

# Physiologie de la production et composition chimique du colostrum des grands mammifères domestiques: généralités

ABDOU H.<sup>1</sup>, MARICHATOU H.<sup>1</sup>, BECKERS J.-F.<sup>2</sup>, DUFRASNE I.<sup>3</sup>, HORNICK J.-L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département Productions animales, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger ;

<sup>2</sup> Département des Sciences fonctionnelles, Physiologie de la Reproduction, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, 20, Boulevard de Colonster, Bâtiment B41, 4000 Liège, Belgique ;

<sup>3</sup> Département de Productions animales, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, 20, Boulevard de Colonster, Bâtiment B43, 4000 Liège, Belgique.

Correspondance : Prof. J.-L. Honnick, tél : +32(0)4/366.41.31 Email : jlhornick@ulg.ac.be

Remerciements : Ce travail a été financé par la Coopération Technique Belge (CTB). Les auteurs tiennent à remercier cet organisme.

**RÉSUMÉ** : Chez la plupart des espèces de mammifères, l'ingestion de colostrum est indispensable à la survie du nouveau-né. L'objectif principal du présent travail est de faire une synthèse des données d'études portant sur le colostrum, en particulier sur la physiologie de sa production et sa composition chimique. La séquence des événements qui aboutissent à la production du colostrum est identique chez toutes les espèces. Toutefois, la durée de ces phases varie. Le colostrum est riche en immunoglobulines (IgG, IgA, IgM, IgE et IgD), en éléments nutritifs (protéines, lipides, lactoses, matières minérales), en hormones et facteurs de croissance (prolactine, insuline, œstrogènes, IgF), en cellules immunitaires (leucocytes, cellules épithéliales), en vitamines ( $\beta_2$ -carotène, vitamine E), et enfin en enzymes telles que la lactoperoxydase et la phosphatase alcaline. Sa composition est sous la dépendance de facteurs que l'on peut regrouper en intrinsèques, liés à l'animal, et extrinsèques ou environnementaux. Le colostrum renferme tous les éléments nécessaires permettant non seulement une protection contre les

## 1. INTRODUCTION

À la naissance, la survie des mammifères est favorisée par l'ingestion du colostrum maternel (Allemand, 2008). Celui-ci apporte les nutriments et les anticorps nécessaires à une protection transitoire contre les agressions extérieures physiques et biologiques ainsi que des effecteurs physiologiques tels que des facteurs de croissance et des hormones (Boudry *et al.*, 2008).

Le colostrum est le premier lait après le part (Allemand, 2008). Il s'en distingue non seulement du point de vue physique – il est jaunâtre, plus dense, plus épais et plus visqueux que le lait (Serieys, 1993) –, mais également par ses caractéristiques chimiques (Ahmad *et al.*, 2000). Son aspect physico-chimique diffère également selon les espèces : par exemple, le colostrum de la brebis est plus visqueux que celui de la vache (Abdou, 2010).

La progression de l'état du colostrum vers celle du lait s'effectue en fonction du temps. Les avis divergent cependant sur la durée du passage du premier au second. Selon plusieurs auteurs, il peut être extrait pendant les 12 à 48 heures après le part par la tétée du nouveau-né ou par traites (Foley et Otterby, 1978 ; Larson *et al.*, 1980 ; Devillers *et al.*, 2006 ; Mailard, 2006). Mais Gartioux (2003) définit le colostrum comme étant le produit de la traite des six premiers jours suivant le part. Pour d'autres auteurs (Serieys, 1993 ; Scammell, 2001 ; Marzo, 2007 ; Tsloulpas *et al.*, 2007 ; Boudry *et al.*, 2008 ; Socié-Jacob, 2008 ; Kirschvink, 2008), le colostrum est sécrété durant l'intervalle compris entre 3 voire 4 jours après la mise bas. Levieux (1999), quant à lui, indique qu'au troisième jour de lactation, le lait contient encore 5 à 10 % de colostrum et 1 à 2 % au septième jour.

Chez les ruminants, la littérature rapporte une grande variabilité et une rapide évolution de la composition du colostrum au cours du temps, ainsi que des différences importantes entre espèces (Hadjipanayiotou, 1995).

La présente synthèse vise à faire le point sur les données de littérature relatives au colostrum des mammifères domestiques en général et des ruminants domestiques en particulier, en tant que promoteur de croissance chez les jeunes animaux à la naissance et au sevrage. Le travail décrit d'abord le mécanisme de sécrétion du colostrum et son contrôle hormonal, puis traite de sa composition chimique, de son importance pour le nouveau-né et des rôles de ses différents composants. Finalement, cet article évoque les principaux facteurs de variation de la composition du colostrum.

## 2. MECANISMES DE SECRETION DU COLOSTRUM ET SON CONTRÔLE HORMONAL

La lactation est une fonction propre à la classe des mammifères, destinée à alimenter le nouveau-né jusqu'à son indépendance physiologique au sevrage. On l'apparente également au stade physiologique d'une femelle, qui s'étend du part au tarissement. Toutefois, les physiologistes indiquent qu'elle commence à partir du stade fœtal de la gestation par le développement chez la mère des glandes mammaires (Hartmaan et Holmes, 1989 ; Massoni, 2003). La sécrétion du colostrum et du lait par les mamelles est un état physiologique qui peut se superposer à une activité ovarienne normale, à une gestation ou à un état *post-partum* des mammifères (Lagrande *et al.*, 1993) et s'inscrit dans les phases de la physiologie mammaire.

La physiologie du développement et de la production mammaire comprend trois phases importantes, à savoir la mammogénèse qui correspond à la période du développement des tissus sécrétoires, adipeux et conjonctifs (Massoni, 2003), puis la lactogénèse communément appelée montée laiteuse et, enfin, la galactopoïèse qui correspond à l'entretien de la sécrétion du lait tout long de l'allaitement. La mammogénèse est déjà initiée avant la naissance. Ensuite elle progresse considérablement au moment de la puberté pour se terminer pendant la gestation. En règle générale, le contrôle hormonal du développement mammaire repose essentiellement sur l'activité de trois glandes endocrines: l'hypophyse, l'ovaire et le placenta.

La lactogénèse débute par la production du colostrum. L'essentiel du colostrum est synthétisé au cours de 2 voire 4 dernières semaines avant la mise-bas (Kensinger *et al.*, 1986).

Mais la synthèse colostrale est sous l'influence et le contrôle d'événements hormonaux qui surviennent lors de la gestation, de la mise-bas et de la lactation (Nielsen *et al.*, 2001 ; Devillers *et al.*, 2006). La figure 1 décrit le processus qui aboutit à la sécrétion du colostrum puis du lait.

### 2.1. La mammogénèse

La mammogénèse est la plus longue des périodes du développement et de la production mammaire et en constitue l'étape cruciale. Elle a lieu au cours de trois périodes essentielles que sont le développement fœtal, la puberté et la gestation.

Chez la femelle, les premières ébauches de glandes mammaires commencent à apparaître le long de deux lignes qui vont du creux axillaire à la région inguinale (Lagrande *et al.*, 1993). Chez les ruminants domestiques, la glande mammaire subit, de la naissance jusqu'à 3 mois, une croissance relativement lente qui suit celle du corps (croissance isométrique). Elle devient ensuite plus rapide que celle du corps (croissance allométrique) pendant la période prépubertaire (Sinha et Tucker, 1969 ; Tucker, 1981 ; Akers, 1990 ; Ellis *et al.*, 1995). Dès la puberté, la croissance de la glande mammaire s'accélère considérablement, sous l'influence des hormones sécrétées par l'ovaire (Martel et Houdebine, 1982 ; Tucker, 2000) et les conduits lactifères commencent à se développer. Mais c'est surtout au cours de la gestation et principalement à la fin de celle-ci que se réalise leur développement (Peaker *et al.*, 1979 ; Martel et Houdebine, 1982 ; Akers, 1990), le tissu sécrétoire devenant alors pleinement opérationnel. Cette durée de maturation varie en fonction de la race, et des facteurs environnementaux (Veissier *et al.*, 1999).

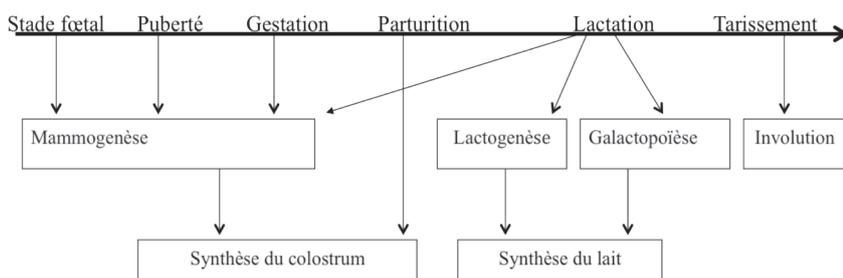
Chez la mère, au cours de la mammogénèse, les canaux se multiplient et se développent principalement sous l'influence de l'œstradiol (E2) en synergie avec l'hormone de croissance (*Growth Hormone* ou GH) maternelle, mais surtout l'hormone placentaire somatotrope (*Chorionic Somatotropin* ou CS, appelée aussi *Placental Lactogen* ou PL) ainsi que des glucocorticoïdes (Tucker, 2000). Les alvéoles et lobules se différencient sous l'effet conjugué de la prolactine (PRL), du PL, de l'E2, de la progestérone (P4) et de la GH (Tucker, 1981). La contraction des acini est régie quant à elle par l'ocytocine.

Chez des cochettes ovariectomisées, la progestérone stimule, en association avec l'œstradiol, la croissance du parenchyme et des lobules mammaires (Hurley *et al.*, 1991 ; Winn *et al.*, 1994 ; Zaleski *et al.*, 1996). L'un des rôles spectaculaires des œstrogènes et de la progestérone est d'ailleurs leur capacité à induire une lactation chez les ruminants sans nécessité de gestation préalable et à condition d'injecter simultanément des corticoïdes (Heald, 1974).

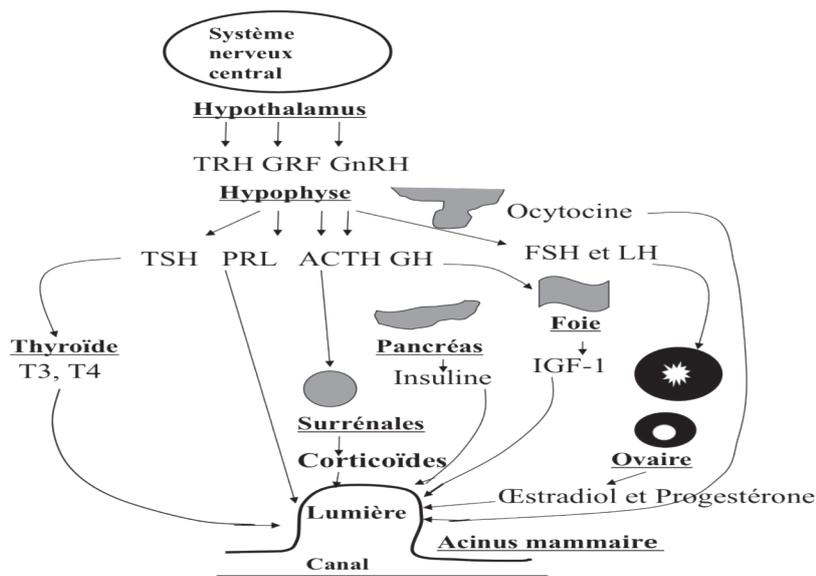
La prolactine (PRL) et les glucocorticoïdes interviennent aussi dans la régulation de la mammogénèse. Ces deux hormones ont chacune une action stimulatrice à ce niveau (Farmer *et al.*, 2000 ; Delouis *et al.*, 2001). Chez des nombreuses espèces, parmi lesquelles la brebis, la chèvre et la vache, le PL a une action sur la croissance de la glande mammaire (Zarrouk *et al.*, 2001). Par ailleurs, il semble qu'une relation existe entre le nombre de fœtus, le taux du PL circulant et le degré de développement de la glande mammaire (Martel et Houdebine, 1982).

À ces équilibres hormonaux spécifiques de la gestation, s'ajoutent des hormones courantes du métabolisme général (Erb, 1977). En effet, si ce sont effectivement les œstrogènes et la progestérone qui déclenchent la croissance des alvéoles, ces hormones ne sont pas responsables seules directement des multiplications cellulaires (Weber *et al.*, 1998 ; 2000 ; Holland et Holland, 2005). Elles agissent en synergie avec différentes hormones (figure 2) telles que l'insuline, la prolactine, les glucocorticoïdes, les facteurs de croissance de l'épiderme (EGF) et ont pour rôle de sensibiliser le tissu mammaire aux actions des divers agents responsables de la multiplication cellulaire parmi les-

Figure 1 : Processus aboutissant à la sécrétion du colostrum puis du lait.



**Figure 2 :** Interactions hormonales simplifiées intervenant dans le développement de la mamelle et dans le déclenchement et l'entretien des sécrétions mammaires (adapté de Bousquet, 1993).



quels figurent les hormones évoquées ci-dessus (Martel et Houdebine, 1982).

## 2.2. La lactogénèse

La lactogénèse correspond à la phase décisive de la production du colostrum (Kensinger *et al.*, 1986). Si la montée laiteuse proprement dite se déclenche juste après le part, des études ont cependant permis de montrer que la lactogénèse comprend deux étapes. La première est caractérisée par une différenciation des cellules alvéolaires (Delouis *et al.*, 1980 ; Fleming *et al.*, 1986) et l'installation du métabolisme mammaire en fin de gestation, avec une activité sécrétrice des cellules épithéliales mammaires et une accumulation progressive dans la lumière des alvéoles des précurseurs du colostrum tels que les protéines, les gouttelettes lipidiques, les électrolytes (Na, K, Cl). La seconde partie, ou lactogénèse II, est l'étape au cours de laquelle les cellules épithéliales mammaires sécrètent abondamment du colostrum (Delouis *et al.*, 1980 ; Fleming *et al.*, 1986 ; Hartmann et Holmes, 1989), puis du lait.

Dans les dernières 48 heures avant la mise-bas, on observe une diminution progressive des taux plasmatiques de progestérone (7 à 8 ng/ml) (Ousey *et al.*, 1987 ; Haluska et Curriie, 1988 ; Rossdale *et al.*, 1992) et une forte augmentation de la concentration en œstradiol (5 ng/ml) chez la vache

(Derivaux *et al.*, 1976). La baisse du taux de progestérone après l'expulsion du fœtus et de ses enveloppes favorise la libération de la PRL, hormone co-responsable de la lactation au sein d'un complexe moléculaire appelé « facteur galactogène » (Martel et Houdebine, 1982). L'axe hypothalamo-hypophysaire joue un rôle important à ce niveau (Denamur et Delouis, 1972 ; Denamur et Kann, 1973) dans la mesure où il assure une sécrétion permanente de la PRL, principale hormone de la mise en place de la lactation (Farmer *et al.*, 2000).

Autour de la mise-bas, on observe également une libération de relaxine sécrétée notamment par le corps jaune chez les mammifères (Nicolas et Hubert, 2002). La relaxine est une hormone dont la source diffère selon les espèces. Chez les ruminants domestiques (vache, brebis, chèvre) et la truie, cette hormone est produite par le corps jaune tandis que chez la jument, elle provient du placenta (Johnson et Everitt, 2001). Elle inhibe la sécrétion de l'ocytocine chez certaines espèces, et l'antagonise (Sherwood, 2004). Devillers et collaborateurs (2006) ont rapporté que la relaxine n'a pas d'effet sur l'initiation de la lactation chez la truie en raison de la concentration basale très élevée de l'ocytocine au moment de la mise bas, aboutissant à une éjection quasi-permanente de colostrum. À noter que chez des nombreuses espèces de mammifères, la relaxine joue un rôle dans la plas-

ticité des organes génitaux particulièrement au moment de la mise bas, en provoquant l'élongation des ligaments pelviens et le relâchement du col de l'utérus (Sherwood, 1994).

L'ocytocine fait partie aussi du cocktail des hormones dont dépend la fonction mammaire. Cette hormone stimule les contractions des muscles lisses, notamment des cellules myoépithéliales de l'utérus et celles qui entourent l'acinus et induisent l'éjection du lait (Senger, 2005). Elle est libérée par la neurohypophyse en réponse à un stimulus mécanique comme la dilatation du col utérin ou la tétée. On observe dans les heures qui précèdent la parturition un pic de cette hormone (Castrén *et al.*, 1993). Des études réalisées chez la brebis ont montré également que la stimulation du tractus génital au moment du part entraîne une libération d'ocytocine dans le sang périphérique et dans le cerveau chez ce mammifère (Kendrick *et al.*, 1988). Cette stimulation semble jouer un rôle facilitateur dans l'apparition du comportement maternel au moment du part (Kendrick *et al.*, 1988). Chez la jument, la sécrétion de l'ocytocine stimule non seulement les contractions utérines, mais également celles des cellules myoépithéliales mammaires (Smith et Chepko, 2001).

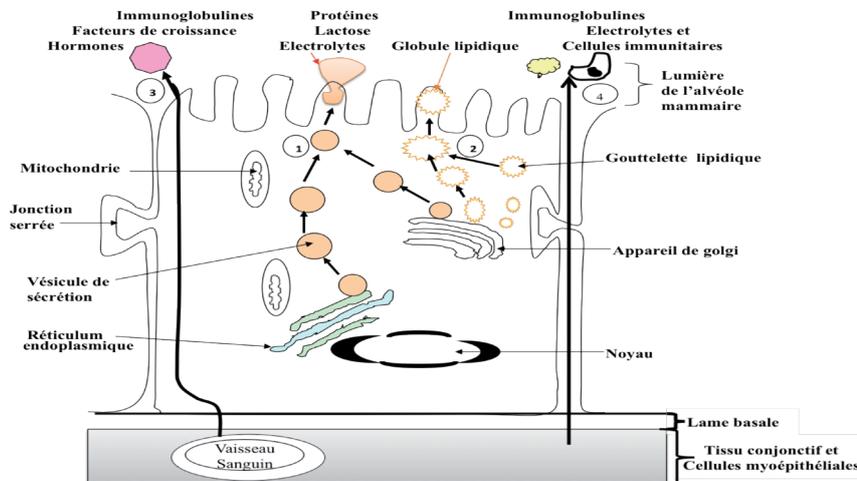
## 2.3. La galactopoïèse

La galactopoïèse correspond à l'entretien de la lactation (colostrum puis lait) pendant toute la durée de l'allaitement, et résulte d'une action neuro-hormonale dont l'origine est le stimulus de succion ou la palpation du trayon. L'hypophyse libère dans le sang des hormones telles que la prolactine qui est véhiculée vers la glande mammaire (Delouis *et al.*, 2001).

## 2.4. La sécrétion des composants du colostrum

Les cellules épithéliales des acini mammaires constituent le lieu de la sécrétion de différents composants du colostrum et du lait. En fin de gestation, les constituants du colostrum sont sécrétés dans la lumière des alvéoles à partir de quatre voies principales : exocytose, enrobage de la membrane cellulaire, voie trans-cellulaire et voie para-cellulaire (figure 3). Les protéines et le lactose sont synthétisés dans le réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi des cellules

**Figure 3** : structure d'une cellule épithéliale mammaire et mécanisme de sécrétion des constituants du colostrum (adapté de Delouis *et al.*, 2001). Les constituants du colostrum sont sécrétés dans la lumière des alvéoles à partir de quatre voies principales : exocytose (1), sécrétion de gouttelettes lipidiques par enrobage de la membrane cellulaire (2), voie trans-cellulaire (3) et voie para-cellulaire (4).



épithéliales (Delouis *et al.*, 2001). Le contenu des vésicules est libéré dans la lumière des alvéoles par exocytose, par simple fusion des vésicules avec la membrane cellulaire (Klopfenstein *et al.*, 2002). Les gouttelettes lipidiques proviennent des mitochondries

et sont libérées dans la lumière alvéolaire après enrobage par la membrane cellulaire, formant les globules lipidiques (Keenan, 2001). Une troisième voie, dite trans-cellulaire, permet aux immunoglobulines (Ig) plasmatiques (Klopfenstein *et al.*, 2002) et à

plusieurs autres facteurs de croissance et hormones de traverser par exocytose la membrane cellulaire apicale des cellules pour aboutir dans la lumière alvéolaire. En fin de gestation, les jonctions serrées, qui assurent l'étanchéité de l'épithélium mammaire, sont ouvertes et permettent le passage, entre les cellules épithéliales, de cellules immunitaires, d'immunoglobulines plasmatiques et d'électrolytes vers la lumière alvéolaire (Klopfenstein *et al.*, 2002).

### 3. COMPOSITION CHIMIQUE ET RÔLE DE COMPOSANTS DU COLOSTRUM

#### 3.1. Composition chimique du colostrum

Le colostrum est une source des nombreux nutriments protéiques, glucidiques, lipidiques (Kulkarni et Pimpale, 1989 ; Nowak et Poindron, 2006), vitaminiques et minéraux mais également de facteurs de croissance et d'hormones tels que les *insulin-like Growth Factor* (IGF) I et II, l'insuline, les *Beta Transforming Growth Factors* (TGF)  $\beta$ 1 et  $\beta$ 2 (Pakkanen

**Tableau I** : composants chimiques majeurs du colostrum et du lait de quelques grands mammifères domestiques (échantillons du colostrum récoltés avant la première tétée du nouveau-né pour les uns et pour d'autres au maxima dans les 24 heures suivant la parturition).

	Espèces animales	Composants (g/l)				Références	
		protéines	lipides	lactoses	minéraux		
Colostrum	Vache	160,0	50,0	30,0	12,0	(Levieux, 1999)	
		145,6	62,4	28,1	-	(Foley et Otterby, 1978)	
		41,0	41,5	36,5	-	(Kulkarni et Pimpale, 1989)	
		133,0	64,0	-	18,0	(Blum et Hammon, 2000)	
	Brebis	140,0	67,0	27,0	11,1	(Gopal et Gill, 2000)	
		68,3	73,2	46,0	9,1	(Hadjipanayiotou, 1995)	
		55,0	70,0	50,0	9,0	(Nowak et Poindron, 2006)	
		70,0	70,0	50,0	9,0	(Marzo, 2007)	
		Chèvre	54,1	61,5	44,3	8,7	(Hadjipanayiotou, 1995)
		Truie	94,6	50,0	45,7	-	(Le Dividich <i>et al.</i> , 1989)
Lait	Vache	124,0	46,0	30,0	-	(Le Dividich <i>et al.</i> , 1989)	
		30,5	32,5	40,2	6,7	(Sboui <i>et al.</i> , 2009)	
		30,1	31,5	-	7,1	(Hadjipanayiotou, 1995)	
		35,0	39,0	4,9	8,0	(Levieux, 1999)	
	Brebis	32,0	39,0	-	7,0	(Blum et Hammon, 2000)	
		55,5	47,3	-	9,0	(Hadjipanayiotou, 1995)	
		37,5	45,0	42,5	9,0	(Marzo, 2007)	
		Chèvre	39,3	41,0	-	8,0	(Hadjipanayiotou, 1995)
Truie	51,0	43,0	38,0	-			

(-) : pas de données

**Tableau II** : isotypes d'immunoglobulines du colostrum et du lait de quelques grands mammifères domestiques.

	Espèces animales	Immunoglobulines (g/l)				Références
		IgG1	IgG2	IgA	IgM	
Colostrum		80,0	-	2,0	3,0	(Serieys, 1993)
		22,7	9,4	-	4,0	(Andrew, 2001)
		46,4	2,9	5,4	6,8	(Thiry <i>et al.</i> , 2002)
		35,0	6,0	1,7	4,3	(Kehoe <i>et al.</i> , 2007)
	Vache	90,0	2,8	1,6	4,5	(Elfstrand <i>et al.</i> , 2002)
		35,0	6,0	1,7	4,3	
Brebis		60,1	15,8	1,0	2,0	(Serieys, 1993)
Chèvre		47,6	-	4,3	5,0	(Levieux <i>et al.</i> , 2001)
Truie		59,0	2,8	9,0	1,5	(Serieys, 1993)
Lait	Vache	3,1	3,2	-	0,6	(Andrew, 2001)
		0,5	0,03	0,02	0,1	(Elfstrand <i>et al.</i> , 2002)

(-): pas d'information

*et al.*, 1997 ; Playford *et al.*, 2000) et des composés antimicrobiens – immunoglobulines, cytokines, lysozymes, lactoferrine, lactoperoxydase (Foley et Otterby 1978 ; Pearson *et al.*, 1984 ; Lavoie *et al.*, 1989 ; Leblanc *et al.*, 1992 ; Hadjipanayiotou, 1995 ; Pakkanen *et al.*, 1997 ; Kehoe *et al.*, 2007). En fonction de leurs teneurs respectives dans le colostrum, ces éléments peuvent être classés en deux principaux groupes, à savoir les éléments majeurs et les éléments mineurs.

### 3.1.1. Les éléments majeurs

La composante majeure du colostrum est constituée des protéines, des lipides, des sucres et des sels minéraux (tableau I). Les teneurs diffèrent selon les auteurs et varient fortement d'une espèce à l'autre. Ces différences sont notamment liées à la structure placentaire (Silim *et al.*, 1990).

Les protéines du colostrum sont principalement représentées par les albumines et les immunoglobulines. Le tableau II présente les teneurs en isotopes d'immunoglobulines (IgG, IgA, IgM) dans le colostrum avant la première tétée du jeune et dans le lait.

Les lipides du colostrum sont constitués d'acides gras et d'esters méthyliques. Les principaux acides gras représentés sont l'acide myristique (C14:0), l'acide palmitique (C 16:0), l'acide palmitoléique (C16:1), l'acide stéarique (C18:0), l'acide oléique (C18:1), l'acide linoléique (C18:2) et l'acide linoléique (C18:3) (Le Dividich *et al.*, 1989).

Le colostrum contient également des glucides, essentiellement le lactose

(Kehoe *et al.*, 2007), et aussi une grande variété d'éléments minéraux. Les plus importants sont le calcium (Ca), le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na), le magnésium (Mg), le soufre (S). Les oligo-éléments, tels que le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le cobalt (Co) et l'iode (I) sont également présents. Ces derniers sont deux à cinq fois plus concentrés dans le colostrum que dans le lait (Mathieu, 1985).

### 3.1.2. Les éléments mineurs

Le colostrum contient des hormones, des vitamines, des enzymes, mais également des composantes cellulaires et des nombreux facteurs de croissance. Les principales enzymes du colostrum sont la lactoperoxydase, la phosphatase alcaline, la plasmine, le lysozyme (Boudry *et al.*, 2008). Ces enzymes présentent toutes des concentrations plus élevées dans le colostrum que

dans le lait et ont pour rôle de lutter contre les microorganismes.

Le tableau III indique quelques hormones présentes dans le colostrum et le lait de vache. Ces hormones, une fois assimilées par les jeunes animaux, peuvent stimuler le métabolisme de certains organes et tissus. Les IGF-1 et 2 constituent une composante essentielle parmi les facteurs de croissance dans le colostrum de la vache (Akers *et al.*, 2000 ; Hammon *et al.*, 2000). En effet, des études ont mis en évidence que des ARNm codant pour deux types de récepteurs à la GH et un récepteur à l'IGF-1 sont produits dans l'épithélium mammaire, suggérant que la GH interagit directement sur les cellules épithéliales pour provoquer la production d'IGF-1 qui à son tour régule des fonctions de croissance et de sécrétion (Murphy *et al.*, 1987). Les IGF-1 et 2 stimulent la croissance et la prolifération cellulaires et agissent en synergie avec les hormones du système endocrinien (Jones et Clemmons, 1995).

Dans le colostrum, les teneurs en vitamines, notamment en  $\beta$ -carotène et vitamine E ( $\alpha$ -tocophérol) sont cinq à dix fois supérieures à celles du lait (Kincaid et Cronrath, 1992). Les travaux de Foley et Otterby, (1978) et de Kehoe et collaborateurs (2007) rapportent des fortes concentrations en certaines vitamines dans le colostrum, telles que la thiamine (0,6 et 2,1 mg/l), la riboflavine (4,8 et 9,2 mg/l) et la niacine (1 et 1,6 mg/l) ainsi qu'en acide folique ( $10^{-5}$   $\mu$ g/l), et en cyanocobalamine (5 et  $11 \times 10^{-5}$   $\mu$ g/l).

Le colostrum renferme des nombreuses cellules vivantes, essentiellement des leucocytes (lymphocytes) et

**Tableau III** : concentrations rapportées dans la littérature en différentes hormones dans le colostrum et le lait de vache

Hormones	Teneur ( $\mu$ g/l)		Références
	colostrum	lait	
IGF-1	1050,0	22,9	(Elfstrand <i>et al.</i> , 2002)
	310	2	(Blum et Hammon, 2000)
IGF-2	400,0	9,9	(Pakkanen et Alto, 1997)
	150	-	(Blum et Hammon, 2000)
Prolactine	280,0	15,0	(Blum et Hammon, 2000)
TGF- $\beta$ 2	200,0	1,5	(Elfstrand <i>et al.</i> , 2002)
GH	60,0	2,5	(Einspanier et Schams, 1991)
	1,4	1	(Blum et Hammon, 2000)
Insuline	65	1	(Blum et Hammon, 2000)
	100,0	2,5	(Schams et Einspanier, 1991)
GnRH	11,8	3,9	(Amarant <i>et al.</i> , 1982)
TRH	0,2	0,05	(Strbak <i>et al.</i> , 1991)

des cellules épithéliales sécrétoires. Comme chez le bovin et l'homme (Taylor et Stampfer, 1991), le colostrum de truie contient des cellules épithéliales d'origine mammaire aptes à se multiplier *in vitro*. Le rôle des cellules vivantes colostrales dans la défense immunitaire du nouveau-né serait vraisemblablement passif (Rainard et Riollet, 2006).

### 3.2 Importance et rôle des composants du colostrum

D'une manière générale, l'ingestion du colostrum stimule le développement et le fonctionnement du tractus gastro-intestinal (Blum et Hammon, 2000) et provoque une stimulation du système immunitaire des nouveau-nés (Serieys, 1993), entraînant une maturation histologique des organes lymphoïdes: augmentation de la taille des plaques de Peyer et différenciation entre cortex et medulla des ganglions lymphatiques (Raboisson *et al.*, 2008). Par ailleurs, les travaux de Boudry et collaborateurs (2005) ont montré que l'administration du colostrum bovin chez les porcelets permet une augmentation du nombre de lymphocytes B et T dans les plaques de Peyer iléales. Ce phénomène confirme l'hypothèse selon laquelle le colostrum stimule le système immunitaire au niveau de la sphère intestinale (Boudry *et al.*, 2005).

De 60 à 80 % des protéines du colostrum sont des immunoglobulines (IgG, IgA) qui confèrent aux nouveau-nés une immunité non seulement locale, contre notamment les pathogènes gastro-intestinaux, (Serieys, 1993 ; Contrepois, 1996), mais également systémique contre les agents septicémiques et infectieux (Serieys, 1993 ; Gartiaux, 2003).

Les promoteurs de croissance les plus connus sont les IGF-1 et 2. Ils seraient impliqués dans la stimulation de la croissance et la multiplication cellulaire dans le sphère intestinale chez le nouveau-né (Akers *et al.*, 2000 ; Boudry *et al.*, 2008). Selon Serieys (1993), ces molécules semblent favoriser aussi le développement d'une flore commensale dressant une barrière protectrice microbienne (*Lactobacillus acidophilus*, *Enterococcus faecium* et *bovis*, *Bifidobacterium brevium*). Des études ont montré chez les porcelets sevrés que l'apport d'un extrait de colostrum riche en facteurs de croissance (IGF) dans l'aliment limite l'atrophie

de villosités et accélère la synthèse protéique au niveau duodénal (Marion *et al.*, 2002). Par ailleurs, les travaux de Burrin et collaborateur (1992) ont révélé que l'administration orale d'IGF-1 chez les porcelets nouveau-nés augmente la hauteur des villosités et ce, proportionnellement à la dose.

Les facteurs antimicrobiens non spécifiques (lactoferrine, lactoperoxydase, lysozymes) et les facteurs tels que les cytokines qui ont à la fois des actions spécifiques et non spécifiques jouent également un rôle crucial dans la survie du nouveau-né dans la mesure où ils assurent une protection contre les maladies infectieuses (Boudry *et al.*, 2008). La lactoferrine inhibe la croissance de nombreux microbes (Pakkannen *et al.*, 1997). Elle est impliquée dans le mécanisme d'absorption du fer dans l'intestin et dans l'activation des phagocytes et les réponses immunitaires (Viljoen, 1995). La lactoferrine a la possibilité également, grâce à sa liaison au fer libre, d'agir comme antioxydant pour protéger les cellules du système immunitaire contre les radicaux libres autoproduits dans les zones d'inflammation ou d'infection (Britigan *et al.*, 1994 ; 2001).

Par sa capacité à produire des produits oxydants, la lactoperoxydase inhibe le métabolisme des bactéries par oxydation des enzymes et autres protéines microbiennes (Pruitt et Reitter, 1985).

Le lysozyme est une fraction antimicrobienne qui, d'une part, active la lactoperoxydase pour former un complexe avec cette dernière (Hulea *et al.*, 1989) et d'autre part agit en synergie avec la lactoferrine (Yamauchi *et al.*, 1993).

Les cytokines agissent en tant qu'adjuvant dans la modulation du système immunitaire (Scheerlinck *et al.*, 1998). Chez le nouveau-né, ces molécules agissent en synergie avec les Ig maternelles ingérées (Playford *et al.*, 2000) et seraient impliquées dans la régulation de la réparation intestinale après inflammation (Elson et Beaglay, 1994).

Thiry et collaborateur (2002) ont indiqué que, chez les bovins, on note une concentration sanguine relativement importante en lymphocytes T colostraux chez le veau nouveau-né, soit 25 à 30 % dans les leucocytes sanguins périphériques. La fonction de cette masse cellulaire n'est pas élucidée, mais semble être celle de cellules tueuses (Thiry *et al.*, 2002).

En dehors des rôles nutritifs et immunitaires, d'autres fonctions sont attribuées au colostrum. Il s'agit du métabolisme protidique, notamment la régulation de l'albuminémie et la concentration plasmatique en protéines totales (Levieux, 1999; Allemand, 2008) ; enfin le colostrum participe aussi à la synthèse des hormones thyroïdiennes (Hadorn *et al.*, 1997) dans la mesure où il renferme une quantité importante d'iode et de sélénium qui sont nécessaires dans leur métabolisme (Gilles, 2007). Les besoins en iode et sélénium sont d'ailleurs très élevés en fin de gestation et les vaches qui en ont bénéficié à cette période présentent de fortes concentrations colostrales en ces éléments (Weiss *et al.*, 1984 ; Abdelrahman et Kincaid, 1995).

Le colostrum intervient également dans le métabolisme lipidique en régulant la concentration plasmatique post-partum en acide gras non estérifiés, en leptine, ainsi que le métabolisme des triglycérides, des phospholipides et du cholestérol (Hadorn *et al.*, 1997 ; Rauprich *et al.*, 2000).

Il régule d'autre part la glycémie, la néoglucogenèse hépatique, et l'insulinémie (Hammon et Blum, 2002).

## 4. FACTEURS DE VARIATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DU COLOSTRUM

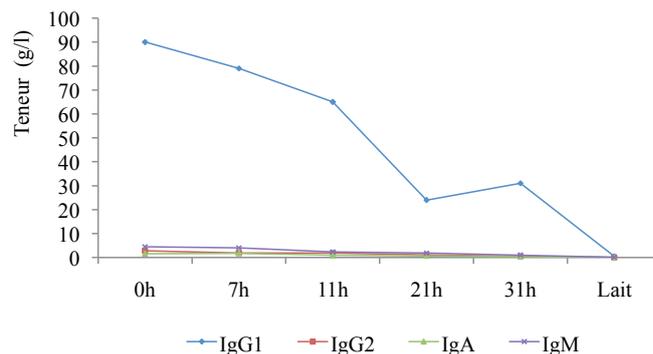
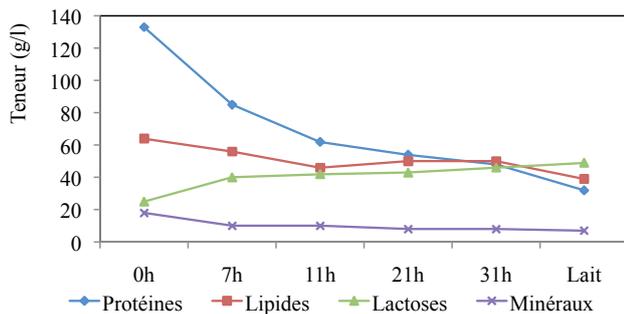
Plusieurs facteurs sont à l'origine de la variation de la composition du colostrum. Ils peuvent être arbitrairement classés en deux catégories, intrinsèques et extrinsèques.

### 4.1. Les facteurs intrinsèques

Il s'agit des facteurs liés à l'animal : les principaux sont l'espèce, la race, le rang de lactation et le numéro de la traite.

À l'exception des protéines, le colostrum de la vache semble être moins riche en éléments nutritifs (lipide et lactose) que celui de la truie, la brebis et la chèvre (voir tableau I). Il existe également des différences importantes rapportées à la composition en immunoglobulines (Hadjipanayiotou, 1995). Chez les ruminants, le placenta est de type épithéliochorial possédant environ cinq couches séparant la circulation maternelle et fœtale (Silim *et al.*, 1990). Ceci lui confère la

**Figures 4a et 4b** : évolution de la composition chimique (4a) et de la teneur en immunoglobulines (Ig) (4b) du colostrum et du lait de vache en fonction du temps (d'après Blum et Hammon, 2000 ; Elfstrand *et al.*, 2002).



propriété d'être vraisemblablement plus sélectif. Il ne permet pas le transfert des immunoglobulines de la mère au jeune avant la naissance.

Il a été vu que l'aspect physico-chimique du colostrum varie en fonction du temps (figures 4 et 5). Chez la vache, les concentrations en IgG sont divisées par deux à chaque traite, pour atteindre 2,5 g/l les 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> jours *post-partum* (Blum et Hammon, 2000).

Enfin, les teneurs en protéines et lipides augmentent d'une lactation à une autre. Selon Marzo (2007), cette évolution n'est pas statistiquement significative chez la brebis, suite à un phénomène de dilution car la brebis produit aussi plus de lait à un âge plus avancé.

#### 4.2. Les facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques regroupent principalement l'état de santé, l'alimentation, la vaccination et le stress. Ils peuvent être considérés comme liés à des facteurs environnementaux.

En général, les productions animales (colostrum, lait, viande) reposent en

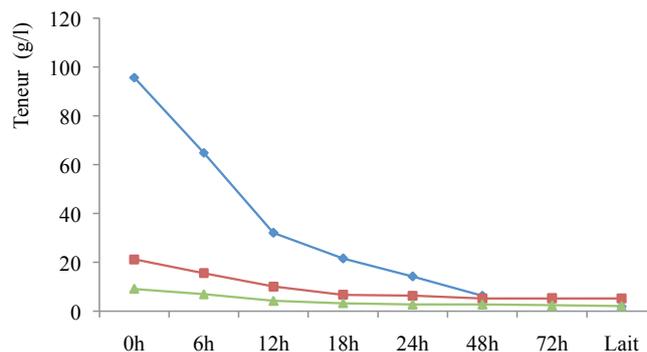
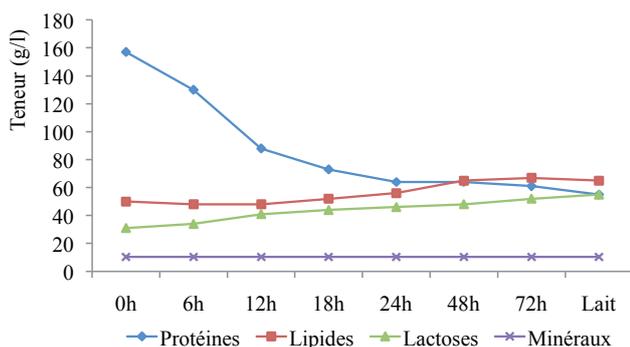
grande partie sur l'état de santé de l'animal (Veissier *et al.*, 1999). Si, en phase de gestation avancée ou en période pré-partum (Miller *et al.* 2000) une femelle se trouve dans des conditions de santé défavorables, il en résulte une médiocre sécrétion quantitative et qualitative de colostrum (Zhao et Lacasse, 2008). À titre d'exemple, la rétention placentaire chez la vache peut entraîner une diminution de la teneur en IgG (Lona et Romero, 2001).

En règle générale, l'alimentation des femelles laitières se compose d'une ration de base et d'un complément (Delaby et Peyraud, 1994). Il existe vraisemblablement très peu de données relatives à l'effet d'un apport de la ration sur la composition du colostrum. Toutefois, les travaux de Bocquier et Caja (2001) et de Devillers et collaborateurs (2005) ont indiqué que l'alimentation pourrait avoir un effet sur la production du colostrum. En effet, le fourrage vert accentue, via le  $\beta$ -carotène, la couleur jaune du colostrum et, dans d'autre cas, il en augmente le volume. La supplémentation ou la complémentation minérale ou

vitaminique ne contribue pas nécessairement à l'amélioration de la production du colostrum. L'étude consistant à supplémenter les animaux soit avec un complexe de minéraux et de vitamines (Ca, P, Mg, Na, Zn, Se, I, Mn, Co et de la vitamine E), soit avec un minéral ou un oligo-élément exclusivement (P, Mg, Zn, Mn, Se, I, Co) n'a montré aucun effet sur la composition du colostrum (Boland *et al.*, 2005).

Les différents facteurs climatiques ont une action directe sur les performances des animaux (West, 2003) dans la mesure où ils gênent le maintien de leur homéothermie. Le stress hyperthermique prolongé provoque ainsi une réduction de la sécrétion des nombreuses hormones (thyroxine, hormone de croissance, insuline, hormones sexuelles) qui interviennent dans le métabolisme (Wolfenson *et al.*, 1988 ; Collier *et al.*, 1991). En général, ces conséquences intéressent aussi bien la reproduction ou la croissance que les productions proprement dites parmi lesquelles les sécrétions mammaires (Singh *et al.*, 2010). Le stress thermique, quant lui, entraîne

**Figures 5a et 5b** : évolution de la composition chimique (5a) et de la teneur en immunoglobulines (Ig) (5b) du colostrum et du lait de truie en fonction du temps (d'après Klobasa *et al.*, 1987).



des modifications endocriniennes pouvant diminuer le fonctionnement de l'axe somatotrope et la production de prolactine (Dhal, 2008).

Le colostrum confère au nouveau-né une très bonne protection, bien meilleure que sa propre immunité (Gartioux, 2003). Selon Marzo (2007), les anticorps contenus dans le colostrum d'une brebis bien vaccinée avant l'agnelage contre le groupe de maladies à *Clostridium spp.* doit protéger l'agneau pendant 10 à 20 semaines. De même, Serieys (1993) a indiqué que l'ingestion du colostrum pourrait réduire à la fois les effets de la morbidité et la mortalité néonatale. Cependant, l'efficacité de cette protection n'est maximale que si la parturiente a été vaccinée dans les dernières semaines ou 72 heures de la gestation et dans une moindre mesure avant l'ingestion du colostrum par sa progéniture. La vaccination augmente ou diversifie le taux d'anticorps du colostrum de la femelle donneuse. Les travaux de Socié-Jacob (2007) ont montré que l'augmentation des teneurs en anticorps anti-toxines  $\alpha$  et  $\epsilon$  au niveau du sang permettait d'élever les teneurs en anticorps correspondants dans le colostrum des brebis vaccinées. Selon Socié-Jacob (2007), la vaccination des mères contre les toxines  $\alpha$  et  $\epsilon$  de *Clostridium perfringens* n'augmente pas de façon significative la quantité du colostrum, mais améliore la qualité de ce dernier et ses résultats corroborent ceux de Marzo (2007). Gartioux (2003) a rapporté que la vaccination de vaches gestantes, 6 à 3 semaines avant le part, induit l'apparition d'anticorps spécifiques chez la future mère. Une étude portant sur la vaccination systématique et annuelle permettant d'augmenter le taux d'anticorps, conduite

par Thiry et Douart (2001), a confirmé le fait que la vaccination apporte des anticorps spécifiques et augmente par cette même occasion le taux d'Ig du colostrum transféré. En revanche, des études ont montré que la vaccination n'a pas nécessairement d'influence significative sur les taux sériques d'immunoglobulines de la mère, particulièrement de type G (Halliday *et al.*, 1978 ; Marzo, 2007).

## 5. CONCLUSION

Chez la plupart des mammifères d'élevage, le colostrum est produit par la glande mammaire selon une séquence d'événements relativement standards. La synthèse du colostrum est sous l'influence et le contrôle d'événements hormonaux qui surviennent lors de la gestation, de la mise-bas et de la lactation. En règle générale, le contrôle hormonal du développement mammaire repose essentiellement sur l'activité de trois glandes endocrines : l'hypophyse, l'ovaire et le placenta.

Le colostrum est source de protéine, de lipide, de lactose, de minéraux, de vitamines, de facteurs antimicrobiens spécifiques et aspécifiques, de facteurs de croissance dont les plus connus sont IGF-1 et 2, et de cellules. Sa composition dépend de facteurs liés à l'animal, mais aussi de facteurs environnementaux

Le colostrum a non seulement une valeur nutritive mais également une importance immunitaire. Il est une source importante d'énergie pour le nouveau-né afin d'assurer sa thermogénèse et sa croissance. Le défaut d'ingestion du colostrum dans les premières heures qui suivent la naissance, par la tétée ou artificiellement à travers

l'administration orale, hypothèque donc la survie du nouveau-né.

L'amélioration de la qualité du colostrum pourrait ainsi aider à améliorer les conditions de survie des jeunes et donc la productivité des élevages.

## Physiology of the production and chemical composition of colostrum of domestic mammals

### SUMMARY

In most mammals, the ingestion of colostrum is essential to the survival of the newborn. The main objective of this work is to synthesize data from studies on colostrum, especially on the physiology of its production and its chemical composition. The sequence of events leading to the production of colostrum is identical in all species. However, the duration of these phases varies. Colostrum is rich in immunoglobulins (IgG, IgA, IgM, IgE and IgD), nutrients (proteins, lipids, lactose, minerals), hormones and growth factors (prolactin, insulin, estrogens, IgF), immune cells (leukocytes cells, epithelial cells), vitamins (carotene, vitamin E) and finally in enzymes such as lactoperoxidase and alkaline phosphatase. Its composition is dependent on many factors that can be divided into intrinsic ones, related to the animal, and extrinsic or environmental ones. Colostrum contains all the elements necessary to not only protection against attacks of pathogens but also to rapid growth of young animals.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABDELRAHMAN M.M., KINCAID R.L. Effect of selenium supplementation of cows on maternal transfer of selenium to fetal and newborn calves. *J. Dairy Sci.*, 1995, **78**, 625-630.
- ABDOU H. Comparaison de la composition chimique du colostrum de la race bovine Azawak et la race ovine Bali Bali du Niger: perspectives d'utilisation en production ovine et caprine. (Mémoire pour l'obtention du Certificat au Doctorat en sciences vétérinaires). Université de Liège : Liège, 2010, 31 p.
- AHMAD R., KHAN A., JAVED M.T., HUSSAIN I. The level of immunoglobulins in relation to neonatal lamb mortality in Pak-Karakul sheep. *Vet. Arhiv*, 2000, **70**, 129-139.
- AKERS R.M. Lactational physiology: a ruminant animal perspective. *Protoptasma*, 1990, **159**, 96-111.
- AKERS R.M., McFADDEN T.B., PURUP S., VESTERGAARD M., SEJRSEN K., CAPUCO, A.V. Local IGF-I axis in peripubertal ruminant mammary development. *J. Mammary Gland. Biol. Neoplasia*, 2000, **5**, 43-51.
- ALLEMAND H. Évaluation par la technique d'immunodiffusion radiale de la qualité du colostrum et du transfert colostrale chez les bovins. (Thèse pour l'obtention du grade de Docteur vétérinaire). Ecole nationale vétérinaire de Lyon : Lyon, 2008, 150 p.
- AMARANT T., FRIDKKEN M., KOCH Y. Luteinizing hormone - releasing hormone and thyrotropin - releasing hormone in human and bovine milk. *Eur. J. Biochem.*, 1982, **127**, 647-650.
- ANDREW S.M. Effect of composition of colostrum and transition milk from Holstein heifers on specificity rates of antibiotic residue tests. *J. Dairy Sci.*, 2001, **84**, 100-106.
- BLUM J.W., HAMMON H.M. Colostrum effects on the gastrointestinal tract, and on nutritional, endocrine and metabolic parameters in neonatal calves. *Livest. Prod. Sci.*, 2000, **66**, 151-159.
- BOCQUIER F., CAJA G. Production et composition du lait de brebis : effets de l'alimentation. *INRA Prod. Anim.*, 2001, **14**, 129-140.
- BOLAND T.M., BROPHY P.O., CALLAN J.J., QUINN P.J., NOWAKOWSKI P., CROSBY T.F. The effects of mineral supplementation to ewes in late pregnancy on colostrum yield and immunoglobulin G absorption in their lambs. *Livest. Prod. Sci.*, 2005, **97**, 141-150.
- BOUDRY C., DALLE M.J., HALLEUX C., PORTETELLE D., ALFRED COLLARD A., HAVAUX X., GIANELLO P., THEWIS A., BULDGEN A., DEHOUX J.P. Effet du colostrum bovin administré à des porcelets au sevrage sur la morphologie de la paroi intestinale et sur le système immunitaire. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, 2005, **37**, 219-224.
- BOUDRY C., DEHOUX J.P., PORTETELLE D., BULDGEN A. Bovine colostrum as a natural growth promoter for newly weaned piglets. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2008, **12**, 157-170.
- BOUSQUET O.M. Les hormones du lait : provenance et rôles. *INRA Prod. Anim.*, 1993, **6**, 253-263.
- BRITIGAN B.E., LEWIS T.S., WALDSCHMIDT M., McCORMICK M.L., KRIEG A.M. Lactoferrin binds CpG-containing oligonucleotides and inhibits their immunostimulatory effects on human B cells. *J. Immunol.*, 2001, **167**, 2921-2928.
- BRITIGAN B.E., SERODY J.S., COHEN M.S. The role of lactoferrin as an anti-inflammatory molecule. In : Hutchens T.W., Rumball S.V., Lonnerdal B. (Eds), Lactoferrin: structure and function, advances in experimental medicine and biology. Plenum Press : New York, 1994, 143-156.
- BURRIN D.G., SCHULMAN R.J., REEDS P.J., DAVIS T.A., GRAVITT K.R. Porcine colostrum and milk stimulate visceral organ and skeletal muscle protein synthesis in neonatal piglets. *J. Nutr.*, 1992, **122**, 1205-1213.
- CASTREN H., ALGERS B., DE PASSILLE A.M., RUSHEN J., UVNAS-MOBERGK. Preparturient variation in progesterone, prolactin, oxytocin and somatostatin in relation to nest building in sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 1993, **38**, 91-102.
- COLLIER R.J., MILLER M.A., HILDEBRANDT J.R., TORKESSON A., WHITE T.C., MADSEN K.S., VICINI J.L., EPPARD P.J., LANZA G.M. Factors affecting insulin-like growth factor-2 concentration in bovine colostrum. *J. Dairy Sci.*, 1991, **74**, 2905-2911.
- CONTREPOIS M. Vaccination contre les colibacilles entérotoxigènes du veau. *Renc. Rech. Ruminants*, 1996, **3**, 131-138.
- DAHL G.E. Effects of short day photoperiod on prolactin signaling in dry cows: a common mechanism among tissues and environment? *J. Anim. Sci.*, 2008, **86**, 10-14.
- DELABY L., PEYRAUD J.L. Influence de la nature du concentré énergétique sur les performances des vaches laitières au pâturage. *Renc. Rech. Ruminants*, 1994, **1**, 113-116.
- DELOUIS C., DIJANE J., HOUEBINE L.M., TERQUI M. Relation between hormones and mammary gland function. *J. Dairy Sci.*, 1980, **63**, 492-1513.
- DELOUIS C., HOUEBINE L.M., RICHARD P. La lactation. In : Thibault C., Lévasseur C. (Eds), La reproduction chez les mammifères et l'homme. INRA Editions-Ellipses : Paris, 2001, 580-610.
- DENAMUR R., DELOUIS C. Effects of progesterone and prolactin on the secretory activity and the nucleic acid content of the mammary gland of pregnant rabbits. *Acta Endocrinol.*, 1972, **70**, 603-618.
- DENAMUR R., KANN G. Luteolytic effects of estradiol after hypophysectomy or pituitary stalk section in cycling sheep. *Acta Endocrinol.*, 1973, **73**, 635-642.
- DERIVAUX J., ECTORS F., BECKERS J.F. Données récentes en gynécologie animale. *Ann. Méd. Vét.*, 1976, **120**, 81-102.
- DEVILLERS N., LE DIVIDICH J., FARMER C., MOUNIER A.M., LEFEBVRE M. Origine et conséquences de la variabilité de la production du colostrum par la truie et de la consommation de colostrum par les porcelets. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, 2005, **37**, 435-442.
- DEVILLERS N., LE DIVIDICH J., PRUNIER A. Physiologie de la

- production de colostrum chez la truie. *INRA Prod. Anim.*, 2006, **19**, 29-38.
- EINSPANIER R., SCHAMS D. Changes in concentrations of insulin-like growth factors 1 and 2 and their binding proteins in human milk: effect of heat treatment on IGF and IGF binding protein stability. *J. Dairy Res.*, 1991, **58**, 171-178.
- ELFSTRAND L., LINDMARK-MANSSOM H., PAULSSONA M., NYBERG C. L., AKESSON B. Immunoglobulin's growth factors and growth hormone in bovine colostrum and the effects of processing. *Int. Dairy J.*, 2002, **12**, 879-887.
- ELLIS S.E., EDWARDS F.G., AKERS R.M. Morphological and histological analysis of the prepubertal ovine mammary gland. *J. Dairy Sci.*, 1995, **78**, 202.
- ELSON C.O., BEAGLEY W. Cytokines and immune mediators. In : Johnson L.R. (Ed.), *Physiology of the gastrointestinal tract*. Raven : New York, 1994, 243-266.
- ERB R.E. Hormonal control of mammogenesis and onset of lactation in cows. *J. Dairy Sci.*, 1977, **60**, 155-169.
- FARMER C., SORENSEN M.T., PETITCLER D. Inhibition of prolactin in the last trimester of gestation decreases mammary gland development in gilts. *J. Anim. Sci.*, 2000, **78**, 1303-1309.
- FLEMING J.R., HEAD H.H., BACHMAN K.C., BECKER H.N., WILCOX C.J. Induction of lactation: histological and biochemical development of mammary tissue and milk yield of cows injected with estradiol-17 $\beta$  and progesterone for 21 days. *J. Dairy Sci.*, 1986, **69**, 3008-3021.
- FOLEY J.A., OTTERBY D.E. Availability, storage, treatment, composition, and feeding value of surplus colostrum. *J. Dairy Sci.*, 1978, **61**, 1033-1060.
- GARTIOUX J.P. La transmission de l'immunité colostrale. Etude au sein d'une ferme expérimentale de Saône et Loire (Thèse pour l'obtention du grade de Docteur vétérinaire). Ecole Nationale vétérinaire de Lyon : Lyon, 2003, 146 p.
- GILLES A.P. Effet d'une supplémentation en iode et sélénium chez la vache gestante sur le statut immunitaire du nouveau-né (Thèse pour l'obtention du grade de Docteur vétérinaire). Ecole nationale vétérinaire de Toulouse : Toulouse, 2007, 76 p.
- GOPALP.K., GILLH.S. Oligosaccharides and glycoconjugates in bovine milk and colostrum. *Br. J. Nutr.*, 2000, **84**, 69-74.
- HADJIPANAYIOTOU M. Composition of ewe, goat and cow milk and of colostrum and goat. *Small. Rum. Rech.*, 1995, **18**, 255-262.
- HADORN U., HAMMON H., BRUCKMAIER R.M., BLUM J.W. Delaying colostrum intake by one day has important effects on metabolic traits and on gastrointestinal and metabolic hormones in neonatal calves. *J. Nutr.*, 1997, **127**, 2011-2023.
- HALLIDAY R.A., RUSSEL A.J., PEART J.L. Effects of energy intake during late pregnancy and of genotype on immunoglobulin transfer to calves in suckler herds. *Res. Vet. Sci.*, 1978, **24**, 26-31.
- HALUSKA G.J., CURRIE W.B. Variation in plasma concentrations of estradiol-17 $\beta$  and their relationship to those of progesterone, 13, 14-dihydro-15-ketoprostaglandin F-2 $\alpha$  and oxytocin across pregnancy and at parturition in pony mares. *J. Reprod. Fert.*, 1988, **84**, 635-646.
- HAMMON H.M., BLUM J.W. Feeding different amounts of colostrum or only milk replacer modify receptors of intestinal insulin-like growth factors and insulin in neonatal calves. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 2002, **22**, 155-168.
- HAMMON H.M., ZANKER I.A., BLUM J.W. Delayed colostrum feeding affects IGF-I and insulin plasma concentrations in neonatal calves. *J. Dairy Sci.*, 2000, **83**, 85-92.
- HARTMANN P.E., HOLMES M.A. Sow lactation. In : Barnett J.L. (Ed.), *Manipulating pig production II*. Australasian Pig Science Association : Werribee, 1989, 72-97.
- HEALD C.W. Hormonal effects on mammary cytology. *J. Dairy Sci.*, 1974, **57**, 917-925.
- HOLLAND M.S., HOLLAND R.E. The Cellular Perspective on Mammary Gland Development: Stem/Progenitor Cells and Beyond. *J. Dairy Sci.*, 2005, **88**, E1-E8.
- HULEA S.A., MOGOS S., MATEI L. Interaction of lactoperoxidase with enzymes and immunoglobulins in bovine milk. *Biochem. Int.*, 1989, **19**, 1173-1181.
- HURLEY W.L., DOANE R.M., O'DAY-BOWMAN M.B., WINN R.J., MOJONNIER L.E., SHERWOOD O.D. Effect of relaxin on mammary development in ovariectomized pregnant gilts. *Endocrinology*, 1991, **128**, 1285-1290.
- JOHNSON M.H., EVERITT B.J. Reproduction. De Boeck : Bruxelles, 2001, 298 p.
- JONES J.I., CLEMMONS D.R. Insulin-like growth factors and their binding proteins: biological actions. *Endocr. Rev.*, 1995, **16**, 3-34.
- KEENAN T.W. Milk lipid globules and their surrounding membrane: a brief history and perspectives of future research. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia*, 2001, **6**, 365-371.
- KEHOE S.I., JAYARAO B.M., HEINRICHS A.J. A survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on Pennsylvania dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 2007, **90**, 4108-4116.
- KENDRICK K.M., KEVERNE E.B., SHARMAN D.F., BALDWIN B.A. Microdialysis measurement of oxytocin, aspartate, aminobutyric acid and glutamate release from the olfactory bulb of the sheep during vaginocervical stimulation. *Brain. Res.*, 1988, **442**, 171-174.
- KENSINGER R.S., COLLIER R.J., BAZER W. Ultrastructural changes in porcine mammary tissue during lactogenesis. *J. Anat.*, 1986, **145**, 49-59.
- KINCAID R.L., CRONRATH J.O. Zinc concentration and distribution in mammary secretions of peripartum cows. *J. Dairy Sci.*, 1992, **75**, 481-484.
- KIRSCHVINK N. Impact de la vaccination contre l'entérototoxicité sur le taux d'anticorps dans le sang, le colostrum et le lait de la brebis et dans le sang de l'agneau. *Filière ovine et caprine*, 2008, **26**, 27-29.
- KLOBASA F., WERHAHN E., BUTLER J.E. Composition of sow milk during lactation. *J. Anim. Sci.*, 1987, **64**, 1458-1466.
- KLOPFENSTEIN C., COUTURE Y., MARTINEAU G.P., BOUCHARD E. Physiopathologie comparative

- de la lactation chez la truie et chez la vache. *Méd. Vét. Qué.*, 2002, **32**, 52-56.
- KULKARNI P.R., PIMPALE N.V. Colostrum: a review. *Indian J. Dairy Sci.*, 1989, **42**, 216-224.
- LAGRANDE C., LEGRAND C., MALTIER J.P., MAGRE S. Hormones et reproduction. In : Du Pouy J.P. (Ed), Hormones et grandes fonctions. Ellipses: Paris, 1993, 390-492.
- LARSON B.L., HEARY H.L., J.E. DEVERY J.E. Immunoglobulin production and transport by the mammary gland. *J. Dairy Sci.*, 1980, **63**, 665-671.
- LAVOIE J.P., SPENSLEY M.S., SMITH B.P. Colostral volume and immunoglobulin G and M determinations in mares. *Am. J. Vet. Res.*, 1989, **50**, 466-470.
- LEBLANC M.M., TRAN T., BALDWIN J.L., PHARD E.L. Factors that influence passive transfer of immunoglobulins in foals. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1992, **200**, 179-183.
- LE DIVIDICH J., ESNAULT T., LYNCH B. Influence de la teneur en lipides du colostrum sur l'accrétion lipidique et la régulation de la glycémie chez le porc nouveau-né. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, 1989, **21**, 275-280.
- LEVIEUX D. Le colostrum, un lait particulièrement riche en de nombreux composants. Peut-on en déceler la présence dans les livraisons de lait de vache ? *Lait*, 1999, **79**, 465-488.
- LEVIEUX D., MASLE L., GENEIX N., BOWIER F. Composition du colostrum et du lait de chèvre au cours de la période colostrale en immunoglobuline G,  $\beta$ -lactoglobuline,  $\alpha$ -lactalbumine et sérum albumine. *Renc. Rech. Rumin.*, 2001, **8**, 91.
- LONA D.V., ROMERO R.C. Low levels of colostral immunoglobulins in some dairy cows with placental retention. *J. Dairy Sci.*, 2001, **84**, 389-391.
- MAILLARD R. Le transfert de l'immunité colostrale chez le veau. *Point Vét.*, 2006, **37** : n° spécial Reproduction des Ruminants: gestation, néonatalogie et post-partum, 110-114.
- MARION J., LEHUEROU-LURON I., HUGHET A., CALLREC J., LEROUX T., LE DIVIDICH J. La supplémentation de l'aliment de sevrage en un extrait de colostrum bovin augmente la hauteur des villosités dans le duodénum chez le porcelet sevré. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, 2002, **34**, 103-108.
- MARTEL P., HOUEBINE L.M. Effect of various drugs affecting cytoskeleton and plasma membranes on the induction of DNA synthesis by insulin epidermal growth factor in mammary explants. *Biol. Cell.*, 1982, **44**, 111-116.
- MARZO G. Etude de la composition du colostrum et du lait de brebis et de leurs effets sur la croissance des agneaux (Mémoire présenté pour l'obtention du titre de bachelier en agronomie). Faculté Universitaire des sciences agronomiques de Gembloux : Gembloux, 2007, 79 p.
- MASSONI S.R.G. Induction de la lactation chez la jument et croissance des poulains élevés par des juments à lactation induite (Mémoire de fin d'étude). Ecole nationale vétérinaire de Toulouse : Toulouse, 2003, 61 p.
- MATHIEU H. Facteurs de variation de la composition du lait. In : Luquet L.F.M. (Ed.), Lait et produits laitiers. 1. Les laits de la mamelle à la laiterie. Lavoisier : Paris, 1985, 1057-1060.
- MILLER A.R.E., ERDMAN, R.A., DOUGLAS, L.W., DAHL G.E. Effects of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 2000, **83**, 962-967.
- MURPHY L.J., BELLE G., FRIESEN H.G. Tissue distribution of insulin-like growth factor-I and II messenger ribonucleic in the adult rat. *Endocrinology*, 1987, **120**, 1279-1282.
- NICOLAS C., HUBERT V. La relaxine : une ancienne hormone trouve enfin ses récepteurs. *Méd. Sci.*, 2002, **18**, 1061-1063.
- NIELSEN O.L., PEDERSEN A.R., SORENSEN M.T. Relationships between piglet growth rate and mammary gland size of the sow. *Livest. Prod. Sci.*, 2001, **67**, 273-279.
- NOWAK R., POIRDROU P. From birth to colostrum early steps leading to lamb survival. *Repro. Nutr. Dev.*, 2006, **46**, 431-446.
- OUSEY J.C., ROSSDALE P.D., CASH R.S., WORTHY K. Plasma concentrations of progestagens, oestrone sulphate and prolactin in pregnant mares subject to natural herpes virus-1. *J. Reprod. Fert. Suppl.*, 1987, **35**, 519-528.
- PAKKANEN R., ALTO J. Growth factors and antimicrobial factors of bovine colostrum. *Int. Dairy J.*, 1997, **7**, 285-297.
- PEAKER M., ROSSDALE P.D., FORSYTH I.A., FALK M. Changes in mammary development and the composition of secretion during late pregnancy in the mare. *J. Reprod. Fert. Suppl.*, 1979, **27**, 555-561.
- PEARSON R.C., HALLOWELL A.L., BAYLY W.M. Times of appearance and disappearance of colostral IgG in the mare. *Am. J. Vet. Res.*, 1984, **45**, 186-190.
- PLAYFORD R.J., MACDONALD C.E., JOHNSON W.S. Colostrum and milk-derived peptide growth factors for the treatment of gastro-intestinal disorders. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2000, **72**, 5-14.
- PRUITT K.M., REITER B. Biochemistry of peroxidase system. In : Pruitt K.M., Tenovuo J. (Eds), The peroxidase system: chemistry and biology significance. Marcel Dekker : New York, 1985, 143-178.
- RABOISSON D., SCHELCHER F., FOUCRAS G. Les cellules du colostrum: quel rôle dans la défense du veau nouveau-né ? *Nouv. Prat. Vét. Elev. Santé*, 2008, 13-17.
- RAINARD P., RIOLLET C. Innate immunity of the bovine mammary gland. *Vet. Res.*, 2006, **37**, 369-400.
- RAUPRICH A.B.E., HAMMON H.M., BLUM J.W. Influence of feeding different amounts of first colostrum on metabolic, endocrine, and health status and on growth performance in neonatal calves. *J. Anim. Sci.*, 2000, **78**, 896-908.
- ROSSDALE P.D., McGLADDERY A.J., OUSSEY J., HOLSTOCK N. Increase in plasma progestagen concentrations in the mare after fetal injection with CRH, ACTH or beta methasone in late gestation. *Equine Vet. J.*, 1992, **24**, 347.
- SBOUIA., KHORCHANIT, DJEGHAM M., BELHADJ O. Comparaison de la composition physicochimique du lait camelin et bovin du Sud tunisien : variation du pH et de l'acidité à différentes températures. *Afr. Sci.*, 2009, **5**, 293-304.

- SCAMMELL A.W. Production and uses of colostrum. *Aust. J. Dairy Technol.*, 2001, **56**, 74-82.
- SCHAMS D., EINSPIANIER R. Growth hormone, IGF1 and insulin in mammary gland secretion before and after parturition and possibility of their transfer into the calf. *Endocr. Regul.*, 1991, **25**, 139-143.
- SCHERLINCK J.P.Y., CAHAPLIN P.J., WOOD P.R. Ovine cytokines and their role in the immune response. *Vet. Res.*, 1998, **29**, 369-383.
- SENGER P.L. Pathways to pregnancy and parturition. *Current Conceptions : Pullman*, 2005, 373 p.
- SERIEYS F. Le colostrum de vache. *Smithkline-Beekham : Ploufragan*, 1993, 88 p.
- SHERWOOD O.D. Relaxin. In : Knobil E., Neill J.D.(Eds), *Physiology of reproduction*. Raven Press : New York, 1994, 861-1009.
- SHERWOOD O.D. Relaxin's physiological roles and other diverse actions. *Endocr. Rev.*, 2004, **25**, 205-234.
- SILIM A., REKIK M.R., ROY R.S., SALMON H., PASTORET P.P. Immunité chez le fœtus et le nouveau-né. In : Pastoret P.-P., Govaerts A., Bazin H. (Eds), *Immunologie animale*. Flammarion : Paris, 1990, 197-204.
- SINGH K., ERDMAN R.A., SWANSON K.M., MOLENAAR A.J., MAQBOOL N.J., WHEELER T.T., ARIAS J.A., QUINN-WALSH R.C., SELWAGEN K. Epigenetic regulation of milk production in dairy cows. *J. Mammary Gland. Biol. Neoplasia*, 2010, **15**, 101-112.
- SINHA Y.N., TUCKER H.A. Mammary development and pituitary prolactin level of heifers from birth through puberty and during estrous cycle. *J. Dairy Sci.*, 1969, **52**, 507-512.
- SMITH G.H., CHEPKO G. Mammary epithelial stem cells. *Microsc. Res. Tech.*, 2001, **52**, 190-203.
- SOCIÉ-JACOB M. Évaluation de l'impact de la vaccination de la brebis contre l'entérotoxémie sur l'immunité colostrale chez l'agneau (Mémoire de stage de troisième doctorat en médecine vétérinaire). *Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix : Namur*, 2007, 79 p.
- SOCIÉ-JACOB M., BOLKAERTS B., WIGGERS L., VAN DE VEN J., KIRSCHVINK N. Effect of vaccination against enterotoxaemia of pregnant ewes on antitoxin alpha and epsilon antibodies in colostrum, milk and lambs after colostrum intake. In : *proceedings of the XXV Jubilee World Buiatrics Congress, Budapest, Hungary, July 6-11, 2008*, 2008.
- STRBAK V., GIRAUD P., RESEKOWA E., OUAFIK L. H., DUTOUR A., OLIVIER C., POVAZANOVA K., RANDUSKOVA A. Thyroliberin (TRH) and TRH free acid (TRH-OH) presents in milk do not originate from local synthesis in mammary gland. *Endocr Regul.*, 1991, **25**, 134-138.
- TAYLOR P.J., STAMPFER M.R. Culture of epithelial cells. In : Freshney R. (Ed.), *Animal cell culture: a practical approach*. Chichester. 2<sup>nd</sup> edition. Oxford University Press : Oxford, 1991, 107-133.
- THIRY E., DOUART A. Les stratégies de vaccinales pour la prévention des pathologies respiratoires. In : *Proceedings des Journées nationales des Groupements techniques vétérinaires, Clermont Ferrand, 30 mai-1<sup>er</sup> juin 2001*, 2001, 145-157.
- THIRY E., SCHYNTS F., LEMAIRE M. Caractéristiques du système immunitaire du fœtus bovin et du veau nouveau-né : implications dans la prévention et le diagnostic des infections d'origine virale. *Ann. Méd. Vét.*, 2002, **146**, 5-232.
- TSLOULPAS A., GRANDISON A.S., LEWIS M.J. Changes in physical properties of bovine milk from the colostrum period to early lactation. *J. Dairy Sci.*, 2007, **90**, 5012-5017.
- TUCKER H.A. Physiological control of mammary growth, lactogenesis, and lactation. *J. Dairy Sci.*, 1981, **64**, 1403-1421.
- TUCKER H.A. Hormones, mammary growth, and lactation: a 41-year perspective. *J. Dairy Sci.*, 2000, **83**, 874-884.
- VEISSIER I., SARIGNAC C., CAPDEVILLE J. Les méthodes d'appréciation du bien-être des animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 1999, **12**, 113-121.
- VILJOEN M. Lactoferrin: a general review. *Haematologica*, 1995, **80**, 252-267.
- WEBER M.S., BOYLE P.L., CORL B.A., WONG E.A., GWAZDAUSKAS F.C., AKERS R.M. Expression of ovine of insulin-like growth factor-I (IGF-I) stimulates peripuberty development of alveolar buds in mammary glands of transgenic. *Endocrine*, 1998, **8**, 251-259.
- WEBER M.S., PURUP S., VESTERGAARD M., AKERS R.M., SEJRSEN K. Regulation of local synthesis of insulin-like growth factor-I and binding proteins in mammary tissue. *J. Dairy Sci.*, 2000, **83**, 30-37.
- WEISS W.P., COLENBRANDER V.F., CUNNINGHAM M.D. Maternal transfer and retention of supplemental selenium in neonatal calves. *J. Dairy Sci.*, 1984, **67**, 416-420.
- WEST J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 2003, **86**, 2131-44.
- WINN R.J., BAKER M.D., MERLE C.A., SHERWOOD O.D. Individual and combined effects of relaxin, estrogen and progesterone in ovariectomized gilts. II. Effects on mammary development. *Endocrinology*, 1994, **135**, 1250-1255.
- WOLFENSON D., FLAMENBAUM I., BERMAN A. Dry period heat stress relief effects on prepartum progesterone, calf birth weight, and milk production. *J. Dairy Sci.*, 1988, **71**, 809-818.
- YAMAUCHI K., TOIMITA M., GIEHL T.J., ELLISON R.T. Antibacterial activity of lactoferrin and a pepsin-derived lactoferrin peptide fragment. *Infect. Immun.*, 1993, **61**, 719-728.
- ZALESKI H.M., WINN R.J., JENNINGS R.L., SHERWOOD O.D. Effects of relaxin on lactational performance in ovariectomized gilts. *Biol. Reprod.*, 1996, **55**, 671-675.
- ZARROUK A., SOULEM O., DRION P.V., BECKERS J.F. Caractéristiques de la reproduction de l'espèce caprine. *Ann. Méd. Vét.*, 2001, **145**, 98-105.
- ZHAO X., LACASSE P. Mammary tissue damage during bovine mastitis: causes and control. *J. Anim. Sci.*, 2008, **86**, 57-65.