêler dans les 3 semaines.

Afin d'obtenir des densités énergétiques élevées, la quantité de concentrés doit être augmentée. Cette modification du substrat fermentaire entraîne au niveau ruminal une modification du profil de la flore bactérienne (flore amylolytique favorisée) ainsi que l'abaissement du pH ruminal par la production plus rapide d'acides gras et la diminution de la vitesse d'absorption, liée à une surface plus faible des papilles ruminales [DIRKSEN, 1985]. Le déséquilibre entre les différents types de flore doit donc être limité par une augmentation modérée de la quantité de concentrés, n'excédant pas 1 kg par semaine *antepartum* et 2 kg par semaine *postpartum*.

## B. Couverture des besoins énergétiques

### 1) Réserves corporelles



**Figure 16 : Modalités et contrôle hormonal de la mobilisation des réserves énergétiques en début de lactation (d'après ENJALBERT, 2003).**

Les déficits sont compensés par une mobilisation de réserves contenues dans le tissu adipeux, sous le contrôle de l'hormone de croissance, responsable de l'homéorèse en faveur du tissu mammaire, priorité donnée à la mamelle pour l'obtention de nutriments disponibles. L'insuline, hormone de l'homéostasie, s'oppose à cette lipomobilisation. En début de lactation, les vaches hautes productrices se caractérisent par un rapport plasmatique GH/insuline très élevé. Les triglycérides produits par le foie à partir des AGNE fournissent des acides gras au tissu mammaire, ceci expliquant les taux butyreux élevés observés chez des vaches en cours d'amaigrissement. Une vache à haut potentiel et possédant des réserves peut, dans des conditions normales, perdre plus de 40 à 50 kg de réserves adipeuses, correspondant à la production de 400 à 500 kg de lait [CHILLIARD *et al.*, 1987]. Cet amaigrissement cesse normalement vers 6 à 8 semaines de lactation environ.

L'appétit un peu supérieur des vaches maigres, comparativement aux vaches grasses, ne compense pas le déficit d'énergie dû aux réserves insuffisantes. La production laitière au cours des premiers mois de lactation, aussi bien chez les primipares que chez les multipares, se trouve affectée par la note d'état corporel au vêlage, diminuant sensiblement lorsque la note d'état corporel est inférieure à 3, sur une échelle de 0 à 5 [WALTNER *et al.*, 1993].

D'autre part, les réserves peuvent être exagérément mobilisées lors de déficit énergétique marqué favorisé par une forte production laitière et un état d'engraissement excessif [EDE BRETAGNE, 1985], lesquels étant liés. Cet excès de mobilisation énergétique prédispose à des pathologies métaboliques (cétose et stéatose). La cétose, même subclinique, entraîne un écrêtement du pic de production laitière, sans rattrapage complet ultérieur [GUSTAFFSON *et al.*, 1993].

Une affection intercurrente (métrite, mammite, fièvre vitulaire) favorise également la baisse de l'appétit *postpartum*.

Un déficit énergétique trop élevé peut également être lié à la nature de la ration, à un niveau de consommation insuffisant ou à une mauvaise utilisation des aliments par les animaux.

Dans les troupeaux laitiers, la densité énergétique des rations est rarement en cause. En revanche, la distribution de quantités élevées de suppléments de protéines protégées (sous forme de tourteaux tannés en général) stimule la mobilisation des réserves corporelles, et la production laitière d'où une très bonne expression du pic de lactation. Il en résulte un accroissement du déficit énergétique [ENJALBERT, 2003].

Une mauvaise consommation de la ration peut être liée à son mode de distribution. Il est impératif que les vaches puissent consommer à volonté les fourrages ou le mélange fourrages-concentrés en ration complète ou semi-complète. Les compétitions entre animaux lorsque les auges sont trop courtes alors que la quantité de fourrage distribuée est limitée, ou lors de consommation en libre service au silo, peuvent être préjudiciables à certains animaux, en particulier aux primipares. En dehors des problèmes liés au mode de distribution des aliments, les vaches grasses ont un appétit moindre que les vaches en état corporel moyen.

L'efficacité de la digestion d'une ration peut enfin être affectée par le mauvais équilibre des rations. Deux cas fréquents peuvent être mis en avant :

- le déficit d'azote dégradable pour la flore du rumen, qui peut s'apprécier par le rapport (PDIE - PDIN) / UFL de la ration (qui ne doit pas dépasser 4 sur des vaches en lactation), ou par une faible teneur en urée du sang ou du lait. Il y a alors une carence en azote pour la flore du rumen. La digestion des fourrages se fait moins vite (d'où une moindre consommation), et moins complètement (d'où une faible valorisation de l'énergie de la ration).

- l'acidose chronique, le plus souvent due à un défaut de transition alimentaire en début de lactation. Le passage brutal de la ration de tarissement à la ration de lactation se traduit par une modification rapide du rapport fourrages / concentrés, et souvent par une modification de la nature des fourrages. Ici encore, la flore est très sensible à cette anomalie, avec sur l'efficacité de la ration les mêmes conséquences qu'un déficit d'azote dégradable [ENJALBERT, 2003].

## 2) Maîtrise des besoins énergétiques

On recherche donc habituellement, pour les vaches en début de lactation, une densité énergétique voisine de 0,95 UFL/kg MS. Les rations riches en énergie distribuées à volonté sont à éviter pendant le tarissement, sauf si l'état corporel en fin de lactation précédente laisse à désirer, ceci afin de limiter une prise de poids excessive prédisposant ultérieurement à un fort amaigrissement.

Le contrôle du déficit énergétique *postpartum* doit commencer avant le vêlage, par l'utilisation de fourrages riches et/ou par l'introduction de concentrés dans la ration. Il s'agit de trouver un compromis entre une évolution trop rapide de la ration (prédisposant à l'acidose) et une insuffisance d'apports pouvant conduire à l'apparition d'une cétose primaire.

La notation de l'état corporel des animaux permet d'appréhender l'importance du déficit a posteriori. L'état corporel devrait rester stable pendant le tarissement (sauf s'il est moyen ou insuffisant, auquel cas la restauration des réserves est souhaitable). Sur l'ensemble du troupeau, la note d'état corporel au vêlage doit être comprise entre 3,3 et 4 et diminuer de moins d'un point en début de lactation [BAZIN, 1985 ; HEINRICHS *et al.*, 1991]. Individuellement, cette note d'état ne doit ni dépasser 4 au vêlage, ni être inférieure à 2,5 au pic de lactation.

## C. Couverture des besoins azotés

ENTRETIEN	TARISSEMENT	PRODUCTION
$PDI (g) = 95 + (50 \times PV/100)$  (PV : poids vif en kg)	7ème mois de gestation : + 75 g PDI  8ème mois de gestation : + 135 g PDI  9ème mois de gestation : + 205 g PDI	Pour produire 1 kg de lait standard :  PDI (g) = 48

**Tableau 5 : Besoins azotés quotidiens d'une vache laitière en fonction de son poids vif et de stade physiologique (d'après INRA, 1988).**

L'apport recommandé en PDI lors du tarissement avoisine 50 g/kg MS, ce qui est facilement permis par la majorité des fourrages. Cet apport peut toutefois s'avérer insuffisant pour la couverture des besoins en azote dégradables de la flore du rumen, justifiant l'utilisation préférable d'apports plus élevés (75 à 85 g de PDI ou 120 g de MAT (Matières Azotées Totales) par kg MS).

En début de lactation, contrairement aux réserves énergétiques, les réserves protéiques sont peu abondantes et dépendent peu du niveau de production laitière. Le muscle utérin

fournit l'essentiel de ces réserves au cours de l'involution. La mobilisation des protéines musculaires squelettiques reste tolérable, sans toutefois dépasser un déficit PDI cumulé supérieur à 10 kg au cours du premier mois de lactation, ceci correspondant à environ 200 kg de lait. On conçoit la faiblesse relative de cette valeur comparée au déficit énergétique toléré chez des vaches à haut potentiel. Les apports recommandés sur les rations complètes proposent une teneur en PDI de 120 g/kg MS en début de lactation, contre 110 g/kg MS chez des vaches en milieu de lactation [CHENAIS, 1990].

Lorsque le déficit azoté concerne l'apport en PDI, c'est-à-dire un manque d'acides aminés absorbés, en début de lactation, on observe une diminution de la production laitière, expliquée par une moindre utilisation des réserves énergétiques. Ce déficit est rare durant le tarissement.

Un déficit en azote dégradable (apport PDIN inférieur à PDIE) limite l'efficacité de la digestion microbienne et entraîne une diminution de production laitière par diminution de l'ingestion. Rare en début de lactation, ce déficit s'observe davantage pour des rations de tarissement où les fourrages sont très déficitaires en azote dégradable. La flore ruminale tolérant alors moins facilement un changement rapide de transition, la moindre capacité d'ingestion en début de lactation entraîne alors une moindre production laitière [CHEW, 1984 ; GREENFIELD, 2000].

L'utilisation de rations trop riches en azote constitue un autre écueil. Le plus fréquemment, on observe un excès d'azote dégradable (apport PDIN supérieur à l'apport PDIE), notamment par l'apport de tourteaux, riches en PDI et contenant davantage de PDIN que de PDIE. L'excès d'azote dégradable entraîne d'une part une sollicitation supplémentaire du foie : outre la néoglucogénèse importante en *postpartum* et une éventuelle stéatose, l'ammoniac absorbé au niveau ruminal active les processus hépatiques de détoxification. D'autre part, la transformation de l'ammoniac en urée est coûteuse en énergie, ce qui n'est pas souhaitable en période de déficit énergétique.

Une alternative, permettant d'accroître le niveau azoté de la ration en limitant un excès d'azote dégradable, passe par l'utilisation de protéines protégées sous forme de tourteaux tannés. Ce type de ration présente également l'intérêt d'optimiser le pic de lactation, mais peut avoir des conséquences secondairement sur le déficit énergétique, et donc sur le risque d'apparition de cétose, la stimulation de la production n'étant pas compensée par une augmentation de l'appétit. Cette pratique n'est toutefois pas majoritaire en France, la volonté actuelle des éleveurs tendant à obtenir un pic de production moins élevé et plus tardif [ENJALBERT, 2003].

**La gestion de l'alimentation des vaches laitières autour du vêlage doit réaliser un compromis entre l'incapacité des vaches à supporter un changement rapide de ration et un triplement des besoins en seulement 2 semaines, prédisposant à l'acidose et/ou à la cétose. L'alimentation en période de tarissement, et même de fin de lactation, visera donc à la reconstitution des réserves énergétiques. En début de lactation, une bonne maîtrise du rationnement est nécessaire afin de valoriser l'utilisation de ces réserves, les déficits comme les excès exagérés pouvant porter préjudice à la production, à la santé ainsi qu'à la reproduction des vaches laitières.**



## **TROISIEME PARTIE :**

### **RELATIONS ENTRE FERTILITE ET PROFIL DE L'ETAT CORPOREL POSTPARTUM : INFLUENCE DU DEFICIT ENERGETIQUE SUR LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION CHEZ LA VACHE LAITIERE**



L'impact défavorable de la sous-nutrition et de la lactation sur l'aptitude à la reproduction est connu depuis longtemps. Les animaux souffrant de sous-nutrition ou d'amaigrissement présentent de piètres performances reproductrices.

Le déficit énergétique, systématique et inévitable en début de lactation, tient physiologiquement à une capacité d'ingestion chez la femelle qui augmente beaucoup moins vite que les besoins en début de lactation. Ce déséquilibre est renforcé par l'homéorhèse, aptitude à donner la priorité à la production laitière par la mobilisation des réserves adipeuses pour l'obtention des nutriments. Ce n'est qu'après avoir satisfait à ces besoins que la reproduction (peut-être considérée comme « secondaire » à l'échelle de l'individu) peut redevenir fonctionnelle.

## **I. FERTILITE EN ELEVAGE BOVIN LAITIER : SITUATION ACTUELLE**

### ***A. Constat du déclin de la fertilité en élevage bovin laitier moderne***

De nombreuses études rapportent une baisse de la fertilité chez les vaches laitières au cours des deux dernières décennies, cette tendance semblant concerner de nombreux pays.

Ainsi, aux Etats-Unis, le taux de conception (défini comme la proportion de vaches déclarées gestantes après insémination) à la première insémination a diminué de 0,45 % par an sur une période de 20 ans [BUTLER *et al.*, 1989 ; BEAM *et al.*, 1999].

En Angleterre, cette baisse a été de l'ordre de 1 % par an [ROYAL *et al.*, 2000].

Le nombre d'IA nécessaires à la fécondation est passé de 1,75 à plus de 3 sur une période de 20 ans aux Etats-Unis [LUCY, 2000], et de 1,54 à 1,75 entre 1990 et 2000 en Irlande [MEE *et al.*, 2004].

Au Québec, les taux de conception à la première et à la deuxième insémination ont baissé de 44 % à 39 % et de 47 % à 41 % respectivement, en 10 ans depuis 1990, ce qui correspond à une augmentation au minimum de 0,48 IA nécessaire à la fécondation par vache par lactation [BOUCHARD *et al.*, 2003].

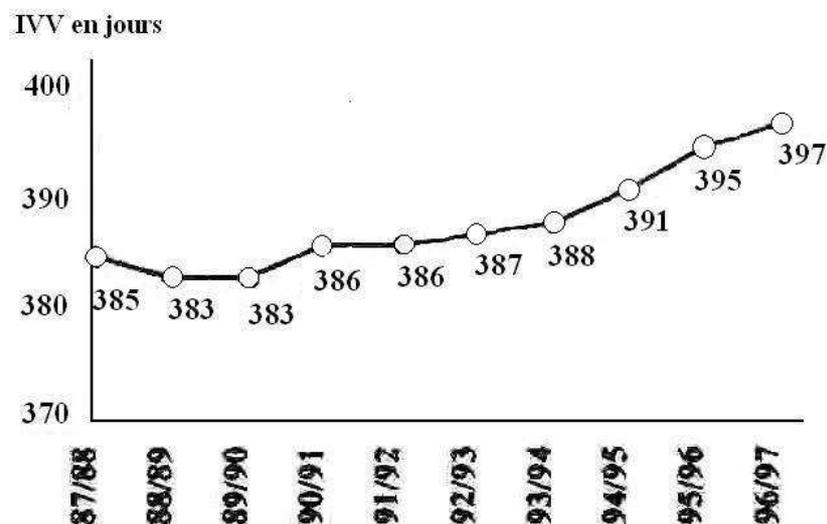
Les résultats de reproduction dans les troupeaux laitiers français ne font pas exception. La dégradation des taux de non retour et l'allongement de l'intervalle vêlage-vêlage depuis plusieurs années en France sont souvent évoqués dans différentes enquêtes [CHEVALLIER *et al.*, 1996 ; VALLET *et al.*, 1997 ; PINTO *et al.*, 2000].

Cette dégradation continue a été plus forte et plus rapide en race Prim'Holstein qu'en race Normande.

En race Montbéliarde, les performances de reproduction sont relativement stables au cours des différentes campagnes [BOICHARD *et al.*, 2002].

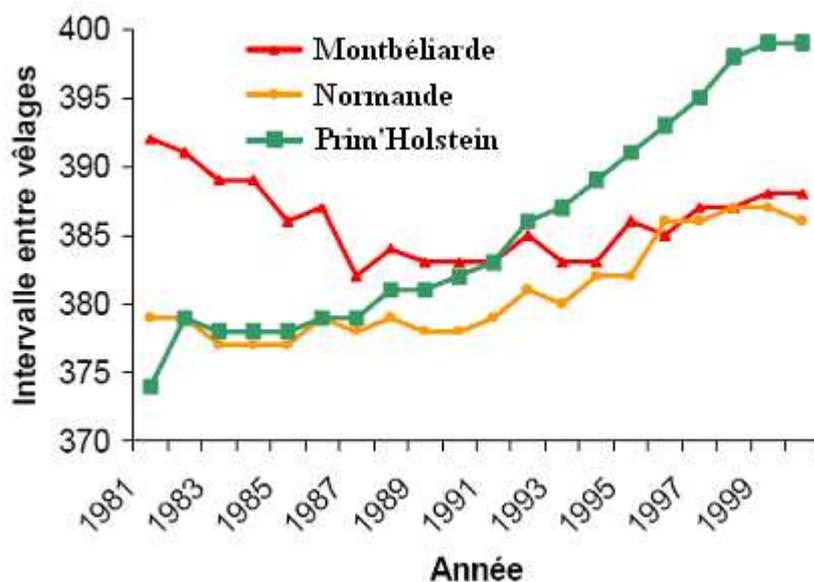
Une chute de fertilité continue et importante est également observée chez les génisses pour les trois races [BARBAT *et al.*, 2005].

### 1) Evolution de l'intervalle entre mise bas



**Figure 17 : Evolution de l'intervalle vêlage-vêlage chez des vaches laitières soumises au contrôle laitier sur dix campagnes d'insémination (d'après CHEVALLIER *et al.*, 1998).**

L'intervalle vêlage-vêlage s'est fortement allongé, de 385 jours en 1988 à 397 jours en 1997, avec une accélération à partir de 1994 [CHEVALLIER *et al.*, 1998].

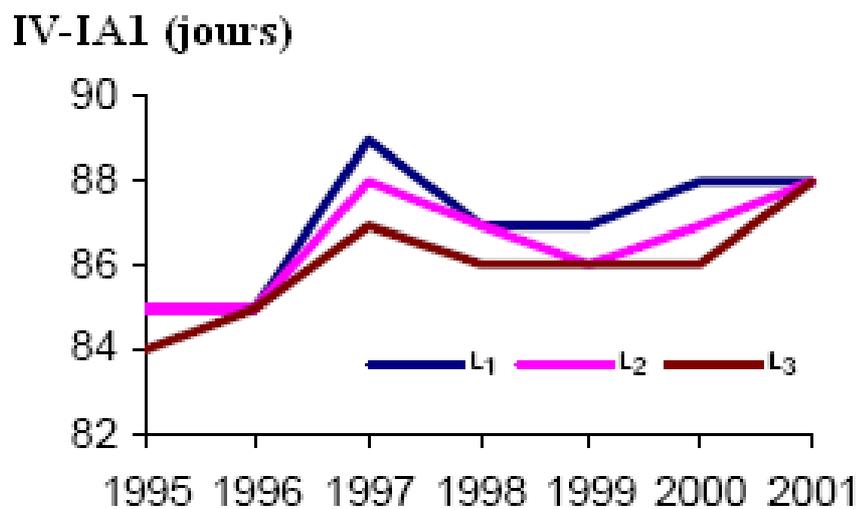


**Figure 18 : Evolution de l'intervalle entre vêlages depuis 1980 dans les trois principales races françaises (d'après BOICHARD *et al.*, 2002).**

L'intervalle entre vêlages s'est accru d'environ un jour par an en race Prim'Holstein depuis 1980 pour atteindre plus de 13 mois aujourd'hui. Cette tendance est beaucoup moins marquée et plus récente en race Normande. En race Montbéliarde, on peut même constater une diminution de l'intervalle entre vêlages au cours des années 80.

Ces différences entre races sont d'autant plus marquées que l'intervalle entre vêlages inclut la durée de gestation qui est plus courte chez la vache de race Prim'Holstein (282 jours) que chez les deux autres races [BOICHARD *et al.*, 2002].

## 2) Evolution de l'IVIA1

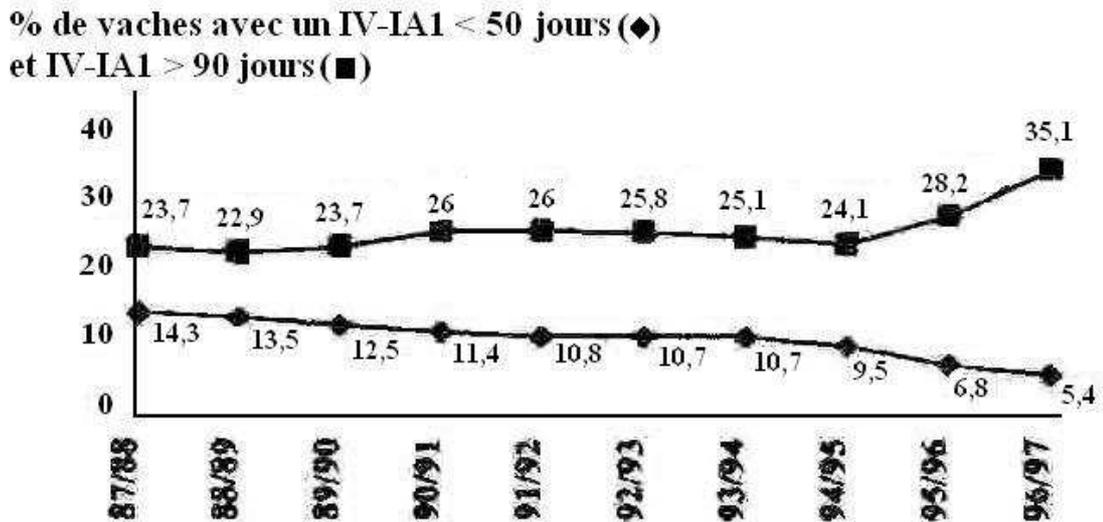


**Figure 19 : Evolution de l'intervalle mise bas-1ère IA de 1995 à 2001 selon le numéro de lactation ( $L_n$ ) en race Prim'Holstein (d'après BOICHARD *et al.*, 2002).**

On constate un IVIA1 généralement plus long en 1<sup>ère</sup> lactation que lors des lactations suivantes.

L'IVIA1 est plus long en race Prim'Holstein, moins long en race Normande, et intermédiaire en race Montbéliarde.

Il augmente en race Prim'Holstein au cours du temps et présente une stagnation relative dans les deux autres races, avec des fluctuations entre années parfois assez fortes [BOICHARD *et al.*, 2002].

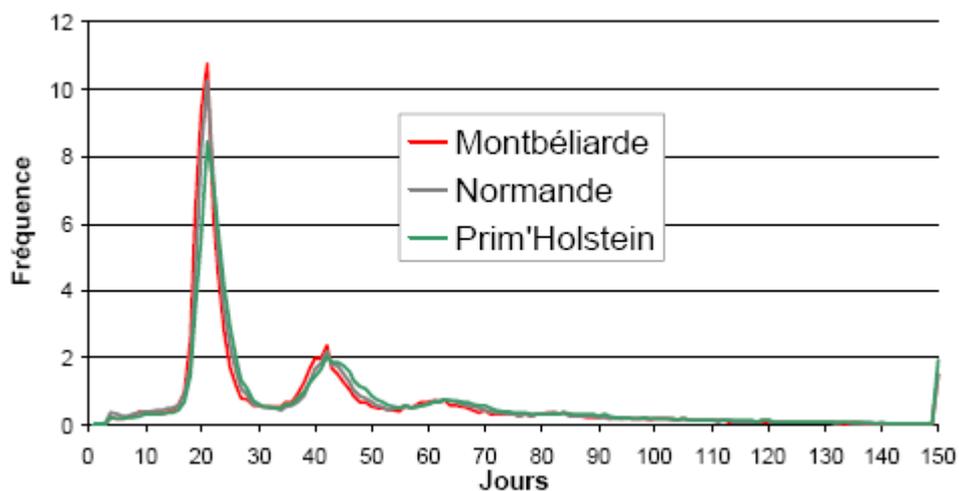


**Figure 20 : Evolution sur dix campagnes d'insémination du pourcentage de vaches avec un intervalle vêlage-première insémination de moins de 50 jours et de plus de 90 jours (d'après CHEVALLIER *et al.*, 1998).**

L'évolution des délais de mise à la reproduction (IVIA1) montre que le nombre de vaches inséminées à moins de 50 jours *postpartum* a diminué sensiblement au cours des dernières campagnes de reproduction.

Ceci peut expliquer partiellement l'allongement de l'IVV, notamment du fait du nombre croissant de vaches mises à la reproduction très tardivement (à plus de 90 jours *postpartum*) [CHEVALLIER *et al.*, 1998]. L'IVIA1 s'allongerait d'une journée par an en moyenne [PHILIPOT *et al.*, 2001].

### 3) Intervalle entre inséminations



**Figure 21 : Distribution des intervalles entre IA au cours de l'année 2001, selon la race (d'après BOICHARD *et al.*, 2002).**

La distribution des intervalles est très stable entre années et comparable dans les trois races. On distingue très nettement les trois pics de retour à 21, 42 et 63 jours en moyenne, avec une variabilité non négligeable cependant entre individus. Il existe également un léger décalage de la race Holstein par rapport aux deux autres, avec des pics de retour décalés d'un à deux jours.

L'analyse des intervalles entre IA met en évidence un nombre important de retours tardifs (les retours à plus de 35 jours représentent plus de 50 % de l'ensemble des retours). De tels retours contribuent à l'allongement de l'IVV constaté [CHEVALLIER *et al.*, 1998].

La fréquence d'intervalles longs ou très longs, sensiblement supérieure en race Prim'Holstein, suggère une mortalité embryonnaire plus élevée à un stade assez tardif [BOICHARD *et al.*, 2002].

#### 4) Evolution du TRIA1

Selon CHEVALLIER *et al.* (1998), dans une étude de terrain conduite de 1988 à 1997, le taux de réussite en première IA s'est sensiblement dégradé jusqu'en 1995, chutant de 60 % à 53,4 % avant de se stabiliser.

Dans une étude menée à la Réunion, entre 1993 et 2000, le TRIA1 est passé de 42 % à 28 % et le pourcentage de vaches fécondées après 110 jours *postpartum* de 46 à 52 % [TILLARD *et al.*, 2003].

Dans une étude portant sur les inséminations réalisées de 1995 à 2002 par 4 Centres d'insémination de l'Ouest de la France, le taux de réussite à l'IA des vaches Prim'Holstein s'est dégradé de 4,1% à 7,9% selon les Centres. La baisse est manifeste quels que soient le rang de lactation et le rang de l'IA. Cette situation s'est accompagnée d'un allongement de 6 à 12 jours de l'intervalle vêlage-vêlage, et, en 2002, pour 36% des femelles de l'un des centres, au moins 3 IA sont nécessaires pour obtenir un vêlage [LE MEZEC *et al.*, 2005].

Le taux de réussite est maximal chez la génisse, nettement plus faible chez la femelle en lactation, et diminue graduellement avec l'âge.

En races normande et Montbéliarde, il est assez élevé et relativement stable au cours du temps, tandis qu'il est plus faible et diminue graduellement en race Prim'Holstein [BOICHARD *et al.*, 2002].

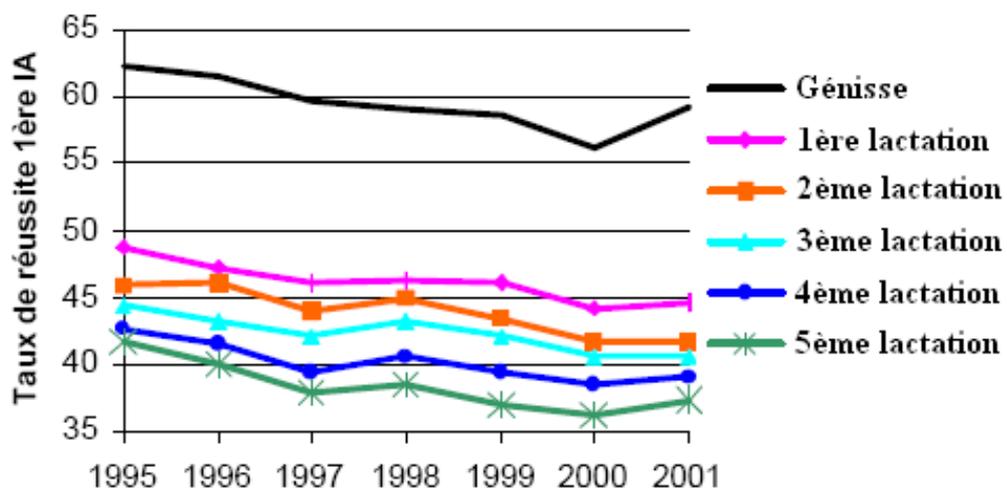
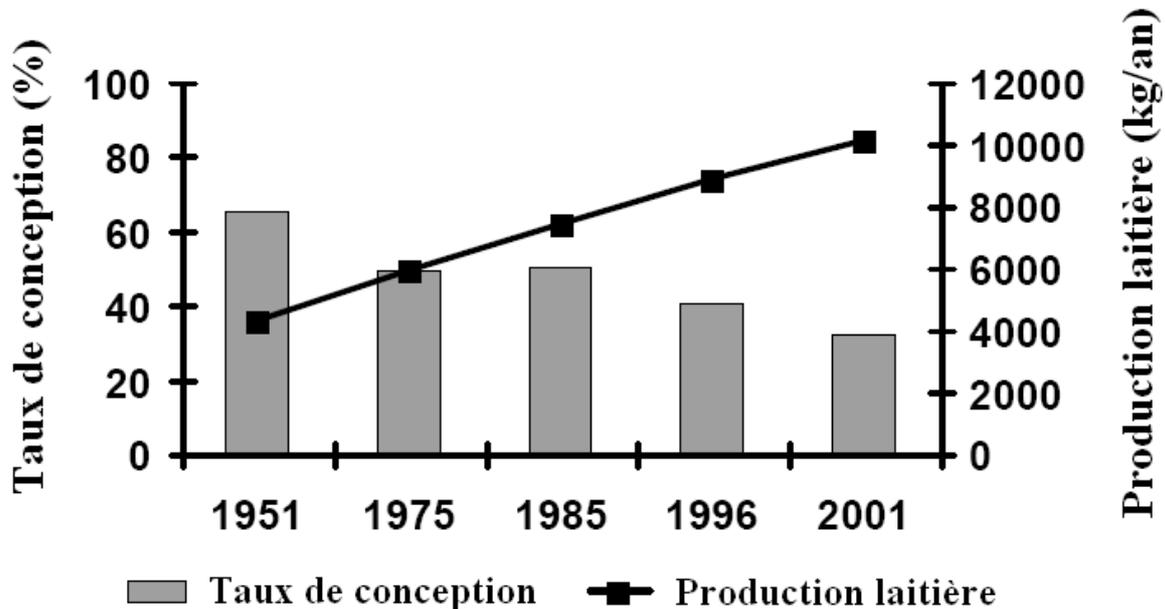


Figure 22 : Evolution du TRIA1 en race Prim'Holstein (d'après BOICHARD *et al.*, 2002).

## B. Production laitière et fertilité

Une intense sélection génétique basée principalement sur les caractères de production, les progrès dans l'alimentation des animaux et l'amélioration technique dans la conduite d'élevage a permis une progression spectaculaire de la production laitière bovine.

Ainsi, la production par lactation et par vache a augmenté de près de 20 % de 1980 à 2000 aux Etats-Unis [LUCY, 2001]. Sur la même période, les indices de reproduction se sont eux détériorés.



**Figure 23 : Evolutions de la production laitière annuelle et du taux de conception en race Prim'Holstein aux Etats-Unis (d'après BUTLER *et al.*, 1989).**

Alors que la production laitière augmente avec le rang de lactation, on constate que le taux de conception décline avec l'âge : de plus de 65% chez la génisse, il diminue à 51 % chez les primipares et chute à 35-40% chez les multipares [BUTLER, 2005b].

### 1) Relation génétique entre fertilité et production

Il existe clairement une relation génétique négative entre production laitière et reproduction [HANSEN, 2000].

L'opposition entre taux de réussite et production dépend fortement de la durée de lactation considérée. A partir du 4ème mois, la gestation a un effet dépressif croissant et marqué sur la lactation. D'autre part, la durée de lactation des vaches fécondées précocement, limitée par la fin de la gestation, est généralement inférieure à 305 jours, ce qui induit une opposition artificielle et forte entre fertilité et production de référence. L'opposition réelle entre fertilité et production doit donc être estimée en début de lactation, à partir des 3 ou 4 premiers contrôles laitiers.

Même dans ces conditions, la littérature est assez homogène et la corrélation génétique est négative, modérée à forte selon les auteurs. Les estimations obtenues sur les populations récentes sont assez modérées, de l'ordre de -0,3 [BOICHARD *et al.*, 1998].

	Prim'Holstein	Normande	Montbéliarde
Quantité de lait	-0,32	-0,11	-0,32
Quantité de matière grasse	-0,29	-0,08	-0,35
Quantité de matière protéique	-0,25	-0,11	-0,35

**Tableau 6 : Estimations des corrélations génétiques entre taux de réussite et production laitière chez les trois principales races laitières françaises (d'après BOICHARD *et al.*, 1998).**

Sur la base de ces estimations, on peut penser que l'opposition entre production et fertilité s'est traduite par une dégradation d'environ -0,3 à -0,5 point de réussite chaque année sous l'effet de la sélection laitière.

Par ailleurs, les estimations sur les mêmes populations françaises montrent que la production en 100 jours semble génétiquement indépendante de l'intervalle mise bas-1<sup>ère</sup> IA en races Normande et Montbéliarde, tandis qu'un léger antagonisme est observé en race Holstein, plus marqué pour les quantités de lait (0,21) et de matière grasse (0,17) que pour la matière protéique (0,08). Avec ces paramètres, on peut supposer que l'intervalle mise bas-1<sup>ère</sup> IA s'est allongé de +0,3 jour par an en race Holstein.

## 2) Relation phénotypique entre fertilité et production

Les corrélations phénotypiques sont toujours plus faibles que les corrélations génétiques. Les valeurs apparemment très faibles, de l'ordre de -0,05, sont dues essentiellement au caractère très aléatoire du résultat de chaque IA prise individuellement, mais elles traduisent cependant une opposition intra race bien réelle estimée à -1 point de réussite en première insémination pour 300 à 400 kg de lait en plus par lactation [BOICHARD *et al.*, 1998].

D'après HERY *et al.* (1995), la probabilité de retour après insémination première est liée à la quantité de lait produite lors des premiers contrôles laitiers (en termes de niveau et d'évolution). Pour ESPINASSE *et al.* (1998), le niveau de production laitière en début de lactation pénalise le TRIA1 chez les multipares.

La production laitière apparaît comme un facteur de risque fort d'une cyclicité anormale [DISENHAUS *et al.*, 2002]. Elle serait reliée négativement au retour à une cyclicité normale, davantage chez les vaches multipares que chez les primipares [TAYLOR *et al.*, 2004].

La production laitière à l'IA présente une influence significative sur la mortalité embryonnaire tardive, plus fréquente chez les fortes productrices [GRIMARD *et al.* 2005], tant en race Normande qu'en race Prim'Holstein [MICHEL *et al.*, 2003].

Dans une étude portant sur 6805 troupeaux Prim'Holstein, il apparaît que les courbes de lactation à pic apparent tardif (> 60 jours) ressortent comme pénalisantes pour la fertilité, aussi bien en IA1 qu'en IA2, tout particulièrement si ce pic est élevé (>38 kg chez les multipares) [SEEGERS *et al.*, 2005].

Une production laitière augmentée en début de lactation est négativement corrélée avec l'expression des chaleurs à la première ovulation [HARRISON *et al.*, 1990 ; WESTWOOD *et al.*, 2002].

Cette relation négative entre production laitière et fertilité n'est pas toujours retrouvée : ainsi, LOPEZ-GATIUS *et al.* (2006), dans une étude rétrospective portant sur 2756 gestations chez des vaches laitières hautes productrices, ont pu établir que les vaches les plus fertiles (fécondées avant le 90<sup>ème</sup> jour de lactation) produisaient davantage de lait (49,5 kg au 50<sup>ème</sup> jour *postpartum*) par rapport aux autres vaches (43,2 kg). DOMEQ *et al.* (1997a) observent une association positive entre TRIA1 et une forte production laitière cumulée à 120 jours.

HARRISON *et al.* (1990) ne retrouvent pas d'antagonisme entre le niveau de production laitière et la reprise de l'activité ovarienne, de même pour l'achèvement de l'involution utérine.

Pour NEBEL *et al.* (1993), l'IV-IF et l'IV-IA1 d'un troupeau sont d'autant plus faibles que la production laitière y est forte.

Finalement, les effets d'une augmentation de la production de lait sur la reproduction semblent relativement faibles par rapport à ceux d'autres facteurs. Ainsi, la saison de vêlage et surtout les pathologies en *postpartum* sont apparues significativement plus influentes sur la reproduction que la production laitière elle-même [GROHN *et al.*, 2000]. Pour EICKER *et al.* (1996), l'impact de la production laitière sur la fertilité est mineure par rapport à celui de la conduite d'élevage (en particulier les réformes) et des pathologies (métrites, mammites,...). Toutefois, l'impact *a priori* modeste de la production laitière sur les performances de reproduction reste important car elle concerne l'ensemble des vaches d'un troupeau, contrairement aux maladies qui n'en affectent qu'un petit nombre.

Selon LUCY (2003), l'influence faible d'une forte production laitière sur la fertilité reflète probablement l'importance du niveau de technicité de l'éleveur et l'amélioration de la conduite d'élevage. Une meilleure gestion de l'alimentation ainsi que du confort et de l'environnement d'un troupeau de vaches laitières, lorsque celles-ci sont hautes productrices, compensent finalement les effets intrinsèques négatifs de la production laitière sur les performances de reproduction.

### 3) Influence de la composition du lait

Les inséminations réalisées en dehors de la période d'ovulation sont associées à des animaux présentant un faible écart TB – TP [MICHEL *et al.*, 2003].

HERY *et al.* (1995) ne trouvent pas de lien entre la probabilité de retour après IA1 et les taux protéiques et butyreux. ESPINASSE *et al.* (1998) constatent que les primipares et les multipares dont le plus petit taux protéique mesuré sur les trois premiers contrôles laitiers a été inférieur à 26 g/kg ont un TRIA1 significativement plus faible que les vaches dont le même taux était supérieur ou égal à 2.

Les vaches à déficit énergétique *postpartum* marqué démarrent une lactation avec des taux butyreux élevés, qui décroissent ensuite vers des valeurs plus basses que les taux butyreux moyens. Il est suggéré que le TB soit utilisé comme indicateur de la balance énergétique en début de lactation, la décroissance du TB étant fortement corrélée à l'intensité du pic de déficit énergétique [DE VRIES *et al.*, 2000].

## ***C. Aspects physiologiques et physiopathologiques de la reproduction et de la fertilité des vaches laitières contemporaines***

### *1) Reprise de l'activité ovarienne postpartum*

Dans l'ensemble des études récentes [OPSOMER *et al.*, 1996 ; PHILIPOT *et al.*, 2001], l'inactivité ovarienne *postpartum* au delà de 50 jours concerne 10 à 15 % des vaches.

Ainsi, pour plus de 85 % des vaches, le premier corps jaune cyclique apparaît avant 50 jours *postpartum*. Le premier corps jaune cyclique apparaît en moyenne à 28 jours *postpartum*, avec une très large variabilité (de 14 à 70 jours).

En moyenne, l'inactivité *postpartum* reste plus fréquente que 20 ans auparavant, où elle touchait 5 à 10 % des vaches. Elle ne semble pas être la principale cause d'augmentation du délai de mise à la reproduction [DISENHAUS, 2004].

### *2) Anomalies de reprise de la cyclicité après vêlage*

#### *a) Identification et fréquence des anomalies de la reprise de cyclicité postpartum*

La réalisation de dosages fréquents de progestérone plasmatique ou dans le lait (2 à 3 fois par semaine) permet de suivre le profil de rétablissement de l'activité sexuelle cyclique après le vêlage.

Un cycle est jugé normal lorsque l'intervalle entre deux ovulations est compris entre 18 et 24 jours, ce qui correspond à des durées de six à sept jours pour la phase folliculaire et de quatorze à quinze jours pour la phase lutéale [ROYAL *et al.*, 2000].

Chez la vache laitière haute productrice, différents types d'anomalies de la reprise de cyclicité *postpartum* ont été identifiés :

- Une **inactivité prolongée**, c'est à dire une reprise d'activité différée. Le premier signe d'activation lutéale apparaît entre 45 et 50 jours ;
- Une **cessation d'activité** après une première ovulation (interruption de la sécrétion de la progestérone pendant 12 à 14 jours au moins) ;
- Une **phase lutéale courte** (sécrétion de progestérone pendant moins de dix jours).
- Une **phase lutéale prolongée** (corps jaune persistant) avec une sécrétion de progestérone pendant plus de 19 à 28 jours (selon les auteurs) ;
- Enfin des **profils irréguliers**, non classables parmi les catégories précédentes.

Dans plusieurs études récentes portant sur des vaches de race Prim'Holstein, le pourcentage de vaches présentant des profils de reprise d'activité lutéale *postpartum* jugés normaux varie de 45 à 70 % environ [DISENHAUS, 2004 ; KERBRAT *et al.*, 2000 ; LAMMING *et al.*, 1998 ; ROYAL *et al.*, 2000 ; SHRESTHA *et al.*, 2004 ].

Selon les mêmes auteurs, les deux anomalies les plus fréquemment rencontrées sont les phases lutéales prolongées (de 12 à 35 % des vaches) et l'inactivité prolongée (10 à 24 %). L'interruption de cyclicité apparaît plus rare (jusqu'à 13 %) et la fréquence des phases

lutéales courte est faible (moins de 5 %). Ces dernières, suivant les études, peuvent ne pas être recensées car considérées comme normales quand elles interviennent après la première ovulation.

Une évolution de la fréquence des anomalies du cycle oestral *postpartum* est illustrée par de nombreux travaux. Ainsi, ces anomalies ont été comparées dans deux populations de vaches laitières à vingt années d'intervalle. Si la fréquence de l'inactivité prolongée a peu évolué au cours des dernières décennies, celles des phases lutéales prolongées a fortement augmenté, accompagnée d'une diminution du TRIA1 [ROYAL *et al.*, 2000].

	2503 lactations de 1975 à 1983	714 lactations de 1995 à 1998
Inactivité ovarienne à 45 jours <i>postpartum</i>	10,9 %	12,9 %
Cessation d'activité de plus de 12 jours	12,9	10,6
Phase lutéale prolongée au 1er cycle <i>postpartum</i>	7,3	<b>18,2</b>
Phase lutéale prolongée au 2ème cycle	6,4	<b>16,8</b>
Cycles normaux	68,3	<b>56,3</b>
<b>TRIA1</b>	55,6	39,7

**Tableau 7 : Fréquence des anomalies du cycle oestral dans 2 populations de vaches laitières à vingt ans d'intervalle (d'après ROYAL *et al.*, 2000).**

*Les valeurs sont indiquées en pourcentage. Les valeurs de la seconde période en gras sont celles présentant une différence significative ( $p < 0,05$ ) par rapport à celles de la première période.*

b) Facteurs de risque des anomalies de la cyclicité

- Inactivité prolongée :

L'intervalle vêlage-première ovulation est plus long chez les primipares que chez les multipares [OPSOMER *et al.*, 1998].

La saison aurait également une influence sur le risque d'anoestrus *postpartum*, les vaches vêlant avant le solstice d'été présentant un intervalle vêlage-première ovulation plus long [OPSOMER *et al.*, 2000].

Le déficit énergétique en début de lactation favorise également la prolongation de l'inactivité ovarienne [OPSOMER *et al.*, 2000 ; SHRESTHA *et al.*, 2004 ; TAYLOR et 2003 ; TOUZE *et al.*, 2004], celle-ci étant associée à de faibles taux protéiques du lait et à de faibles taux plasmatiques d'IGF-1 [TAYLOR *et al.*, 2003] et, de façon moins constante, à de faibles glycémies et insulïnémies en début de lactation.

Les maladies du *postpartum* (métrite, mammite, boiterie sévère, acétonémie,...) contribuent à accentuer ce déficit, favorisant l'inactivité prolongée par une diminution de l'ingestion.

- Phase lutéale prolongée :

Elles sont plus souvent rencontrées après les premiers cycles qu'après les suivants : de 25 % au premier cycle suivant le vêlage à 15 au troisième ou quatrième cycle [ROYAL *et al.*, 2000], en accord avec l'association fréquente de corps jaunes persistants avec une première ovulation très précoce [OPSOMER *et al.*, 2000 ; TOUZE, 2004].

Le risque de phases lutéales prolongées apparaît augmenté lors de dystocie ou de pathologies génitales *postpartum* (mauvaise involution utérine, non-délivrance, métrite,...), en relation avec l'incapacité de l'utérus à synthétiser en quantité suffisante les prostaglandines lutéolytiques [OPSOMER *et al.*, 1998 ; SHRESTHA *et al.*, 2004 ; TAYLOR *et al.*, 2003].

Un bilan énergétique faible pendant les toutes premières semaines de lactation semble aussi jouer un rôle dans l'apparition de phase lutéale prolongée [DISENHAUS, 2004 ; SHRESTHA *et al.*, 2004].

La diminution artificielle de la production laitière des vaches d'un lot (en les soumettant à une traite unique par jour) au cours des 3 premières semaines *postpartum* a montré que seulement 5% des vaches traitées une seule fois présentaient une phase lutéale prolongée (contre 20 % des vaches traitées 2 fois par jour). La production laitière elle-même (à différencier du potentiel laitier des vaches) aurait donc un effet sur la fréquence des phases lutéales prolongées [DISENHAUS *et al.*, 2002].

- Cyclicité interrompue :

Les facteurs de risque de cette anomalie, moins fréquente, sont rarement étudiés. Le déficit énergétique, largement invoqué lors d'inactivité ovarienne prolongée, serait logiquement associé à l'interruption de cyclicité après une première ovulation.

- Phase lutéale courte :

Les phases lutéales courtes sont significativement plus fréquentes après la première ovulation qu'après les suivantes : d'environ 27 % après le premier cycle, elles chutent à 9,8 % après le troisième [ROYAL *et al.*, 2000]. Ces cycles sont d'autant plus courts qu'ils commencent tôt après le vêlage.

#### c) Effets sur les performances de reproduction

Les anomalies de reprise de la cyclicité avant la mise à la reproduction sont associées dans de nombreuses études à une dégradation des performances de reproduction.

L'IV-IA1 apparaît généralement augmenté chez les vaches à la cyclicité anormale par rapport aux vaches normales [SHRESTHA *et al.*, 2004]. Cette différence trouve son explication par l'absence de détection des chaleurs en début de période de mise à la reproduction pour les vaches qui présentent une reprise d'activité différée ou un corps jaune persistant [GRIMARD *et al.*, 2005].

La fertilité, mesurée par le TRIA1, est plus faible chez les vaches au profil anormal [SHRESTHA *et al.*, 2004]. Divers facteurs peuvent expliquer cette différence :

- La durée du cycle précédant l'IA1 : lorsque ce cycle est court ou long par rapport à la durée jugée normale, une baisse du TRIA1 est observée [ROYAL *et al.*, 2000] ;
- Le rang d'ovulation, plus élevé chez les vaches normales au moment de la première insémination [GRIMARD *et al.*, 2005] ;
- La mortalité embryonnaire tardive, plus fréquente après une phase lutéale prolongée qu'après un cycle normal [LAMMING *et al.*, 1998].

Il en résulte, lors de profil anormal, un allongement de l'IV-IF [SHRESTHA *et al.*, 2004]. D'autre part, les anomalies de cyclicité entraînent des coûts supplémentaires, par l'utilisation plus fréquente de traitements hormonaux [ROYAL *et al.*, 2000].

**Les profils anormaux de reprise d'activité ovarienne *postpartum* concernent 30 à 50 % des vaches laitières. L'augmentation de l'incidence des dysfonctionnements ovariens au cours des dernières décennies pourrait expliquer en partie la diminution des performances de reproduction des vaches laitières hautes productrices.**

### 3) *Détection et expression des chaleurs*

On constate une dégradation nette des conditions d'observations correctes de l'œstrus de mise à la reproduction de la vache laitière. Si la diminution du temps passé à la détection des chaleurs constitue un facteur de risque de l'allongement de l'IVIA1 et de la réussite de l'insémination, l'augmentation de la fréquence des profils anormaux de cyclicité diminue également le nombre d'animaux potentiellement en chaleurs.

La durée raccourcie et l'expression plus fruste de celles-ci contribuent également à la difficulté de leur détection.

La fréquence de l'absence de détection ou d'expression des chaleurs aujourd'hui semble toutefois élevée même chez les femelles présentant un profil de progestérone normal [FRERET *et al.*, 2005].

#### a) Effet du profil d'activité cyclique sur la qualité de détection des chaleurs de mise à la reproduction

Il apparaît que la détection des chaleurs peut être correctement réalisée pour près de 80 % des vaches normalement cyclées depuis le vêlage [KERBRAT *et al.*, 2000]. Cette proportion est significativement inférieure pour les autres vaches : malgré l'attention particulière portée à la détection, lorsque l'activité cyclique est irrégulière ou retardée, la détection des chaleurs de mise à la reproduction ne peut être réalisée que pour une vache sur deux [DISENHAUS, 2004].

Cette moindre détection des vaches dont la cyclicité se rétablit après 50 jours est cohérente avec l'expression de l'œstrus plus faible au cours de la première ovulation, à la fois en terme de nombre d'acceptations du chevauchement et de durée de ces acceptations [VILLA-GODOY, 1990].

Les diverses études menées par les centres d'inséminations évaluent autour de 10 % le pourcentage de vaches pour lesquelles l'inséminateur est appelé alors qu'elles ne sont pas en période péri-ovulatoire (col fermé et/ou absence de glaire cervicale ou glaires cassantes).

En cohérence avec une recherche minutieuse des chaleurs, le pourcentage de faux positifs (vaches déclarées en chaleurs lorsqu'elles étaient en phase lutéale) peut être plus élevé, de l'ordre de 14 %, ce pourcentage étant significativement plus important (30%) pour les vaches ayant présenté une cyclicité anormale avant la mise à la reproduction [DISENHAUS, 2004]. Ce dernier résultat apparaît préoccupant au regard de l'augmentation de l'incidence de ces irrégularités de cycle.

#### b) Evolution de l'expression des chaleurs

Par définition, l'œstrus est l'ensemble des modifications comportementales précédant et/ou accompagnant l'ovulation. L'acceptation du chevauchement reste le signe le plus

spécifique (il n'est jamais observé en dehors de l'œstrus). Son observation systématique permet la détection d'environ 60% des chaleurs.

L'observation des autres comportements sexuels, comme le « poser de menton sur la croupe », le « renifler/lécher la vulve » et le « frotter le menton sur la croupe », lorsqu'ils sont initiés par la vache (et non reçus), peut être également considérée comme spécifique des chaleurs si cette observation est répétée.

Alors que deux pics quotidiens d'expression de l'acceptation du chevauchement sont mis en évidence (entre 3 et 4 heures du matin et entre la traite et l'ouverture des cornadis le matin), la répartition circadienne des comportements sexuels secondaires initiés apparaît davantage étalée. Ces comportements sexuels pourraient faciliter la détection des chaleurs dans les troupeaux où les vélages sont très étalés, c'est à dire lorsqu'il n'y a pas plusieurs vaches en chaleurs simultanément.

D'après des données de différents centres d'insémination, l'inséminateur serait appelé par les éleveurs laitiers pour 25 à 45% de vaches pour lesquelles l'acceptation du chevauchement n'a pas été observée [DISENHAUS, 2004].

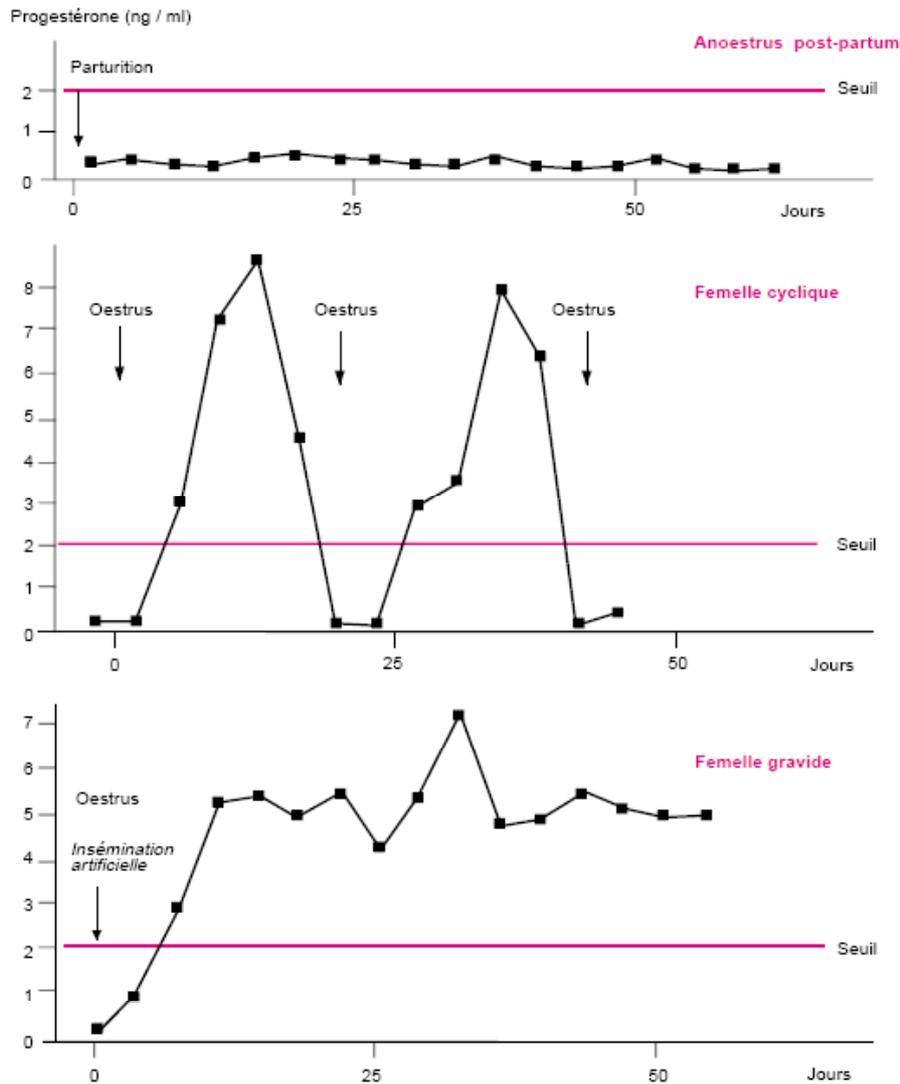
La durée de l'œstrus reste difficile à déterminer. Selon sa définition classique (intervalle de temps compris entre la première et la dernière acceptation du chevauchement), sa valeur moyenne a diminué au cours des trente dernières années de 18 à 14 heures environ [VAN EERDENBURG *et al.*, 1996].

#### 4) *Mortalités embryonnaires précoce et tardive*

La progestérone est indispensable à l'établissement et au maintien de la gestation. En début de gestation chez la vache, une augmentation de la concentration de progestérone circulante suffisamment tôt permet, grâce aux modifications de l'environnement utérin, un développement optimal de l'embryon et ainsi une production d'interféron  $\tau$  satisfaisante pour inhiber le mécanisme de lutéolyse due à la  $PGF_{2\alpha}$ .

##### a) Détermination des différentes situations après insémination

L'estimation des niveaux de progestérone plasmatique, sérique, ou encore dans le lait, est un outil performant pour l'établissement de diagnostics de non gravidité et l'analyse de l'état physiologique des femelles chez les bovins [THIMONNIER, 2000].



**Figure 24 : Evolution des niveaux de progestérone plasmatique périphérique pendant l'anoestrus, au cours du cycle et au début de la gestation chez la vache (d'après THIMONNIER, 2000).**

La détermination de la situation physiologique des femelles après insémination peut être étudiée par le dosage de la progestérone le jour de l'IA (J0) et à J21-J24, le dosage de la PSPB (protéine bovine spécifique de la gestation) dans le sang vers J30-J35, l'observation d'éventuels retours en chaleurs puis ultérieurement par la palpation abdominale transrectale servant à confirmer la gestation [PINTO et al., 2000].

Les vaches qui ne sont pas fécondées ne peuvent être distinguées des vaches à mortalité embryonnaire précoce : il n'existe pas à ce jour de moyen diagnostique de ce type de mortalité embryonnaire. Celle-ci correspond à la perte de l'embryon avant qu'il n'ait donné le signal du maintien du corps jaune. La lutéolyse n'est alors pas différée et la longueur du cycle s'en trouve inchangée, si bien que l'on observe un retour en chaleurs 18 à 24 jours après IA.

Les cas de mortalité embryonnaire tardive concernent les pertes embryonnaires au delà des 16 jours suivant l'insémination, nécessaires au début de l'inhibition de la lutéolyse par l'embryon. La lutéolyse est finalement retardée et l'on observe alors des retours en chaleurs décalés, au delà du 25<sup>ème</sup> jour après IA.

## b) Fréquence des différentes situations après IA

Dans une enquête réalisée à partir d'un effectif de près de 1400 vaches laitières Prim'Holstein, la fréquence des vaches gestantes pour les IA de rang 1 a été de 43 %, semblable à celle des rangs d'insémination plus élevés. Les proportions de vaches non fécondées ou à mortalité embryonnaire précoce et à mortalité embryonnaire tardive ont été respectivement de 31,6% et de 14,7% au rang 1, celles inséminées au mauvais moment de moins de 5% [PINTO *et al.*, 2000].

Ces résultats sont en accord avec une étude récente réalisée en région Rhône-Alpes portant sur 314 vaches Prim'Holstein : le taux de gestation à 35 jours a été de 47,8 %, les incidences de non-fécondation ou mortalité embryonnaire précoce et mortalité embryonnaire tardive respectivement de 36,4 et 25,3% [FRERET *et al.*, 2005]

Concernant les retours en chaleurs, 6,5 % d'entre eux ont été observés avant 17 jours, 37,4 % entre 18 et 24 jours et 56 % à partir de 25 jours (aucun effet du rang d'insémination n'a été remarqué sur cette répartition) [PINTO *et al.*, 2000].

Pour BARBAT *et al.* (2005), la dégradation de la fertilité s'explique sans doute en partie par un accroissement de la mortalité embryonnaire et fœtale. L'étude des intervalles entre IA montre que le pourcentage de retours après 24 jours est en augmentation et traduit probablement plus de mortalités embryonnaires tardives, et aussi des difficultés de détection des chaleurs [BARBAT *et al.*, 2005 ; LE MEZEC *et al.*, 2005].

## c) Facteurs de variations du taux de gestation et de mortalité embryonnaire

En relation avec une diminution de la fréquence des mortalités embryonnaires tardives pour les IA après 70 jours *postpartum*, une augmentation du taux de gestation est constatée avec l'allongement de l'IVIA1.

Toutefois, ces effets du délai de mise à la reproduction sont observés en interaction avec le niveau de production laitière, elle-même en interaction forte avec l'état d'entretien au moment de l'IA : chez les fortes productrices (pic de production  $\geq 39$  kg), ce taux est significativement plus élevé pour les IA réalisées après 90 jours. Cet effet n'est pas observé chez les femelles produisant moins de lait : le taux de gestation apparaît stable quel que soit le moment auquel elles sont inséminées [PINTO *et al.*, 2000].

Le rang de lactation influence également le taux de gestation, par une augmentation des deux types de mortalité embryonnaire [PINTO *et al.*, 2000].

L'effet marqué de l'index économique laitier (INEL) s'exprime essentiellement par une augmentation du taux de vaches non fécondées ou à mortalité embryonnaire précoce [PINTO *et al.*, 2000].

La race a une influence significative sur la mortalité embryonnaire tardive, plus fréquente en race Prim'Holstein qu'en Normande [MICHEL *et al.*, 2003].

Les taux de non-fécondation ou mortalité embryonnaire précoce et de mortalité embryonnaire tardive les plus faibles et le taux de gestation le plus élevé sont retrouvés lorsque le profil de cyclicité est normal [FRERET *et al.*, 2005].

Les tarissements durant de 55 à 75 jours sont associés à moins de non-fécondation ou mortalité embryonnaire précoce [MICHEL *et al.*, 2003].

Un intervalle détection des chaleurs-IA court augmente l'incidence de non-fécondation ou mortalité embryonnaire précoce [MICHEL *et al.*, 2003].

Le stress thermique constitue un autre facteur de risque de mortalité embryonnaire précoce : de fortes températures extérieures pendant la période péri-implantatoire compromettent la survie de l'embryon [GARCIA-ISPIERTO *et al.*, 2005].

## II. PROFILS D'ETAT CORPOREL POSTPARTUM, BALANCE ENERGETIQUE ET FERTILITE

### A. Relation entre la perte d'état corporel postpartum et les performances de reproduction

Dans de nombreuses études, le déficit énergétique a souvent été apprécié à travers l'amaigrissement des vaches en début de lactation, grâce à la notation de l'état corporel.

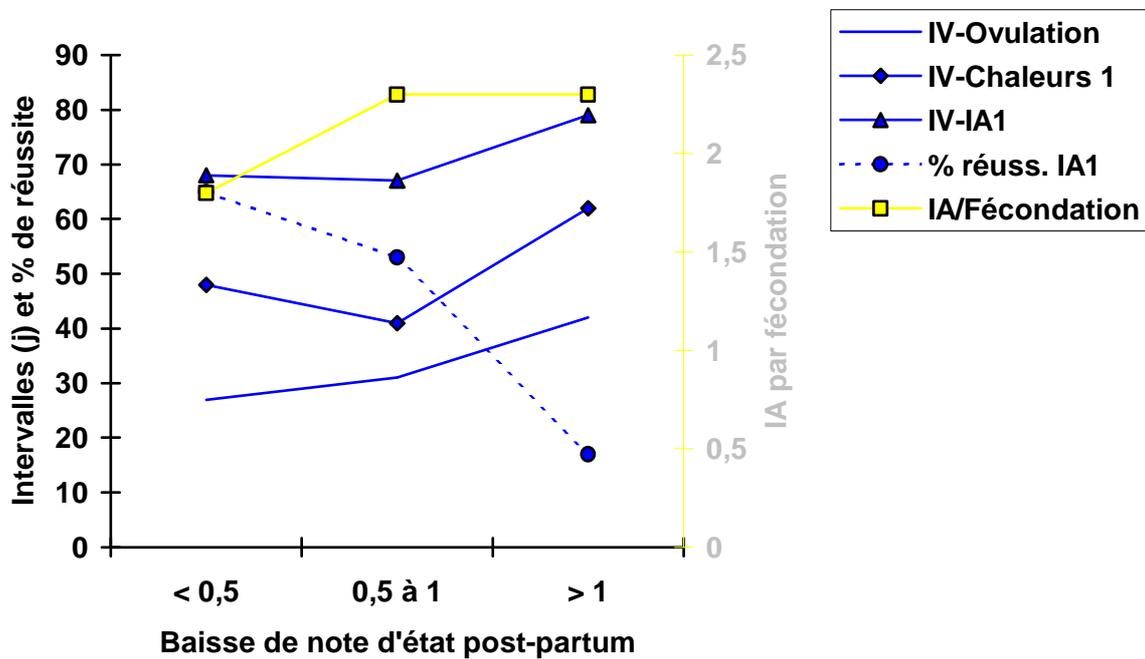
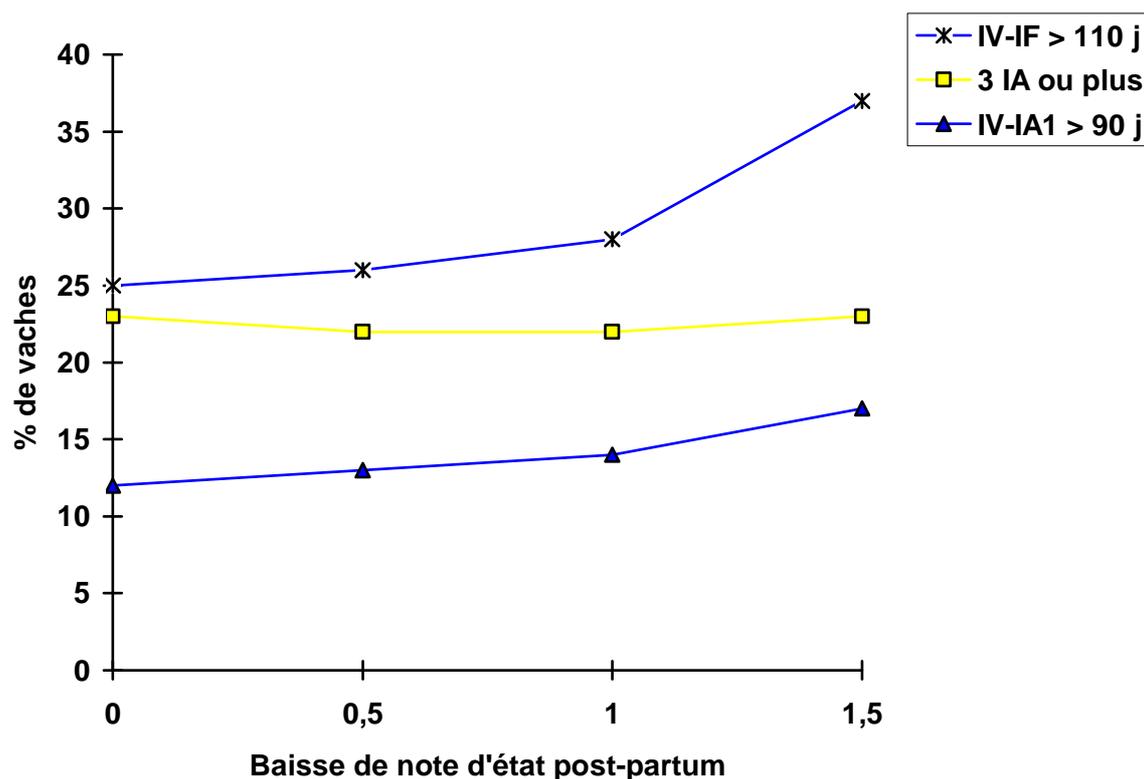


Figure 25 : Relations entre perte d'état corporel post-partum et performances de reproduction (d'après BUTLER *et al.*, 1989).



**Figure 26 : Relations entre perte d'état corporel *postpartum* et performances de reproduction (d'après EDE Bretagne, Pays de Loire, 1985).**

Une tendance générale vers une détérioration des performances de reproduction est observée lorsque la perte d'état corporel après vêlage s'accroît.

Pour PRYCE et al. (2001), les vaches qui perdent de l'état, celles qui sont plus maigres à la 10<sup>ème</sup> semaine et au delà, affichent une dégradation de leurs performances de reproduction.

La perte d'état corporel au cours du 1<sup>er</sup> mois *postpartum* est associée à une diminution du taux de réussite à l'insémination [DOMECQ et al., 1997a] : les vaches perdant 0,4 et 0,8 points durant le 1<sup>er</sup> mois de lactation ont un TRIA1 inférieur en valeur relative de 14,5 % et de 26,5 % respectivement par rapport aux vaches ne perdant pas de note d'état au cours de la même période. Pour BUTLER (2005b), chaque demi-point de note d'état corporel perdu est associé à une baisse de 10% du taux de conception.

Globalement, lorsque la perte d'état n'excède pas 1 point, sur une échelle de notation de 0 à 5, l'influence de l'amaigrissement sur les performances de reproduction reste modeste. Au-delà, l'effet devient important [BUTLER *et al.*, 1989].

Les animaux présentant un profil de note d'état corporel constamment inférieur de près de 1,5 point au profil optimal, ou dont la perte d'état entre le vêlage et le 30<sup>ème</sup> jour *postpartum* est supérieure à 1,5 point, présentent un IVIA1 augmenté de près d'une vingtaine de jours. A 110 jours de lactation, la probabilité de fécondation est inférieure de 15 points par rapport à celle du profil optimal [TILLARD *et al.*, 2003].

Des corrélations positives significatives ont été démontrées entre les durées des intervalles vêlage-reprise de l'activité ovarienne, vêlage-première insémination, vêlage-conception et le degré de mobilisation des réserves corporelles [BENAICH *et al.*, 1999].

Le TRIA1 apparaît significativement inférieur (d'environ 10%) chez les vaches mettant bas avec une note d'état corporel insuffisante (<2,5) [LOPEZ-GATIUS *et al.*, 2003].

Les femelles dont la note d'état est supérieure à 3,5 au vêlage ou à la première insémination présentent un IV-IF significativement réduit par rapport aux autres animaux au même stade [LOPEZ-GATIUS *et al.*, 2003].

Une perte sévère d'état corporel (au delà de 1 point) en début de lactation semble reliée à une augmentation significative de l'IV-IF (+ 10,6 jours), ce qui n'est pas le cas lors de variation faible (de 0 à 0,5 point gagné ou perdu) ou modérée ( $\pm 0,6$  à 1 point) de la note d'état durant cette même période [LOPEZ-GATIUS *et al.*, 2003].

## B. Déficit énergétique et cyclicité ovarienne postpartum

La première ovulation peut survenir alors que le déficit énergétique est encore très important, tout en étant plus tardive chez les vaches dont le bilan énergétique reste longtemps très négatif.

Plus précisément, le moment auquel intervient un éventuel pic de déficit énergétique a une importance capitale dans la reprise d'une activité ovarienne normale. Il existe une corrélation forte ( $r=0,75$ ) entre l'intervalle vêlage-première ovulation et l'intervalle vêlage-pic de déficit énergétique [CANFIELD *et al.*, 1990]. Cette corrélation est retrouvée par BEAM *et al.* (1997), qui rapportent une augmentation significative de la production d'œstradiol chez les follicules dominants émergeant après le déficit énergétique, ces follicules ayant une probabilité plus forte d'ovuler.

Le pic de déficit énergétique intervient en moyenne 10 à 15 jours après le vêlage. Dans plusieurs études, la première ovulation s'est produite elle-même 10 à 14 jours après le pic de déficit énergétique [CANFIELD *et al.*, 1990 ; CANFIELD *et al.*, 1991].

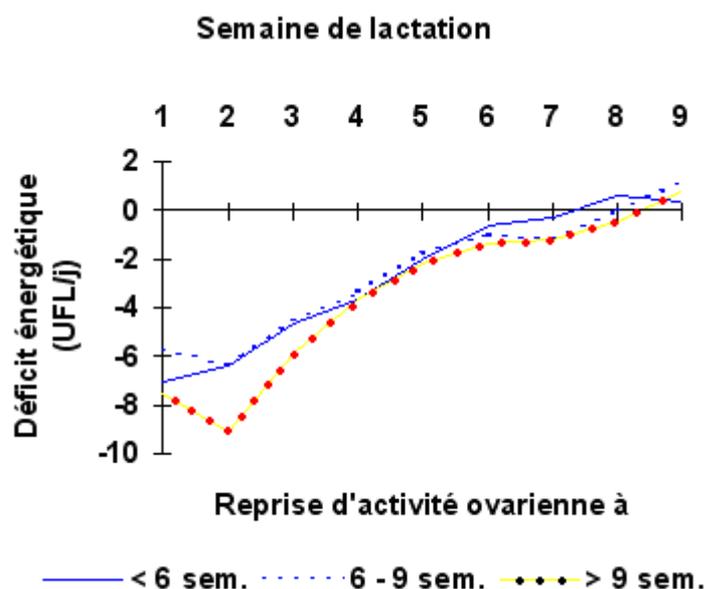


Figure 27 : Effet du déficit énergétique sur la reprise d'activité ovarienne (STAPLES *et al.*, 1990).

En comparant l'évolution de la balance énergétique chez des vaches, il ressort que la différence entre les animaux à reprise précoce d'activité ovarienne et ceux à reprise tardive tient davantage à l'existence d'un pic de déficit énergétique et à son intensité qu'à l'importance globale du déficit [DE VRIES *et al.*, 2000 ; STAPLES *et al.*, 1990 ; ZUREK *et al.*, 1995] ; d'autre part, un fort décalage dans le temps existe entre ce pic et l'absence de reprise d'activité ovarienne : le pourcentage de vaches non cyclées chez les vaches ayant davantage mobilisé leurs réserves corporelles, en intensité et en durée, au début de la lactation, est significativement supérieur 2 à 3 mois après le vêlage [FORMIGONI *et al.*, 1996].

Une perte d'état supérieure à 0,5 point au cours des 30 premiers jours *postpartum* est associé avec une probabilité d'ovulation avant 50 jours inférieure à 50 %, contre plus de 80 % pour les vaches dont la perte d'état est inférieure à 0,5. L'infertilité de ces vaches est d'autant plus importante que leur retard à l'ovulation les prédispose à une probabilité de fécondation plus faible : une vache ovulant après J<sub>50</sub> aura 50 % de chances d'être gestante à 200 jours [BUTLER, 2005b].

Dans une étude portant sur les profils métaboliques et l'activité cyclique sur des vaches primipares, les animaux à inactivité ovarienne prolongée ont perdu davantage de note d'état corporel *postpartum* que les vaches à la cyclicité normale [TAYLOR *et al.*, 2003].

A 5, 9 et 11 semaines *postpartum*, la note d'état corporel des vaches dont la première ovulation est retardée est inférieure à celle des vaches dont le cycle est normal ou à phase lutéale prolongée [SHRESTHA *et al.*, 2005]. Dans la même étude, il apparaît que les vaches perdant plus d'un point de note d'état voient leur reprise d'activité lutéale retardée et présentent un risque augmenté d'inactivité ovarienne.

Les profils de cyclicité anormaux se rencontrent davantage chez des vaches qui étaient en bon état d'engraissement au vêlage et qui ont beaucoup maigri dans les 2 premiers mois *postpartum* [DISENHAUS *et al.*, 2002].

**Une balance énergétique négative affecte la fertilité de la vache laitière principalement en retardant le délai de la première ovulation *postpartum*, la reprise précoce de l'activité ovarienne étant un facteur majeur de la réussite à l'insémination.**

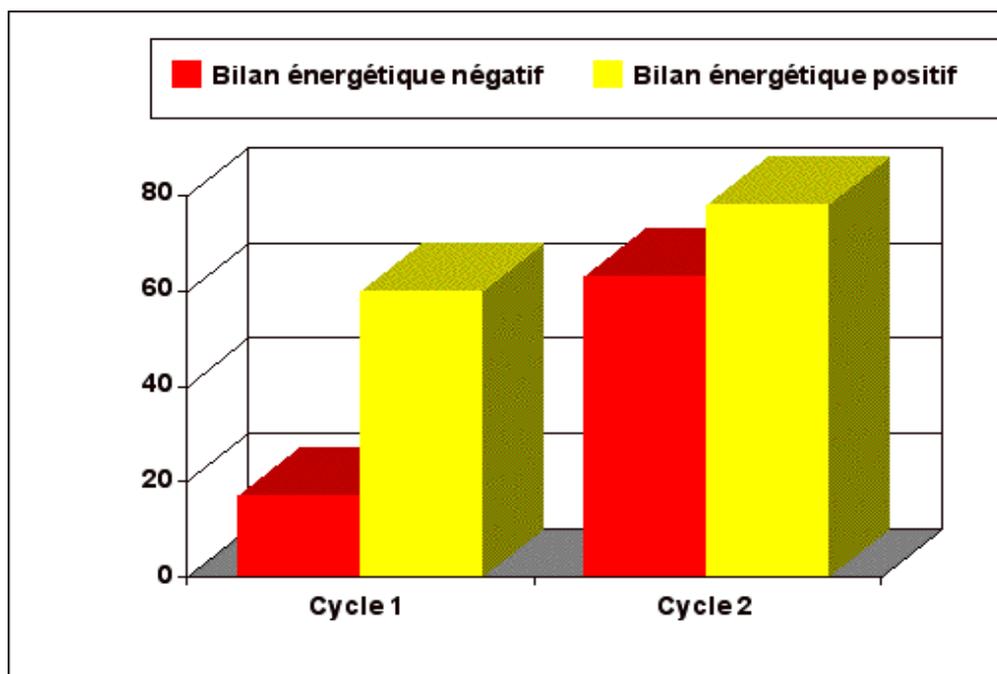
### C. Déficit énergétique et mortalité embryonnaire

Pour VILLA-GODOY *et al.* (1988), la progestéronémie augmente du 1<sup>er</sup> au 3<sup>ème</sup> cycle ovulatoires *postpartum* avec une augmentation moins forte chez les vaches au déficit énergétique plus marqué, et ce relatif défaut hormonal pourrait limiter les chances de survie de l'embryon. D'autre part, l'activité hépatique augmentée exacerbe ce déficit de progestérone par un catabolisme accru de cette hormone lors de balance énergétique négative.

La perte d'état corporel entre 0 et 60 jours *postpartum* semble liée au profil de cyclicité et au taux de non-fécondation ou mortalité embryonnaire précoce [FRERET *et al.*, 2005].

SILKE *et al.* (2002) observent que les vaches maigrissant le plus après vêlage ont de plus forts taux de mortalité embryonnaire tardive.

### D. Déficit énergétique et expression des chaleurs



**Figure 28 : Conséquences d'un bilan énergétique négatif sur l'expression des chaleurs (d'après SPICER, 1990).**

Les vaches dont la balance énergétique est négative expriment significativement moins fréquemment leurs chaleurs lors de la première ovulation *postpartum*. En revanche, il ne semble pas y avoir d'effet significatif du niveau de la balance énergétique sur l'expression des chaleurs lors du cycle suivant [SPICER *et al.*, 1990].

## ***E. Etat corporel et affections du postpartum***

### *1) Affections de l'appareil génital*

- *Kystes ovariens postpartum*

Cette pathologie ovarienne reste considérée comme une cause majeure d'infertilité en élevage laitier. La plupart des kystes se développant durant le *postpartum* régressent spontanément.

Parmi les facteurs de risque d'apparition et/ou de non-régression spontanée de ces kystes *postpartum*, la saison du vêlage (risque augmenté l'été), l'augmentation du rang de lactation et de la production laitière sont identifiés.

Concernant l'influence de l'état corporel sur l'incidence des kystes ovariens, l'augmentation importante (> 1 point) de la note d'état au cours des 60 derniers jours précédant le vêlage constitue un facteur de risque [LOPEZ-GATIUS *et al.*, 2002].

Les vaches présentant un kyste ovarien *postpartum* ont une note d'état corporel avant le vêlage supérieure à celle des vaches normales ou à phase lutéale prolongée, et perdent plus d'état en *postpartum* [ZULU *et al.*, 2002].

- *Métrites postpartum*

En cas de suralimentation énergétique au cours du tarissement, les vaches prêtes à vêler peuvent présenter un embonpoint excessif (note d'état corporel supérieure à 4). Ceci les expose à un risque augmenté de vêlage dystocique et, en conséquence, à des rétentions placentaires et des métrites *postpartum*, retardant l'involution utérine et prédisposant à des anomalies de reprise de cyclicité ovarienne.

Les vaches perdant de 1,0 à 1,5 point de note d'état corporel sont davantage exposées aux métrites que les vaches perdant 0,75 point ou moins [KIM *et al.*, 2003].

### *2) Maladies métaboliques*

Les vaches souffrant d'un épisode d'hypocalcémie subclinique *postpartum* présentent une perte d'état corporel plus marquée et durant plus longtemps que celle des vaches normocalcémiques [KAMGARPOUR *et al.*, 1999].

Chez les vaches perdant plus de 1 point de note d'état *postpartum*, l'incidence de l'acétonémie et des déplacements de caillette est significativement augmentée par rapport aux vaches endurent moins d'amaigrissement [KIM *et al.*, 2003].

GILLUND *et al.* (2001) observent qu'une note d'état corporel au vêlage supérieure ou égal à 3,5 est significativement associée à une augmentation du risque d'acétonémie.

## ***F. Profils optimaux d'état corporel***

### ***1) Etat corporel au vêlage***

Un état corporel insuffisant au vêlage est défavorable à la reproduction. Un déficit énergétique précoce antérieur au vêlage, ou un défaut de reconstitution des réserves pendant la phase de tarissement pourrait être le reflet d'une sous-alimentation globale, susceptibles de pénaliser les fonctions de reproduction et de production [TILLARD *et al.*, 2003].

D'autre part, les vaches grasses voient leur capacité d'ingestion de matière sèche réduite du fait d'un appétit moindre : un état d'engraissement trop important au vêlage prédispose à un amaigrissement plus marqué en début de lactation. Ainsi, pour MAYNE *et al.* (2002), les vaches ayant une note d'état de 3,0 durant la période sèche perdent ensuite 0,3 point en début de lactation, contre 0,6 point pour les vaches avec une note d'état de 3,3.

L'obtention d'un état corporel optimal au moment du vêlage doit constituer un objectif prioritaire. Des valeurs comprises entre 2,5 et 3,5 et entre 3,0 et 4,0 sont recommandées respectivement pour les vaches primipares et multipares.

L'appétit étant habituellement déprimé au cours des périodes chaudes, on peut chez les hautes productrices tolérer à ce moment des valeurs plus élevées. Le choix d'un état d'embonpoint optimal lors du vêlage devrait idéalement tenir compte des objectifs de l'exploitation. Si le pourcentage de matières grasses et le niveau de production laitière constituent des objectifs prioritaires, l'état d'embonpoint lors du vêlage pourra être supérieur aux valeurs recommandées, et inférieur si l'objectif est l'optimisation de la ration alimentaire [HANZEN *et al.*, 2004].

### ***2) Du vêlage au pic d'ingestion de matière sèche***

Habituellement et indépendamment de l'importance des apports en énergie, la majorité des vaches laitières manifestent un déséquilibre énergétique et donc une perte de poids au cours du premier trimestre de lactation. En effet, le pic de lactation est habituellement atteint 5 à 8 semaines après le vêlage, tandis que celui de l'ingestion de matière sèche n'est observé qu'entre la 12<sup>ème</sup> et la 15<sup>ème</sup> semaine *postpartum*. Les valeurs minimales de l'état corporel sont en moyenne acquises vers le deuxième mois de lactation chez les primipares et les vaches en deuxième lactation et vers le quatrième mois chez les vaches plus âgées.

L'évaluation de l'état corporel peut être réalisée lors du contrôle de l'involution utérine (de J<sub>20</sub> à J<sub>40</sub> *postpartum*) voire lors de la 1<sup>ère</sup> IA (vers J<sub>60</sub>).

Des valeurs comprises entre 2,0 et 2,5 chez les primipares et entre 2,0 et 3,0 chez les multipares sont recommandées. Au cours de cette période, la vache laitière perd 0,5 à 1 kg de poids corporel par jour. Il en résulte une perte de 1,0 à 1,5 point de la valeur de l'état corporel, perte qui doit être considérée comme maximale. Une insuffisance de l'apport de matière sèche peut se traduire au cours de cette période par une diminution supérieure à 1,5 point [HANZEN *et al.*, 2004].

### 3) *En milieu de lactation*

De la 12<sup>ème</sup> à la 24<sup>ème</sup> semaine *postpartum*, la vache laitière récupère la perte enregistrée depuis le vêlage.

Le moment de l'évaluation de la note d'état corporel peut correspondre à celui de la confirmation manuelle de la gestation 120 à 150 jours après le vêlage. Cette note doit être comprise entre 2,5 et 3,0 [HANZEN *et al.*, 2004].

### 4) *En fin de lactation*

De la 24<sup>ème</sup> semaine *postpartum* jusqu'au tarissement, les apports alimentaires doivent assurer la production laitière et les besoins supplémentaires requis par la gestation.

100 à 60 jours avant le tarissement, l'état corporel doit être compris entre 3,0 et 3,5. L'évaluation des animaux à cette période permet à l'éleveur d'ajuster préventivement l'état corporel de ses animaux en vue du tarissement. Par ailleurs, l'efficacité avec laquelle les vaches peuvent restaurer leurs réserves corporelles est meilleure, et donc plus économique, à ce moment plutôt qu'en période de tarissement [HANZEN *et al.*, 2004].

### 5) *Tarissement*

Sa durée normale est comprise entre 6 et 8 semaines. L'état corporel de l'animal doit être maintenu pour éviter toute perte ou gain excessif (ce dernier prédisposant à l'apparition d'un syndrome de la vache grasse).

Au moment du tarissement, la note d'état corporel doit être comprise entre 3,0 et 4,0, c'est à dire comparable aux valeurs recommandées au moment du vêlage [HANZEN *et al.*, 2004]. Idéalement, la note d'état des vaches taries doit être de 3,3.

Pour éviter toute suralimentation pendant le tarissement, une séparation des vaches taries et en lactation est recommandée.

6) Bilan : profil idéal de note d'état corporel

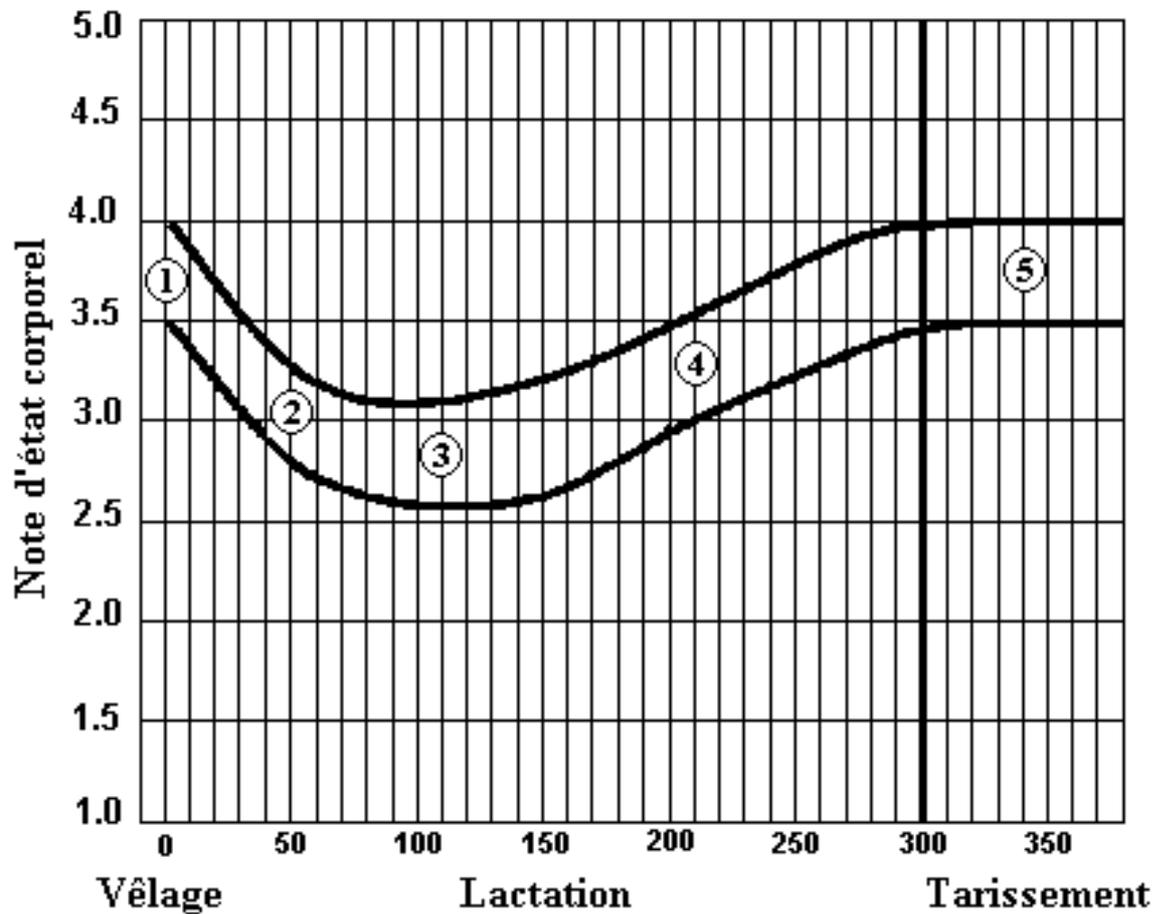


Figure 29 : Grille de profil de note d'état corporel et représentation des valeurs idéales pour une vache laitière multipare (d'après RODENBURG, 1992).

Le profil idéal de note d'état corporel s'inscrit entre deux courbes limites. Sa description sur un cycle de production permet de mettre en exergue 5 étapes importantes :

- ① Au vêlage, la note d'état optimale devrait avoisiner les 3,5-4,0 pour les multipares (enlever 1 point environ pour une vache primipare) ;
- ② En début de lactation, la perte d'état doit être inférieure à 1 point ;
- ③ La valeur minimale de la note d'état doit être acquise entre le 2<sup>ème</sup> et le 4<sup>ème</sup> mois *postpartum* ;
- ④ La reprise d'état progressive en milieu puis en fin de lactation doit permettre d'aboutir à une note comprise entre 3,5 et 4,0 ;
- ⑤ La période du tarissement correspond à une période de stabilisation de la note d'état, éventuellement à une reprise d'état pour les vaches encore trop maigres.

### III. ASPECTS PHYSIOPATHOLOGIQUES DE LA RELATION ENTRE METABOLISME ET FERTILITE POSTPARTUM

#### A. Mécanismes d'action du déficit énergétique sur la fertilité

##### 1) Statut hormonal et métabolique postpartum de la vache laitière

D'un point de vue biochimique, en début de lactation, l'intense activité métabolique, associée à une dépression de l'appétit, aboutit à une balance énergétique négative, caractérisée par une diminution des concentrations sériques en insuline, IGF-I, leptine et glucose, et une augmentation des concentrations en GH et en corticoïdes [ROCHE et al., 2000].

La mobilisation des lipides corporelles qui s'ensuit se traduit par une libération massive d'acides gras non estérifiés dans le sang. Le foie les en extrait, en proportions directes avec les concentrations circulantes, pour les oxyder. Il en résulte une accumulation de triglycérides dans les hépatocytes et, lors de phénomènes oxydatifs incomplets, une libération plasmatique de corps cétoniques [BUTLER, 2005b].

Puis, les concentrations en insuline et en IGF-I augmentent progressivement durant la période du *postpartum*, tandis que celle de la leptine reste basse durant la lactation. Pour ces trois hormones, les valeurs des concentrations sont associées à la balance énergétique de l'animal : elles sont plus importantes chez une vache laitière en balance énergétique positive que chez une vache dont la balance est négative [BUTLER, 2000 ; LUCY, 2000].

Ces facteurs sont autant de candidats susceptibles de jouer un rôle déterminant dans l'influence du métabolisme sur la fonction de reproduction. D'une façon générale, ces facteurs agissent au niveau central, c'est à dire de l'axe hypothalamo-hypophysaire, et/ou au niveau gonadique [MONGET, 2004].

TAYLOR *et al.* (2004) ont étudié les relations entre les concentrations plasmatiques en IGF-I, la fertilité et la production laitière chez des vaches laitières: les vaches multipares avec des concentrations d'IGF-I supérieure à 25 ng/mL au cours de la première semaine *postpartum* avaient onze fois plus de chances de concevoir à la première insémination que celles avec des concentrations plus basses. Des concentrations en IGF-I supérieures à 50 ng/mL à la première insémination étaient associées à l'augmentation de la réussite d'une gestation. Enfin, les vaches à fort pic de production lactée avaient de plus faibles concentrations plasmatiques en IGF-I et tardaient à retrouver une activité ovarienne cyclique normal.

Les vaches à inactivité ovarienne prolongée présentent des concentrations plasmatiques en *postpartum* plus basses en IGF-I, glucose et insuline et plus importantes en  $\beta$ -hydroxybutyrate que les vaches au profil normal [TAYLOR *et al.*, 2003].

L'échec d'ovulation du follicule dominant de la première vague *postpartum* est associé à des concentrations plasmatiques élevées en acides gras non estérifiés et en corps cétoniques et à une accumulation plus forte de triglycérides dans le foie au cours des trois premières semaines de lactation [BUTLER, 2005a].

De faibles concentrations en insuline sont responsables d'une baisse de la production en IGF-I par le foie. L'insuline, directement ou non, régule les concentrations circulantes des IGF et de certaines IGFBP. Ainsi, une augmentation de l'insulinémie entraîne l'augmentation de la concentration plasmatique en IGF-I, ainsi qu'une diminution de celles en IGF-II et IGFBP-2 [MCGUIRE *et al.*, 1995].

La leptine est une hormone produite principalement par le tissu adipeux. Un de ses rôles essentiels est d'informer l'organisme sur le niveau de ses réserves lipidiques. L'ensemble des actions connues de la leptine entraîne une diminution de l'appétit et des accroissements de la dépense énergétique, de l'activité physique, de l'activité ovarienne (elle serait notamment un signal impliqué dans le déclenchement de la puberté) et de l'anabolisme musculaire [CHILLIARD *et al.*, 1999].

Chez la vache, comme chez les autres mammifères, la leptine agirait sur ses récepteurs spécifiques présents dans de nombreux organes, dont l'hypothalamus où elle régulerait l'activité des neurones à GnRH, l'hypophyse où elle interviendrait dans la régulation de la sécrétion de FSH et de LH, et les ovaires [CHEMINEAU *et al.*, 1999].

Lorsque la production de leptine augmente du fait de l'accroissement de la taille des cellules adipeuses et/ou de la quantité de lipides corporels, ceci se traduit généralement par une diminution de la quantité de nutriments disponibles pour les tissus adipeux, ainsi que par des modifications hormonales qui diminuent la lipogenèse et la synthèse de leptine, et/ou augmentent la lipolyse dans ces tissus. Outre sa régulation à long terme, liée aux variations d'adiposité, la concentration plasmatique de leptine est rapidement diminuée par une réduction de la prise alimentaire, et ceci est dû, au moins en partie, à la baisse de l'insulinémie. Cette hypoleptinémie pourrait constituer le signal informant l'organisme d'un état de sous-nutrition. [CHILLIARD *et al.*, 1999].

Pour LIEFERS *et al.* (2003), la leptinémie reflète le niveau de la balance énergétique durant la lactation. Elle atteint sa valeur la plus basse au moment du vêlage puis sa remontée pendant la lactation dépend de la durée et de l'intensité de la balance énergétique négative, en relation avec la reconstitution des réserves adipeuses. Les concentrations plasmatiques en leptine sont plus faibles durant la lactation chez les vaches dont le statut énergétique est négatif.

Les vaches ayant les concentrations plasmatiques les plus hautes en leptine ont présenté des intervalles plus courts entre vêlage et premières chaleurs observées [LIEFERS, 2003].

La GH, hormone hypophysaire, intervient dans la croissance de l'animal, le métabolisme, la lactation et la reproduction. La plupart de ses effets sont réalisés via l'IGF-I, synthétisé dans le foie et les ovaires en réponse à la GH [LUCY, 1999]. Les IGF sont synthétisés sous la stimulation de la GH, sauf lors de déficit énergétique. Ainsi, en début de lactation, la forte sécrétion de GH ne s'accompagne pas d'une importante production d'IGF [ENJALBERT, 2002].

## 2) Action centrale

On rappelle qu'il existe deux grandes classes de follicules ovariens, séparés par un diamètre folliculaire caractéristique d'espèce (4 à 5 mm chez la vache) : les « petits » follicules (diamètre en dessous du seuil), dont la croissance, peu ou pas dépendante de la présence des gonadotrophines hypophysaires, est sous le contrôle de facteurs de croissance ou

de l'insuline, et les « gros » follicules (diamètre au-dessus du seuil), dont la croissance est strictement dépendante de la présence des gonadotrophines hypophysaires.

Toute perturbation de la sécrétion de LH aura donc des conséquences directes beaucoup plus importantes sur les « gros » follicules. En cas de pulsatilité modérée de la sécrétion de LH, l'ovulation sera favorisée. Lorsque cette pulsatilité sera faible, le risque d'anoestrus augmente. Une fréquence trop élevée de décharges de LH, associée à un défaut de pic de LH, prédispose à la formation de kystes [SILVIA *et al.*, 2002].

Les vaches laitières en *postpartum* verront leur activité ovarienne reprendre une fois que la pulsatilité de la sécrétion de LH aura atteint un niveau critique. L'augmentation de la sécrétion de LH stimule la maturation d'un follicule dominant [MIHM *et al.*, 2002]. Celui-ci produit de l'œstradiol jusqu'à un niveau suffisant pour déclencher un pic de LH. La capacité d'une vache à obtenir ce pic de LH et à aboutir à l'ovulation sera permise tant que ce retro-contrôle positif de l'œstradiol sera effectif.

Le déficit énergétique peut entraîner une moindre sécrétion de GnRH par l'hypothalamus [TERQUI, 1982]. Il est suggéré que les hormones sous influence métabolique, c'est à dire IGF-I, insuline et leptine, modifient la sécrétion de GnRH, par action directe ou indirecte sur les neurones à GnRH [WILLIAMS *et al.*, 2002].

Le statut énergétique de la vache affecte également les caractéristiques de la sécrétion pulsatile de LH : la fréquence de cette sécrétion augmente et son amplitude diminue lorsque le pic de déficit énergétique est passé [CANFIELD *et al.*, 1990 ; BEAM *et al.*, 1999]. Selon ZUREK *et al.* (1995), la concentration plasmatique en IGF-I est corrélée avec la fréquence de la sécrétion pulsatile de LH.

L'alimentation, à moins d'être radicalement modifiée, n'a que peu d'effets sur les concentrations circulantes en gonadotrophines chez les ruminants, contrairement aux primates chez qui des changements nutritionnels même éphémères se traduisent par une altération de la sécrétion des gonadotrophines [BOLAND *et al.*, 2001].

Ces effets à médiation hormonale agissent donc en temps réel : un déficit énergétique pendant la période de mise à la reproduction peut donc être potentiellement néfaste.

Les mêmes hormones et métabolites influençant la sécrétion de GnRH et *in fine* les sécrétions de LH et de FSH agirait aussi directement sur l'ovaire par modification de la sensibilité des gonades aux gonadotrophines.

### 3) Action sur l'activité ovarienne

Un déficit énergétique affecterait la croissance folliculaire, surtout par altération des petits follicules, soixante à quatre-vingt jours avant ovulation, lorsque les cellules de la thèque interne, sensibles à la LH, se multiplient ainsi que celles de la granulosa, sensibles à la FSH. Ces altérations pourraient gêner le développement ultérieur du follicule, conduisant à une atrésie du follicule secondaire ou tertiaire, ou à un retard d'ovulation. Un tel phénomène explique le décalage temporel observé entre déficit énergétique et conséquences sur l'activité ovarienne. Chez les vaches en déficit énergétique important, on observe davantage de follicules de moins de 9 mm de diamètre et moins de gros follicules [LUCY, 1991].

Lors de déficit énergétique, on observe une moindre réceptivité des ovaires à la sécrétion de LH. De même, la concentration en œstradiol est plus faible dans le liquide folliculaire chez les vaches qui reçoivent des rations à concentration énergétique modérée [KENDRICK, 1999], ce qui pourrait être une conséquence de l'altération de la granulosa.

Une telle diminution de sécrétion d'œstradiol pourrait être à l'origine d'un retard d'ovulation en retardant le pic de sécrétion de LH.

Elle pourrait aussi être à l'origine de la moindre expression des chaleurs [SPICER *et al.*, 1990]. Au cours du deuxième cycle, seulement 2/3 des vaches en bilan énergétique négatif manifestent leurs chaleurs avant l'ovulation, contre 80 % des vaches en bilan énergétique positif. Cette ovulation précoce pourrait limiter le taux de réussite à l'insémination puisque l'ovule n'est fécondable que pendant quelques heures après l'ovulation.

Les caractéristiques de l'environnement folliculaire auquel l'ovocyte pré-ovulatoire est exposé serait l'un des facteurs principaux déterminant la fertilité.

Il existe une corrélation remarquablement forte entre les concentrations sériques en glucose,  $\beta$ -hydroxybutyrate et urée et les mêmes concentrations dans le liquide folliculaire du follicule dominant chez les vaches laitières hautes productrices en *postpartum* immédiat [LEROY *et al.*, 2004]. Les mêmes auteurs généralisent en avançant que les adaptations métaboliques typiques observés dans le sérum au cours de cette période sont retrouvées dans le fluide folliculaire et pourraient ainsi affecter la qualité de l'ovocyte et des cellules folliculaires.

Des concentrations supérieures en insuline et en glucose sont retrouvés dans les follicules dominants par rapport aux follicules subordonnés, suggérant leur implication dans le mécanisme de la maturation folliculaire [LANDAU *et al.*, 2000].

La diminution de la concentration sérique en IGF-I observée lors de déficit énergétique se traduit par une baisse de teneur en IGF-I dans le fluide folliculaire des petits follicules (moins de 7 mm), mais pas dans les gros follicules [BENOIT, 1996], bien que la croissance du follicule dominant puisse être aussi diminuée lors de déficit énergétique. Seuls les follicules dont le développement a démarré après la fin d'une période de fort déficit énergétique pourraient conduire à une possibilité d'ovulation et de fécondation normales, mais le délai entre le début de ce développement et de l'ovulation est de 60 à 100 jours. Ces effets sur la croissance folliculaire expliquent qu'un déficit énergétique précoce aurait des conséquences plusieurs semaines plus tard, en compromettant l'avenir des follicules de petite taille en tout début de lactation.

Selon BUTLER *et al.* (2004), l'insuline favorise la sécrétion d'œstradiol par le follicule dominant de la première vague folliculaire *postpartum* chez la vache laitière et cet effet n'apparaît pas associé à des modifications de la sécrétion de LH. L'effet de l'insuline se traduit également par une diminution des acides gras non estérifiés circulants et une augmentation en IGF-I circulant.

L'IGF-I favorise la stéroïdogénèse dans les cellules folliculaires (par stimulation de l'aromatisation) sous contrôle de la FSH et de la LH, ainsi que l'induction des récepteurs à LH, la synthèse d'inhibine [ZULU *et al.*, 2002] et la prolifération des cellules thécales [BEAM *et al.*, 1998].

Il augmente également la sensibilité des cellules folliculaires à la FSH et à la LH, diminue celle de l'axe hypothalamo-hypophysaire aux effets inhibiteurs de l'œstradiol et serait aussi impliqué dans la formation et le fonctionnement d'un corps jaune normal [ZULU *et al.*, 2002].

Les concentrations en IGF-I circulant sont corrélées aux concentrations plasmatiques d'œstradiol au cours de la période de croissance du follicule dominant [BEAM *et al.*, 1998].

L'échec de l'ovulation faisant suite à la première vague folliculaire *postpartum* est associé à un pic d'œstradiol plasmatique plus faible, de valeurs faibles d'IGF-I plasmatique et

d'un intervalle vêlage-pic de déficit énergétique rallongé, par rapport à une première vague folliculaire aboutissant à une ovulation [BEAM *et al.*, 1997].

La concentration plasmatique d'oestradiol reste plus basse chez les vaches n'ovulant pas du 8<sup>ème</sup> au 14<sup>ème</sup> jour *postpartum*, période pendant laquelle apparaît un follicule dominant de plus de 10 mm de diamètre, par rapport aux vaches qui ovuleront, alors que le diamètre maximum du follicule dominant non-ovulatoire est supérieur en moyenne de 2 mm à celui ovulatoire et est associé à une augmentation de la durée de vie du follicule d'environ 3 jours [BEAM *et al.*, 1998].

#### 4) *Autres effets*

Une augmentation du rapport glycémie sur 3-hydroxybutyrate plasmatique, situation rencontrée après le pic de déficit énergétique, est associée à une plus forte probabilité d'expression des chaleurs à la première ovulation [WESTWOOD *et al.*, 2002].

Même lorsque l'ovulation a lieu, un développement folliculaire insuffisant peut entraîner la formation d'un corps jaune dont l'activité est elle-même insuffisante. La sécrétion de progestérone par le corps jaune est limitée chez des vaches qui ont subi un déficit énergétique : les concentrations en progestérone sont positivement corrélées avec le niveau de la balance énergétique [LUCY, 1991 ; SENATORE, 1996 ; VILLA-GODOY, 1988], au moins jusqu'au cinquième cycle, et le taux de réussite à l'insémination s'en trouve très affecté [BRITT, 1992].

Une activité lutéale réduite, observée lorsque la balance énergétique est négative, est associée à des concentrations sériques en IGF-I réduites [SPICER *et al.*, 1990]. Selon VILLA-GODOY *et al.* (1990), l'activité lutéale des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> cycle oestral *postpartum* est d'autant plus réduite que le pic de déficit énergétique est tardif et ample.

Le timing de l'augmentation de la progestéronémie au cours de la phase lutéale précoce (J<sub>4</sub>-J<sub>5</sub>) apparaît comme déterminant pour la fertilité, probablement parce qu'il conditionne la qualité de l'activité sécrétoire du tractus génital, influençant ainsi le développement embryonnaire et la production de l'interféron  $\tau$  par l'embryon (activité antilutéolytique) [WATHES *et al.*, 2003].

Il est intéressant de noter ici que les concentrations plasmatiques des stéroïdes et des gonadotrophines diffèrent entre génisses et vaches laitières : les concentrations en oestradiol autour de l'oestrus et le pic préovulatoire de LH sont supérieurs chez la génisse, de même que la progestéronémie du 3<sup>ème</sup> au 16<sup>ème</sup> jour du cycle, ce qui pourrait compter dans la différence de fertilité observée entre les deux catégories de femelles [WOLFENSON *et al.*, 2004].

Un déficit énergétique sévère aurait également un impact défavorable sur la qualité des ovocytes. L'effet toxique de fortes concentrations circulantes en acides gras non estérifiés est invoqué [KRUIP *et al.*, 2001]. Les rations alimentaires qui apparaissent optimales pour la croissance folliculaire semblent avoir un effet négatif sur la qualité de la maturation de l'ovocyte [ARMSTRONG *et al.*, 2003].

Une autre étude rapporte l'incidence marquée d'embryons à la qualité et à la viabilité diminuées chez des vaches laitières hautes productrices en début de lactation par rapport à des vaches taries [SARTORI *et al.*, 2002]. Le développement embryonnaire serait compromis, même tardivement pendant la lactation, par les modifications métaboliques associées à des notes d'état corporel basses (inférieures à 2,5 points) [SNIJDERS *et al.*, 2000].

**Une balance énergétique négative prolongée retarde le moment de la première ovulation *postpartum* : au niveau central, par perturbation de la sécrétion pulsatile de LH ; au niveau des follicules, par altération de leur croissance et de leur maturation en diminuant leur sensibilité aux gonadotrophines ainsi que la stéroïdogenèse. Le déficit énergétique a également des effets délétères sur l'activité lutéale et le développement embryonnaire précoce.**

## ***B. Impact de l'alimentation azotée sur la fertilité***

### *1) Carences azotées*

Les carences en azote peuvent intervenir dans des troubles de la reproduction lorsqu'elles sont fortes et prolongées, entrant alors dans le cadre d'une sous-nutrition globale, anecdotique aujourd'hui en troupeau laitier.

Un déficit en azote dégradable entraîne indirectement un déficit énergétique via une moindre digestion ruminale.

### *2) Excès azotés*

Les excès d'azote non dégradable agissent également par le biais d'un accroissement du déficit énergétique dû à une stimulation de la production laitière.

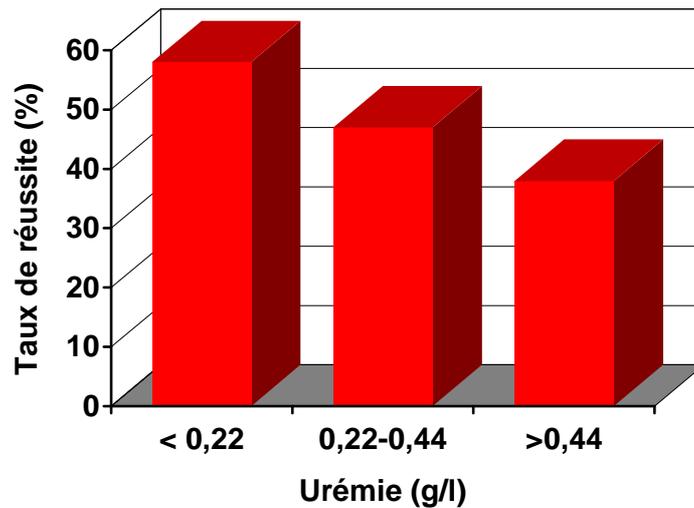
Les conséquences d'un excès d'azote dégradable sont plus marquées. Il provoque un déficit énergétique accru, en raison de la consommation d'énergie par le foie pour la transformation en urée de l'ammoniac absorbé par la muqueuse ruminale.

D'autre part, les augmentations de l'urémie et de l'ammoniémie induites par ce type de ration ont pour conséquences :

- une diminution du pH utérin, affectant la survie des spermatozoïdes [ELROD *et al.*, 1993]
- un effet cytotoxique sur ces mêmes spermatozoïdes ainsi que sur l'ovocyte, voire sur l'embryon, en limitant la capacité des oocytes à devenir blastocytes [ELROD *et al.*, 1993],
- une diminution de la progestéronémie [BUTLER, 1998],
- une augmentation de la sécrétion de PGF<sub>2α</sub> [BUTLER, 1998].

La conséquence la mieux précisée de ces effets sur les performances de reproduction est une diminution du taux de réussite à l'insémination, plus marquée que l'allongement de la durée de l'anoestrus *postpartum*. Les vaches nourries avec une ration à forte teneur en azote dégradable perdent davantage de poids en début de lactation, ont un TRIA1 plus faible et un IV-IF prolongé [WESTWOOD *et al.*, 2002].

La relation négative entre l'urémie et le TRIA est illustrée par la figure suivante :



**Figure 30 : Relation entre l'urémie et le TRIA1 (d'après FERGUSON, 1991).**

FROIDMONT *et al.* (2002) ont pu déterminer qu'une baisse du taux de gestation liée à un excès de protéines alimentaires apparaît importante pour des teneurs en urée dans le lait supérieures à 40 mg/dL (teneur similaire et hautement corrélée à l'urémie plasmatique).

Cependant, toutes les expérimentations ne retrouvent pas une telle relation négative. Une explication à ces divergences pourrait être liée à l'interaction d'autres facteurs. Le taux de réussite à l'insémination est davantage affecté par des urémies élevées dans des élevages où ce taux de réussite est habituellement faible que dans des élevages performants [FERGUSON *et al.*, 1993].

L'origine d'excès d'azote dégradable en élevage peut être complexe. Elle peut aller d'un mauvais choix de complément azoté (tourteau à protéines trop dégradables), à une mauvaise appréciation des fourrages. Dans certains cas, cet excès d'azote dégradable peut être impossible à éviter, avec certains ensilages d'herbe riches en azote, ou avec de l'herbe jeune.

### ***C. Influence de l'alimentation minérale et vitaminique***

L'influence de l'alimentation minérale et vitaminique sur la fertilité des vaches laitières semble moins importante que celle du déficit énergétique et des excès azotés; les carences graves en minéraux et vitamines sont d'ailleurs rares en élevage laitier.

#### ***1) Minéraux majeurs***

##### **a) Rôle du calcium**

Des apports calciques importants en début de lactation, associés à de la vitamine D, permettent l'accélération de l'involution utérine et de la reprise de la cyclicité ovarienne.

L'hypocalcémie semble souvent associée à la rétention placentaire, au retard d'involution utérine, et finalement aux métrites. Il est toutefois difficile de conclure sur l'influence réelle des épisodes d'hypocalcémie puerpérale sur le retard d'involution utérine et donc sur le retard à la fécondation, les vaches sujettes à cette pathologie métabolique présentant une production laitière supérieure et donc vraisemblablement un déficit énergétique plus prononcé [KAMGARPOUR *et al.*, 1999].

#### b) Rôle du phosphore

Les carences en phosphore sont classiquement invoquées lors de troubles de la fertilité chez les vaches laitières. Lorsque le déficit phosphorique excède 50 % des besoins, on constate une augmentation de la fréquence du repeat-breeding, des kystes ovariens, et d'anoestrus.

#### c) Rôle du magnésium

Lors de carence en magnésium, la résorption moins efficace du collagène utérin est à l'origine d'un retard d'involution utérine, augmentant le risque d'apparition de métrite et retardant le retour à une cyclicité ovarienne normale.

## 2) Oligo-éléments et vitamines

#### a) Influence sur les maladies génitales du *postpartum*

Lors de rations carencées en vitamine E et/ou en sélénium, un apport restaurant le statut nutritionnel recommandé à l'égard de ces deux micro-nutriments diminue la fréquence des rétentions placentaires, et par conséquent le risque de métrite *postpartum* [HARRISON *et al.*, 1984]. Le mode d'action serait lié à leur propriété antioxydante, soutien des défenses immunitaires (notamment de l'activité des polynucléaires neutrophiles) impliquées dans le mécanisme d'expulsion du placenta.

#### b) Rôles dans la reprise de la cyclicité ovarienne

Les relations établies entre le statut des bovins en oligo-éléments ou en vitamines et la reproduction sont nombreuses et souvent contradictoires car peu spécifiques.

Les carences en cobalt (anoestrus), en cuivre, en iode, en sélénium et en vitamine A peuvent affecter les performances de reproduction.

Une carence en sélénium augmenterait le risque de kystes ovariens [HARRISON *et al.*, 1984].

La carence en vitamine A (indirecte par carence en bêta carotène, son précurseur) affecte davantage le développement fœtal que la fonction ovarienne, se traduisant par une diminution du TRIA1.

Malgré son importance relative moindre, il convient de contrôler l'alimentation minérale et vitaminique lorsque la fréquence des troubles liés à la reproduction est anormalement élevée en élevage, en vérifiant :

- l'existence d'une complémentation par un aliment minéral et vitaminé (A.M.V.),
- l'adéquation du type d'A.M.V. (pourcentages de calcium et phosphore) aux besoins des animaux, en fonction de la nature des fourrages,
- les teneurs de l'A.M.V. en sodium, magnésium, oligo-éléments et vitamines. Des teneurs excédentaires peuvent entraîner des interactions négatives au niveau de l'utilisation digestive,
- le mode de conservation de l'A.M.V. et le respect de la date limite d'utilisation (conservation des vitamines),
- le mode de distribution assurant plus ou moins bien la maîtrise de la consommation par chaque vache.

## IV. SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

### *A. Etat corporel et conduite d'élevage*

La notation de l'état corporel permet d'appréhender le niveau et les variations des réserves de graisse corporelle et en tant que tel constitue un indicateur de la balance énergétique des femelles reproductrices.

**L'évaluation régulière de la note d'état (au tarissement, au vêlage, à 30, 60 et 90 jours de lactation, puis à 150 et 200 jours de lactation par exemple) doit permettre de corriger si nécessaire les inadéquations entre apports et besoins alimentaires, notamment lors des périodes critiques du tarissement et du *postpartum*.**

**La période du tarissement doit ainsi idéalement correspondre à une phase de stabilisation de la note d'état jusqu'au vêlage, autour de 3,5 points. Durant le *postpartum*, le contrôle d'une perte d'état d'environ 0,5 à 1 point par l'augmentation adéquate des apports énergétiques permettra l'expression d'un pic maximal de production laitière sans exposer les vaches aux affections métaboliques et sans affecter leurs performances de reproduction ultérieures.**

L'utilisation des profils doit être un outil dans la gestion de la conduite d'élevage, permettant d'identifier l'impact relatif de l'alimentation du troupeau comme facteur de risque de l'infertilité.

PRYCE *et al.* (2002) suggèrent que soit pris en compte dans la sélection génétique le statut énergétique des vaches, à travers la note d'état corporel notamment.

### *B. Autres évolutions souhaitables dans la conduite d'élevage*

Certains modes de conduite de mise à la reproduction sont plus favorables que d'autres à une bonne fertilité des animaux en période de pâturage : insémination lorsque la vache est en dessous d'un certain niveau de production, contrôle des durées de tarissement, insémination suffisamment longtemps après la détection, meilleures surveillances des animaux à risque pour les fausses « chaleurs » [MICHEL *et al.*, 2003].

CHEVALLIER *et al.* (1998) ont constaté une légère amélioration du TRIA1, amélioration sans doute permise par une modification du comportement des éleveurs favorisant un allongement de l'IV-IA1, principalement par une proportion moindre de mises à la reproduction trop précoces. Ceci est confirmé par LE MEZEC *et al.* (2005), qui constatent depuis 1996 une meilleure maîtrise du délai de mise à la reproduction, avec le recul des IV-IA1 de moins de 50 jours. Il est apparu en effet que le raccourcissement de l'IV-IA1 était une des sources principales de la dégradation de la fertilité [CHEVALLIER *et al.*, 1996 ; HERY *et al.*, 1995] et que cet intervalle, pouvant varier de 50 à 90 jours, était maîtrisé selon l'aptitude de chaque animal à féconder pouvant dépendre de l'état corporel, de l'état sanitaire et du niveau de production [CHEVALLIER *et al.*, 1996].

La gestion de la détection des chaleurs doit également évoluer. Selon LUCY (2001), la recommandation traditionnelle de deux observations quotidiennes de 30 minutes chacune en vue de la détection de l'œstrus n'est plus suffisante : des observations plus nombreuses et plus longues sont recommandées.

L'utilisation plus régulière de dispositifs spéciaux (tels que des détecteurs de chevauchement et comportementaux) constitue une solution pour améliorer la précision de la détection des chaleurs.

De même, l'insémination devrait avoir lieu 6 à 8 heures après la première observation de l'œstrus, ou être systématisée après une synchronisation des chaleurs [LUCY, 2001]. Les avantages de la maîtrise du moment de l'ovulation chez les bovins sont maintenant bien connus des éleveurs : elle permet une gestion plus efficace du troupeau par une meilleure surveillance des mises bas et par un ajustement de l'alimentation aux besoins physiologiques, et favorise le progrès génétique par la mise en place de l'insémination artificielle systématique sans détection des chaleurs [BARIL *et al.*, 1998].

### ***C. Sélection génétique sur les caractères de fertilité***

Si le caractère production laitière possède une héritabilité d'environ 0,25, les caractères de fertilité eux ont une héritabilité n'excédant pas 0,10 [HARRISON *et al.*, 1990].

Jusqu'au milieu des années 1990, la sélection bovine laitière a surtout visé à augmenter la productivité laitière, principalement la quantité de matière protéique, et à améliorer la morphologie de la mamelle. Cependant, dans le contexte actuel de limitation des coûts de production, les caractères dits fonctionnels, comme la longévité au sens large et ses principales composantes comme la fertilité, prennent une importance économique croissante. Ce constat est d'autant plus vrai que certains de ces caractères sont génétiquement et défavorablement associés à la production, de sorte qu'ils sont dégradés sous l'effet de la sélection laitière.

L'objectif de sélection est donc progressivement adapté pour prendre en compte de nouveaux caractères fonctionnels, en vue de ralentir, voire d'inverser leur évolution. L'évaluation génétique est un outil de première importance puisqu'elle permet de caractériser et de classer les reproducteurs, de mesurer les évolutions passées dans les populations et de prévoir leurs évolutions futures.

Aujourd'hui, les premiers résultats de l'évaluation génétique des caractères de fertilité sont connus.

### 1) Evaluation génétique des caractères de la fertilité femelle

Contrairement à d'autres paramètres de performance de reproduction, le TRIA est toujours disponible pour tous les animaux et l'objectif est toujours de le maximiser, ce qui limite les sources de biais. D'autre part, la fertilité à l'IA apparaît plus limitante que la vitesse de reprise d'activité sexuelle. Pour ces raisons, le TRIA est préféré comme caractère de la fertilité chez la femelle en *postpartum* à inclure dans l'objectif de sélection. [BOICHARD *et al.*, 1998].

	Prim'Holstein	Normande	Montbéliarde
Nombre de pères	1910	433	385
Nombre de vaches	691947	95028	78880
$h^2$ génisse	0,01	0,029	0,062
$h^2$ <i>postpartum</i>	0,013	0,012	0,011
corrélacion génétique	0,52	0,85	0,89

**Tableau 8 : Estimation des paramètres génétiques du TRIA chez la génisse ou *postpartum* (d'après BOICHARD *et al.*, 1998).**

Le TRIA *postpartum* a une héritabilité comprise entre 1 et 2%. Cette valeur très faible indique que la sélection sur ce caractère est difficile et surtout coûteuse. Mais sa variabilité génétique n'est pas négligeable (écart-type génétique d'environ 5 points de réussite à l'IA), ce qui offre des possibilités importantes d'amélioration ou de dégradation [BOICHARD *et al.*, 1998].

La corrélation génétique entre fertilité mesurée chez la génisse et en *postpartum* est de 0,5 en race Prim'Holstein, montrant que ces caractères ne sont donc pas identiques.

Depuis 2001, dans l'index de synthèse global, la fertilité femelle a un poids de 0,125 contre 0,4 pour la productivité laitière, ce qui doit permettre de stopper à terme toute dégradation [BOICHARD *et al.*, 1998].

### 2) Evaluation génétique des caractères de fertilité mâle

Le taureau d'insémination artificielle a une influence sur la réussite à l'IA et donc sur la fertilité. Cependant la valeur d'un taureau pour cette composante mâle de la fertilité est connue le plus souvent tardivement après qu'un grand nombre d'IA ait été réalisé. De plus, l'héritabilité de la fertilité mâle est très faible : ainsi, l'héritabilité pour les taux de non retour en chaleur serait de 0,005 à 0,008.

Des recherches visant à cartographier les QTL (Quantitative Traits Loci) affectant les caractères de fertilité mâle, comme par exemple les mesures de production ou de qualité de semence des taureaux, permettraient à terme l'utilisation bénéfique d'indicateurs supplémentaires de la fertilité mâle [BASSO *et al.*, 2005].



## CONCLUSION

Parmi les facteurs de risque de la dégradation actuelle de la fertilité chez les vaches laitières, notamment en race Prim'Holstein, le niveau du déficit énergétique *postpartum* des femelles reproductrices occupe une place prépondérante.

L'intensité et la durée de ce déficit, inévitable après la mise bas, dépendent du niveau de production laitière, mais également des réserves corporelles au moment du vêlage et des apports alimentaires.

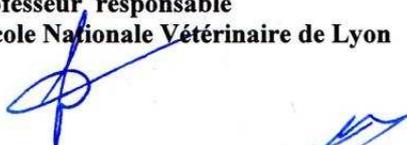
Les mécanismes physiopathologiques de l'influence de la balance énergétique sur la fertilité, encore incomplètement élucidés, reposent sur l'action complexe de médiateurs hormonaux et métaboliques, directement ou indirectement à l'origine de perturbations de l'activité ovarienne et de l'environnement utérin. Les effets délétères de ces molécules sur la fertilité sont essentiellement une altération de la croissance folliculaire retardant la reprise *postpartum* de l'activité ovarienne, une modification des profils de cyclicité et de l'expression des chaleurs, une moindre qualité des ovocytes ainsi qu'une augmentation de la mortalité embryonnaire.

L'évaluation du déséquilibre énergétique, permise par la méthode de la notation de l'état corporel, laisse apparaître globalement qu'au cours du *postpartum*, une perte d'état exagérée (supérieure à un point), serait préjudiciable aux performances de reproduction, et ceci davantage que la valeur absolue de l'état corporel au vêlage, en affectant le délai nécessaire à l'obtention d'une gestation.

L'estimation régulière de la note d'état corporel, en vue de l'obtention de profils, dès avant le vêlage, constitue un outil d'intérêt non seulement dans une approche individuelle par la détection des sujets à risque, mais aussi à l'échelle du troupeau pour l'évaluation, et sa correction éventuelle, de l'alimentation énergétique distribuée aux vaches laitières.

Le contrôle de l'implication du statut énergétique dans l'infertilité des vaches laitières s'inscrit dans la nécessaire approche globale du troupeau par le praticien en vue d'identifier les facteurs de risque de l'infertilité dans l'élevage : contrôle de l'alimentation, de l'efficacité de la détection des chaleurs et des délais de mise à la reproduction, de l'implication des affections péri et *postpartum* ainsi que de l'environnement des animaux.

**Le Professeur, responsable  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon**



**Le Président de la thèse**  
Professeur M. BERLAND



**Vu et permis d'imprimer**

Lyon, le **18 JUL. 2006**

**Pour le Président de l'Université  
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales,  
Professeur D. VITAL-DURAND**



**Vu : Le Directeur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon**

**LE DIRECTEUR**  
Stéphane MARTINO





## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**AUSTIN EJ, MIHM M, EVANS ACO, KNIGHT PG, IRELAND JLH, IRELAND JJ, ROCHE JF** - Alterations in intrafollicular regulatory factors and apoptosis during selection of the follicles in the first follicular wave of the bovine estrous cycle - *Biol Reprod*, 2001 ; 64 : 839-848

**AGABRIEL J, GIRAUD JM, PETIT M, BARBOIRON C, COULAUD G *et al.*** - Détermination et utilisation de la note d'état d'engraissement en élevage allaitant - *Bull Tech CRZV Theix INRA*, 1986 ; 66 : 43-50

**ARMSTRONG DG, GONG JG, WEBB R** - Interactions between nutrition and ovarian activity in cattle : physiological, cellular and molecular mechanisms - *Reprod Suppl*, 2003 ; 61 : 403-414

**BAO B, GARVERICK HA** - Expression of steroidogenic enzyme and gonadotropin receptor genes in bovine follicles during ovarian follicular waves : a review - *J Anim. Sci*, 1998 ; 76 : 1903-1921

**BARBAT A, BONAÏTI B, GUILLAUME F, DRUET T, COLLEAU JJ, BOICHARD D** - Bilan phénotypique de la fertilité à l'insémination artificielle dans les trois principales races laitières françaises - *Renc Rech Ruminants*, 2005 (sous presse)

**BAREILLE S, BAREILLE N** - La cétose des ruminants - *Point Vet*, 1995 ; 27 (Maladie métabolique des ruminants) : 727-738

**BARIL G, COGNIE Y, FREITAS VJF, MAUREL MC, MERMILLOD P** - Maîtrise du moment de l'ovulation et aptitude au développement de l'embryon chez les ruminants – *Renc Rech Ruminants*, 1998 ; 5 : 57-62

**BASSO B, FRITZ S, DRUET T, GUILLAUME F, ROSSIGNOL MN, AMIGUES Y, GABRIEL R, SELLEM E, SALAS-CORTES L, HUMBLLOT P, DRUART X** - Estimation de paramètres génétiques et détections de QTL liés à des caractères de fertilité mâle, de production de semence et de qualité de la semence chez le taureau laitier – *Renc Rech Ruminants*, 2005 (sous presse)

**BAZIN S** - Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches Pie-Noires - Paris (France) : ITEB-RNED, 1984, 31 p.

**BAZIN S** - La conduite des vaches laitières du tarissement au pic de lactation – Paris (France) : ITEB-RNED, 1985, 28 p.

**BEAM SW, BUTLER WR** - Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in *postpartum* dairy cows - *J Reprod Fertil Suppl*, 1999 ; 54 : 411-424

**BEAM SW, BUTLER WR** - Energy balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation *postpartum* in dairy cows receiving three levels of dietary fat - *Biol Reprod*, 1997 ; 56 : 133-142

**BENAÏCH S, GUEROUALI A, BELAHSEN R, MOKHTAR N, AGUENAOU H** - Effet du degré de mobilisation des réserves corporelles après le vêlage sur la fonction reproductive de la vache laitière en post-partum - *Rev Med Vet*, 1999 ; 150 (5) : 441-446

**BENOIT AM, SWANCHARA K, SCHOPPEE P, ARMSTRONG JD** - Insulin-like growth factor-I (IGF-I) and IGF binding proteins: potential mediators of the influence of nutrition on ovarian function in the heifer and gilt - *Reprod Domest Anim*, 1996 ; 31 : 549-553

**BOICHARD D, BARBAT A, BRIEND M** - Bilan phénotypique de la fertilité chez les bovins laitiers – AERA ; *Reproduction, génétique et fertilité*, Paris, 6 Décembre 2002, 5-9

**BOICHARD D, BARBAT A, BRIEND M** - Evaluation génétique des caractères de fertilité femelle chez les bovins laitiers - *Renc Rech Ruminants*, 1998 ; 5 : 103-106

**BOLAND MP, LONERGAN P, O'CALLAGHAN D** - Effect of nutrition on endocrine parameters, ovarian physiology and oocyte and embryo development – *Theriogenology*, 2001 ; 55 : 1323-1340

**BOUCHARD E, DU TREMBLAY D** - Portrait québécois de la reproduction - Recueil des conférences du symposium des bovins laitiers, Saint-Hyacinthe, 2003, 13-23

**BRITT JH** - Impacts of early *postpartum* metabolism on follicular development and fertility. *Bov Pract*, 1992 ; 24 : 39-43

**BUTLER ST, PELTON SH, BUTLER WR** - Insulin increases 17 $\beta$ -estradiol production by the dominant follicle of the first *postpartum* follicle wave in the dairy cows – *Reproduction*, 2004 ; 127 : 537-545

**BUTLER WR, SMITH RD** - Interrelationships between energy balance and *postpartum* reproductive function in dairy cattle - *J Dairy Sci*, 1989 ; 72 : 767-783

**BUTLER WR** - Inhibition of ovulation in the *postpartum* cow and the lactating sow - *Livestock Prod Sci*, 2005a ; 98 : 5-12

**BUTLER WR** - Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle - *Anim Reprod Sci*, 2000 ; 60-61 : 449-457

**BUTLER WR** - Relationships of negative energy balance with fertility – *Adv Dairy Tech*, 2005b ; 17 : 35-46

**BUTLER WR** - Review : Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle - *J Dairy Sci*, 1998 ; 81 : 2533-2539

**CANFIELD RW, BUTLER WR** - Energy balance, first ovulation and the effects of naloxone on LH secretion in early *postpartum* dairy cows - *J Anim Sci*, 1991 ; 69 : 740-746

**CANFIELD RW, SNIFFEN CJ, BUTLER WR** - Effects of excess degradable protein on *postpartum* reproduction and energy balance in dairy cattle - *J Dairy Sci*, 1990 ; 73 : 2342-2349

**CHASTANT-MAILLARD S, FOURNIER R, REMMY D** - Actualités sur le cycle de la vache - *Point Vet*, 2005 ; numéro spécial (36) : 10-15

**CHEMINEAU P, BLANC M, CARATY A, BRUNEAU G, MONGET P** - Sous-nutrition, reproduction et système nerveux central chez les mammifères : rôle de la leptine - *INRA Prod Anim*, 1999 ; 12 (3) : 217-223

**CHENAIS F, AUGÉARD P, BAZIN S, MARTIAL JP, MASSON D** - Les rations complètes à base d'ensilage de maïs : atouts et mise en œuvre - Paris (France) : ITEB-RNED, 1990, 48 p.

**CHEVALLIER A, CHAMPION H** - Etude de la fécondité des vaches laitières en Sarthe et Loir et Cher – El. et Ins., 1996 ; 272 : 8-22

**CHEVALLIER A, HUMBLLOT P** - Evaluation des taux de non retour après insémination artificielle : effet du contrôle du délai de mise à la reproduction sur les résultats de fertilité – Renc Rech Ruminants, 1998 ; 5 : 75-77

**CHEW BP, MURDOCK FR, RILEY RE, HILLERS JK** - Influence of prepartum dietary crude protein on growth hormone, insulin, reproduction and lactation of dairy cows - J Dairy Sci, 1984 ; 67 : 270-275

**CHILLIARD Y, BOCQUIER F, DELAVAUD C, FAULCONNIER Y, BONNET M, GUERREMILLO M, MARTIN P, FERLAY A** - La leptine chez le ruminant. Facteurs de variation physiologiques et nutritionnels - INRA Prod Anim, 1999 ; 12 (3) : 225-237

**CHILLIARD Y, REMOND B, AGABRIEL J, ROBELIN J, VERITE R** – Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation - Bull Tech CRZV Theix INRA, 1987 ; 70 : 117-130.

**DE VRIES MJ, VEERKAMP RF** - Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility - J Dairy Sci, 2000 ; 83 : 62-69

**DERIVAUX J, ECTORS F** - Reproduction chez les animaux domestiques - 3ème édition revue. Louvain-La-Neuve : Cabay, 1986, 1141 p.

**DIRKSEN GU, LIEBICH HG, MAYER E** - Adaptative changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance - Bov Pract, 1985 ; 20 : 116-120

**DISENHAUS C, KERBRAT S, PHILIPOT JM** - La production laitière des 3 premières semaines est négativement associée avec la normalité de la cyclicité chez la vache laitière - Renc Rech Ruminants 2002, 9 : 147-150

**DISENHAUS C** - Mise à la reproduction chez la vache laitière : actualités sur la cyclicité post-partum et l'oestrus - 2ème Journée d'Actualités en Reproduction des Ruminants, ENVA, Septembre 2004 : 55-64

**DOMECQ JJ, SKIDMORE AL, LLOYD JW, KANEENE JB** - Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd of high yielding holstein cows - J Dairy Sci, 1997a ; 80 : 113-120

**DOMECQ JJ, SKIDMORE AL, LLOYD JW, KANEENE JB** - Relationship between body condition scores and milk yield in a large dairy herd of high yielding Holstein cows - J Dairy Sci, 1997b ; 80 : 101-112

**DRAME ED, HANZEN C, HOUTAIN JY, LAURENT Y, FALL A** - Profil de l'état corporel au cours du *postpartum* chez la vache laitière – Ann Med Vet, 1999 ; 143 : 265-270

**EDE BRETAGNE** - Nous, les vaches taries. Influence de l'alimentation pendant le tarissement sur la santé, la reproduction et la production en début de lactation - Pays de Loire, 1985 ; 65 p.

**EDMONSON AJ, LEAN IJ, WEAVER LD, FARVER T, WEBSTER G** - A body condition scoring chart for Holstein dairy cows - J Dairy Sci, 1989 ; 72 (1): 68-78

**EICKER SW, GROHN YT, HERTL JA** - The association between cumulative milk yield, days open and days to first breeding in New York Holstein cows - J Dairy Sci, 1996 ; 79 : 235-241

**ELROD CC, BUTLER WR** - Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein - J Anim Sci, 1993 ; 71 : 694-701

**ENJALBERT F** - Les contraintes nutritionnelles autour du vêlage - Point Vet, 2003 ; 34 (236) : 40-44

**ENNUYER M** - Les vagues folliculaires chez la vache. Applications pratiques à la maîtrise de la reproduction - Point Vet, 2000 ; 31 (209) : 377-383

**ESPINASSE R, DISENHAUS C, PHILIPOT JM** - Délai de mise à la reproduction, niveau de production et fertilité chez la vache laitière - Renc Rech Ruminants, 1998 ; 5 : 79-82

**FERGUSON JD *et al.*** - Serum ureal nitrogen and conception rate : the usefulness of test information - J Dairy Sci, 1993 ; 76 : 3742-3746

**FERGUSON JD, GALLIGAN DT, THOMSEN N** - Principal descriptors of body condition score in Holstein cows - J Dairy Sci, 1994 ; 77 : 2695-2703

**FERGUSON JD** - Body condition scoring – Site internet du Texas Animal Nutrition Council, page consultée le 18 juillet 2005. Mid-South Ruminant Nutrition Conference 2002, Texas Animal Nutrition Council, USA [en ligne], adresse URL : <http://www.txanc.org/proceedings/2002/Body%20Condition%20Scoring.pdf#search=%22ferguson%20body%20condition%20scoring%22>

**FERGUSON JD** - Nutrition and reproduction in dairy herds. *In*: Proc. 2001 Intermountain Nutr. Conf., Salt Lake City, UT. Utah State Univ., Logan. pp. 65-82.

**FIENI F, TAINTURIER D, BRUYAS JF, BATTU I** - Physiologie de l'activité ovarienne cyclique chez la vache – Bull GTV, 1995 ; 4 : 35-49

**FORMIGONI A, CORNIL MC, PRANDI A, MORDENTI A, ROSS A, PORTETELLE D, RENAUVILLE R** - Effect of propylene glycol supplementation around parturition on milk yield, reproduction performance and some hormonal and metabolic characteristics in dairy cows - J Dairy Res, 1996 ; 63 : 11-24

**FRERET S, CHARBONNIER G, CONGNARD V, JEANGUYOT N, DUBOIS P, LEVERT J, HUMBLLOT P, PONSART C** - Expression et détection des chaleurs, reprise de la cyclicité et perte d'état corporel après vêlage en élevage laitier - Renc Rech Ruminants, 2005 (sous presse)

**FROIDMONT E, THEWIS A, BARTIAUX-THILL N** - L'urémie (lait/plasma) peut révéler un apport excessif de protéines limitant la fertilité des vaches - Renc Rech Ruminants, 2002 ; 9 : 159

**GARCIA-ISPIERTO J, LOPEZ-GATIUS F, SANTOLARIA P, YANIZ JL, NOGAREDA C, LOPEZ-BEJAR M, DE RENSIS F** - Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle – Theriogenology, 2006 ; 65(4) : 799-807

**GILLUND P, REKSEN O, GROHN YT, KARLBERG K** - Body condition related to ketosis and reproductive performance in norwegian dairy cows - J Dairy Sci, 2001 ; 84 : 1390-1396

**GREENFIELD RB, CECAVA MJ, JOHNSON TR, DONKIN SS** - Impact of dietary protein amount and rumen undegradability on intake, peripartum liver triglyceride, plasma metabolites, and milk production in transition dairy cattle - *J Dairy Sci*, 2000 ; 83 : 703-710

**GRIMARD B, DISENHAUS C** - Les anomalies de reprise de la cyclicité après vêlage - *Point Vet*, 2005 ; numéro spécial (36) : 16-21

**GROHN YT, RAJALA-SCHULTZ** - Epidemiology of reproductive performance in dairy cows - *Anim Reprod Sci*, 2000 ; 60-61 : 605-614

**GUSTAFSSON AH, ANDERSON L, EMANUELSON U** - Effect of hyperketonaemia, feeding frequency and intake of concentrate and energy on milk yield in dairy cows – *Anim Prod*, 1993 ; 56: 51-60

**HADY PJ, DOMEQC JJ, KANEENE JB** - Frequency and precision of body condition scoring in dairy cattle - *J Dairy Sci*, 1994 ; 77 : 1543-1547

**HAFEZ ESE** - Reproduction in farm animals - 6th edition. Philadelphia : Lea & Febiger, 1993, 573 p.

**HAMILTON SH, GARVERICK HA, KEISLER DH, XU ZZ, LOOS K, YOUNGQUIST RS** - Characterization of follicle/cyst dynamics and associated endocrine profiles in dairy cows - *Biol Reprod*, 1995 ; 53 : 890-898.

**HANSEN LB** - Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint - *J Dairy Sci*, 2000 ; 83 : 1145-1150

**HANZEN C, CASTAIGNE JL** – Site internet de l'Université de Liège, page consultée le 12 décembre 2005 - Obstétrique et pathologie de la reproduction des ruminants, équidés et porcs, [en ligne], adresse URL : <http://www.fmv.ulg.ac.be/oga/index.html>

**HARRISON JH, HANCOCK DD, CONRAD HR** - Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow - *J Dairy Sci*, 1984 ; 67 : 123-132

**HARRISON RO, FORD SP, YOUNG JW, CONLEY AJ, FREEMAN AE** - Increased milk production versus reproductive and energy status of high-producing dairy cows - *J Dairy Sci*, 1990 ; 73 : 2749-2758

**HEINRICHS AJ, O'CONNOR ML** - Charting body condition identifies problems in dairy cows – *Feedstuffs*, 1991 ; 15 : 15-16

**HERY D, SEEGERS H, THEBAUD A, MENJON P, HOLLEVILLE P, GERARD O** - Variations du taux de retour après l'insémination première en fonction de la production laitière et de l'intervalle vêlage-insémination chez la vache laitière - *Renc Rech Ruminants*, 1995 ; 2 : 439

**INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE** - Tables de l'alimentation des bovins, ovins, caprins - Paris (France) : INRA, 1988. 192 p.

**KAMGARPOUR R, DANIEL RGW, FENWICK DG, MCGUIGAN K, MURPHY G** - *Postpartum* subclinical hypocalcemia and effects on ovarian function and uterine involution in a dairy herd - *The Veterinary Journal*, 1999 ; 158 : 59-67

**KENDRICK KW, BAILEY TL, GARST AS, PRYOR AW, AHMADZADEH A, AKERS RM, EYESTONE WE, PEARSON RE, GWAZDAUSKAS FC** - Effects of energy balance of hormones,

ovarian activity, and recovered oocytes in lactating Holstein cows using transvaginal follicular aspiration - J Dairy Sci, 1999 ; 82 : 1731-1741

**KERBRAT S, DISENHAUS C** - Profils d'activité lutéale et performances de reproduction du vêlage à la première insémination – Renc Rech Ruminants, 2000 ; 7 : 227-230

**KIM IH, SUH GH** - Effect of the amount of body condition loss from the dry to near calving periods on the subsequent body condition change, occurrence of *postpartum* diseases, metabolic parameters and reproductive performance in Holstein dairy cows – Theriogenology, 2003 ; 60 (8) : 1445-1456

**KRUIP TAM, WENSING T, VOS PLAM** - Characteristics of abnormal puerperium in dairy cattle and the rationale for common treatments - Animal Science Occasional Publication, 2001 ; 26 : 63-79

**LAMMING GE, DARWASH AO** - The use of progesterone profiles to characterise components of subfertility in milked dairy cows - Anim Reprod Sci, 1998 ; 52 : 175-190

**LANDAU S, BRAW-TAL R, KAIM M, BOR A, BRUCKENTAL I** - Preovulatory follicular status and diet affect the insulin and glucose content of follicles in high-yielding dairy cows - Anim Reprod Sci, 2000 ; 64 : 181-197

**LE MEZEC P, BARBAT A, DUCLOS D** - Fertilité des vaches laitières : la situation dans 4 coopératives d'insémination de l'Ouest. Renc Rech Ruminants, 2005 (sous presse)

**LEROY JLMR, VANHOLDER T, DELANGHE JR, OPSOMER G, VAN SOOM A, BOLS PEJ, DEWULF J, DE KRUIF A** - Metabolic changes in follicular fluid of the dominant follicle in high-yielding dairy cows early *postpartum* – Theriogenology, 2004 ; 62 : 1131-1143

**LIEFERS SC, VEERKAMP RF, TE PAS MFW, DELAVAUD C, CHILLIARD Y, VAN DER LENDE T** - Leptin concentrations in relation to energy balance, milk yield, intake, live weight and estrus in dairy cows - J Dairy Sci, 2003 ; 86 : 799-807

**LOPEZ-GATIUS F, YANIZ J, MADRILES-HELM D** - Effects of body condition score and score change on the reproductive performance of dairy cows : a meta-analysis – Theriogenology, 2003 ; 59 (3-4) : 801-812

**LOPEZ-GATIUS F, GARCIA-ISPIERTO I, SANTOLARIA P, YANIZ J, NOGAREDA C, LOPEZ-BEJAR M** - Screening for high-fertility in high-producing dairy cows – Theriogenology, 2006, ; 65(8) : 1678-1689

**LOPEZ-GATIUS F, SANTOLARIA P, YANIZ J, FENECH M, LOPEZ-BEJAR M** - Risk factors for *postpartum* ovarian cysts and their spontaneous recovery or persistence in lactating dairy cows – Theriogenology, 2002 ; 58 (8) : 1623-1632

**LUCY MC, BILBY CR, KIRBY CJ, YUAN W, BOYD CK** - Role of growth hormone in development and maintenance of follicles and corpora lutea - J Reprod Fertil Suppl, 1999 ; 54 : 49-59

**LUCY MC, STAPLES CR, MICHEL FM, THATCHER WW** - Energy balance and size of number of ovarian follicles detected by ultrasonography - in early *postpartum* dairy cows - J Dairy Sci, 1991 ; 74 : 473-482

**LUCY MC** - Physiological mechanisms linking reproduction to nutrition in high-producing dairy cows - Site internet du Texas Animal Nutrition Council, page consultée le 18 juillet 2005. Mid-South Ruminant Nutrition Conference 2003, Texas Animal Nutrition Council, USA [en ligne], adresse URL : <http://www.txanc.org/proceedings/2003/PhysiologicalMechanismLinkingReproduction.PDF>

**LUCY MC** - Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle - J Dairy Sci, 2000 ; 83 : 1635-1647

**LUCY MC** - Reproductive loss in high-producing dairy cattle : where will it end ? – J Dairy Sci, 2001 ; 84(6) : 1277-1293

**MAYNE CS, MACKKEY DR, VERNER M, MCCAUGHEY WJ, GORDON FJ, MCCOY MA, LENNOX SD, CATNEY DC, WYLIE ARG, KENNEDY BW** - Fertility of dairy cows in Northern Ireland - Vet Rec, 2002 ; 150 (23) : 707-713

**MCGUIRE MA, DWYER DA, HARRELL RJ, BAUMAN DE** - Insulin regulates circulating insulin-like growth factors and some of their binding proteins in lactating cows - Am J Physiol Endocrinol Metab, 1995 ; 269 : 723-730

**MCNATTY KP, HEATH DA, LUNDY T, FIDLER AE, QUIRKE L, O'CONNELL A, SMITH P, GROOME N, TISDALL DJ** - Control of early ovarian follicular development - J Reprod Fertil Suppl, 1999 ; 54 : 3-16

**MEE JF** - Temporal trends in reproductive performance in Irish dairy herds and associated risk factors - Irish Veterinary Journal, 2004 ; 57 : 158-166

**MEREDITH MJ** - Animal breeding and infertility - UK : Blackwell Science, 1995, 508 p.

**MIALOT JP, CONSTANT F, CHASTANT-MAILLARD S, PONTER AA, GRIMARD B** - La croissance folliculaire ovarienne chez les bovins : nouveautés et applications - Journées Européennes de la Société Française de Buiatrie, Paris, Novembre 2001 : 163-168

**MICHEL A, PONSART C, FRERET S, HUMBLLOT P** - Influence de la conduite de la reproduction sur les résultats à l'insémination en période de pâturage – Renc Rech Ruminants, 2003 ; 10 : 131-134

**MIHM M, AUSTIN EJ** - The final stages of ovarian follicles selection in cattle - Dom Anim Endocrinol, 2002 ; 23 : 155-166

**MONGET P, FABRE S, MULSANT P, LECERF F, ELSSEN JM, MAZERBOURG S, PISSELET C, MONNIAUX D** - Regulation of ovarian folliculogenesis by IGF and BMP system in domestic mammals - Domest Anim Endocrinol, 2002 ; 23 (1-2) : 139-154

**MONGET P, FROMENT P, MOREAU C, GRIMARD B, DUPONT J** - Les interactions métabolisme-reproduction chez les bovins : influence de la balance énergétique sur la fonction ovarienne - 2ème Journée d'Actualités en Reproduction des Ruminants, ENVA, septembre 2004 : 49-54

**NEBEL RL, MCGILLIARD ML** - Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows - J Dairy Sci, 1993 ; 76 (10) : 3257-3268

**OPSOMER G, CORYN M, DELUYKER H, DE KRUIF** - A. An analysis of ovarian dysfunction in high yielding dairy cows after calving based on progesterone profiles - Reprod Dom Anim, 1998 ; 33 : 193-204

**OPSOMER G, GROHN YT, HERTL J et coll.** - Risk factors for *postpartum* ovarian dysfunction in high producing dairy cows in Belgium : a field study – Theriogenology, 2000 ; 53 : 841-857

**OPSOMER G, MIJTEN P, CORYN M, DE KRUIF A** - *Postpartum* anoestrus in dairy cows : a review - Vet Quat, 1996 ; 18 : 68-75

**OTTO KL, FERGUSON JD, FOX DG, SNIFFEN CJ** - Relationship between body condition score and composition of ninth to eleventh rib tissue in Holstein dairy cows - J Dairy Sci, 1991 ; 74 : 852-859

**PETERS AR, BALL PJH** - Reproduction in cattle, second edition – UK : Blackwell Science, 1995, 234 p.

**PHILIPOT JM, FIGERE M, BOURGES A, TROU G, DISENHAUS C** - Pratiques d'élevage et délai de mise à la reproduction des vaches laitières en période de stabulation hivernale – Renc Rech Ruminants, Paris (France) 2001 ; 8 : 353-356

**PINTO A, BOUCA P, CHEVALLIER A, FRERET S, GRIMARD B, HUMBLLOT P** - Sources de variation de la fertilité et des fréquences de mortalité embryonnaire chez la vache laitière - Renc Rech Ruminants, 2000 ; 7 : 213-216

**PRYCE JE, COFFEY MP, BROTHERSTONE SH, WOOLLIAMS JA** - Genetic relationships between calving interval and body condition score conditional on milk yield - J Dairy Sci, 2002 ; 85 : 1590-1595

**PRYCE JE, COFFEY MP, SIMM G** - The relationship between body condition score and reproductive performance - J Dairy Sci, 2001 ; 84 : 1508-1515

**ROCHE JF, MACKEY D, DISKIN MD** - Reproductive management of *postpartum* cows - Anim Reprod Sci, 2000 ; 60-61 : 703-712

**RODENBURG J** - Body condition scoring of dairy cattle – Site internet de l'Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, page consultée le 8 décembre 2005, [en ligne], adresse URL : <http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/00-109.htm>

**ROYAL MD, DARWASH AO, FLINT APF, WEBB R, WOOLLIAMS JA, LAMMING GE** - Declining fertility in dairy cattle : changes in traditional and endocrine parameters of fertility - Anim Sci, 2000 ; 70 : 487-501

**SARTORI R, SARTOR-BERGFELT R, MERTENS SA, GUENTHER JN, PARRISH JJ, WILTBANK MC** - Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter - J Dairy Sci, 2002 ; 85 : 2803-2812

**SAVIO JD, BOLAND MP, ROCHE JF** - Development of dominant follicles and length of ovarian cycles in *postpartum* dairy cows - J Reprod Fert, 1990 ; 88 : 581-591

**SEEGERS H, BEAUDEAU F, BLOSSE A, PONSART C, HUMBLLOT P** - Performances de reproduction aux inséminations de rang 1 et 2 dans les troupeaux Prim'Holstein - Renc Rech Ruminants, 2005 (sous presse)

**SENATORE EM, BUTLER WR, OLTENACU PA** - Relationships between energy balance and post-partum ovarian activity and fertility in first lactation dairy cows – Anim Sci, 1996 ; 62 : 17-23

**SHRESTHA HK, NAKAO T, HIGAKI T, SUZUKI T, AKITA M** - Resumption of *postpartum* ovarian cyclicity in high-producing Holstein cows – Theriogenology, 2004 ; 61 (4) : 637-649

**SHRESTHA HK, NAKAO T, SUZUKI T, AKITA M, HIGAKI T** - Relationships between body condition score, body weight, and some nutritional parameters in plasma and resumption of ovarian cyclicity *postpartum* during pre-service period in high-producing dairy cows in a subtropical region in Japan – *Theriogenology*, 2005 ; 64 : 855-866

**SILKE V, DISKIN MG, KENNY DA, BOLAND MP, DILLON P, MEE JF, SREENAN JM** - Extent, pattern and factors associated with late embryonic loss in dairy cows - *Anim Reprod Sci*, 2002 ; 71 : 1-12

**SILVIA WJ, HATLER TB, NUGENT AM, LARANJA DE FONSECA LF** - Ovarian follicular cysts in dairy cows : an abnormality in folliculogenesis - *Dom Anim Endocrinol*, 2002 ; 23 : 166-167

**SNIJDERS SEM, DILLON P, O'CALLAGHAN D, BOLAND P** - Effect of genetic merit, milk yield, body condition and lactation number on in vitro oocyte development in dairy cows – *Theriogenology*, 2000 ; 53 : 981-989

**SPICER LJ, TUCKER WB, ADAMS GD** - Insulin-like growth factor-I in dairy cows : relationships among energy balance, body condition, ovarian activity and estrous behavior - *J Dairy Sci*, 1990 ; 73 : 929-937

**STAPLES CR, THATCHER WW** - Relationship between ovarian activity and energy status during the early *postpartum* period of high producing dairy cows - *J Dairy Sci*, 1990 ; 73 : 938-947

**TAYLOR VJ, BEEVER DE, BRYANT MJ** - Metabolic profiles and progesterone cycles in first lactation dairy cows – *Theriogenology*, 2003 ; 59 : 1661-1677

**TAYLOR VJ, CHENG Z, PUSHPAKUMARA PG, BEEVER DE, WATHES DC** - Relationships between the plasma concentrations of insulin-like growth factor-I in dairy cows and their fertility and milk yield - *Vet Rec*, 2004 ; 155 (19) : 583-588

**TERQUI M. et al.** - Influence of management and nutrition of *postpartum* endocrine function and ovarian activity in cows - In : *Factors influencing fertility in the postpartum cow*, J. Karg and E. Schallenberger Ed, Current topics in veterinary medicine and animal science. Vol. 20, Martinus Nijhoff Publ., The Hague, Netherlands, 1982 : 384-408

**THIMONIER J** - Détermination de l'état physiologique des femelles par analyse des niveaux de progesterone - *INRA Prod Anim.*, 2000 ; 13 (3) : 177-183

**TILLARD E, HUMBLLOT P, FAYE B** - Impact des déséquilibres énergétiques *postpartum* sur la fécondité des vaches laitières à la Réunion - *Renc Rech Ruminants*, 2003 ; 10 : 127-130

**TILLARD E, LANOT F, BIGOT CE, NABENEZA S, PELOT J** - Les performances de reproduction en élevages laitiers - In : *CIRAD-EMVT. 20 ans d'élevage à la Réunion. Ile de la Réunion* : Repères, 1999. 99pp

**TOUZE JL, LAIGRE P, THOMERET F et coll.** - Anomalies des profils de rétablissement de la cyclicité *postpartum* chez les vaches laitières Prim'Holstein : relations avec les caractéristiques zootechniques - *Renc Rech Ruminants*, 2004 ; 11 : 400

**VALLET A, BERNY F, PIMPAUD J, LAVEST E, LAGRIVE L** - Facteurs d'élevage associés à l'infécondité des troupeaux laitiers dans les Ardennes - *Bulletin GTV*, 1997 ; n°537 : 23-36

**VALLET A, PACCARD P** - Définition et mesures des paramètres de l'infécondité et de l'infertilité - B.T.I.A., 1984 ; 32 : 2-3

**VILLA-GODOY A, HUGHES TL, EMERY RS, CHAPIN LT, FOGWELL RL** - Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows - J Dairy Sci, 1988 ; 71 (4) : 1063-1072

**VILLA-GODOY A, HUGHES TL, EMERY RS, STANISIEWSKI EP, FOGWELL RL** - Influence of energy balance and body condition on estrus and estrous cycles in Holstein heifers - J Dairy Sci, 1990 ; 73 : 2759-2765

**WALTNER SS, McNAMARA JP, HILLERS JK** - Relationships of body condition score to production variables in high producing Holstein dairy cattle - J Dairy Sci, 1993 ; 76 : 3410-3419

**WATHES DC, TAYLOR VJ, CHENG Z, MANN GE** - Follicle growth, corpus luteum function and their effects on embryo development in *postpartum* dairy cows - Reprod Suppl, 2003 ; 61 : 219-237

**WEAVER LD** - Effects of nutrition on reproduction in dairy cows - Vet Clin Of North Amer : Food Anim Pract, 1987 ; 3 : 513-521

**WEBB R, CAMPBELL BK, GARVERICK HA, GONG JG, GUTIERREZ CG, ARMSTRONG DG** - Molecular mechanisms regulating follicular recruitment and selection - J Reprod Fertil Suppl, 1999 ; 54 : 33-48

**WEBB R, GARNSWORTHY PC, GONG JG, ARMSTRONG DG** - Control of follicular growth : local interactions and nutritional influences - J Anim Sci, 2004 ; 82 (E. Suppl.) : E63-E74

**WEBB R, NICHOLAS B, GONG JG, CAMPBELL BK, GUTIERREZ CG, GARVERICK HA, ARMSTRONG DG** - Mechanisms regulating follicular development and selection of the dominant follicle - Reprod Suppl, 2003 ; 61 : 71-90

**WESTWOOD CT, LEAN IJ, GARVIN JK** - Factors influencing fertility of Holstein dairy cows : a multivariate description - J Dairy Sci, 2002 ; 85 : 3225-3237

**WILLIAMS GL, AMSTALDEN M, GARCIA MR, STANKO RL, NIZIELSKI SE, MORRISON CD, KEISLER DH** - Leptin and its role in the central regulation of reproduction in cattle - Dom Anim Endocrinol, 2002 ; 23 : 339-349

**WOLFENSON D, INBAR G, ROTH Z, KAIM M, BLOCH A, BRAW-TAL R** - Follicular dynamics and concentrations of steroids and gonadotrophins in lactating cows and nulliparous heifers - Theriogenology, 2004 ; 62 : 1042-1055

**ZULU VC, SAWAMUKAI Y, NAKADA K, KIDA K, MORIYOSHI M** - Relationship among insulin-like growth factor-I, blood metabolites and *postpartum* ovarian function in dairy cows - J Vet Med Sci, 2002 ; 64 (10) : 879-885

**ZUREK E, FOXCROFT GR, KENNELLY JJ** - Metabolic status and interval to first ovulation in *postpartum* dairy cows - J Dairy Sci, 1995 ; 78 : 1909-1920



**BOSIO Laurent**

RELATIONS ENTRE FERTILITE ET EVOLUTION DE L'ETAT CORPOREL CHEZ LA VACHE LAITIERE : LE POINT SUR LA BIBLIOGRAPHIE

**Thèse Vétérinaire : Lyon , le 12 Septembre 2006**

**RESUME :**

Les performances de reproduction chez les vaches laitières hautes productrices, essentiellement en race Prim'Holstein, se sont dégradées au cours des deux dernières décennies. La littérature identifie le déficit énergétique *postpartum* comme facteur majeur de risque de l'infertilité en élevage bovin laitier. Les connaissances physiologiques actualisées sur la cyclicité oestrale et sa reprise *postpartum* chez la vache laitière sont exposées. La méthode de notation de l'état corporel est présentée comme un outil zootechnique fiable et pratique pour l'évaluation de la balance énergétique des femelles reproductrices au cours du *postpartum*, période aux contraintes nutritionnelles particulières. L'exagération de la perte d'état corporel *postpartum* est reliée négativement à la précocité de la reprise de l'activité ovarienne, à la viabilité embryonnaire ainsi qu'à l'expression des chaleurs. La notion de profil optimal d'état corporel est dégagée, visant à la limitation des effets délétères du déficit énergétique sur les performances de reproduction. Lors de déficit énergétique prolongé, des médiateurs hormonaux et métaboliques sont impliqués dans la perturbation de la sécrétion hypophysaire de LH et du développement folliculaire.

**MOTS CLES :**

- |                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| - Vache laitière haute productrice | - Postpartum   |
| - Prim'Holstein                    | - Alimentation |
| - Fertilité                        | - Cyclicité    |
| - Note d'état corporel             | - Anoestrus    |

**JURY :**

Président :	Monsieur le Professeur BERLAND
1er Assesseur :	Monsieur le Docteur MARTINOT
2ème Assesseur :	Monsieur le Docteur GRANCHER

**DATE DE SOUTENANCE :** 12 Septembre 2006

**ADRESSE DE L'AUTEUR :** 19, rue Pailleron  
69004 LYON