

## Variations des teneurs sanguines en acides aminés libres, urée et glucose chez la brebis en fin de gestation et début de lactation. Influence de l'état nutritionnel en fin de gestation

par J. GRIZARD, M. TISSIER \*, C. CHAMPREDON, J. PRUGNAUD, R. PION

avec la collaboration technique de G. BAYLE, O. BERNARD, E. DEBRAS, A. BRELURUT \*, J. LEROUX \*

Laboratoire d'Etude du Métabolisme azoté

\* Laboratoire de la Production ovine

I.N.R.A., Theix, Saint Genès Champanelle, 63110 Beaumont.

---

**Summary.** *Glucose, urea, amino acids in the blood of ewes during pregnancy and lactation. Effect of nutritional state during late pregnancy.*

A factorial experiment using 28 Limousine ewes (table 1) was carried out to study protein metabolism during pregnancy and lactation. The experimental treatments included two levels of energy intake during 7 weeks prepartum (high : H ; low : B) (table 2) and two states of body reserves at 8 weeks prepartum (fat : G ; lean : M). The animals bore or were suckling either twins (D) or singles (S). Preprandial and postprandial jugular blood samples were taken at 38, 24 and 10 days prepartum and at 5, 13, 26 and 40 days postpartum. Blood glucose, urea and free amino acids were recorded.

*During pregnancy.* Reducing dietary energy supply resulted in a large decrease of lamb birthweight (— 0.8 kg) and a diminution of the levels of glucose (fig. 1), some non-essential (alanine, citrulline) and some essential (tyrosine, phenylalanine, threonine, valine, leucine) free amino acids (fig. 3) in the blood of ewes ; blood urea increased (fig. 2). Reducing body reserves caused a small drop in lamb birthweight (— 0.3 kg) and an increment of glucose (fig. 1) and free methionine (fig. 3) in the blood. During the last 2 weeks of pregnancy, postprandial blood glucose level rose (fig. 1).

*During lactation.* During the first 2 weeks of lactation, the amino acid requirements for milk protein synthesis were higher than amino acid supply by the digestive tract (fig. 5). At 1 week postpartum, ewes showed very high blood levels of most of the essential free amino acids, free proline and free glycine (fig. 4). Some of the essential free amino acids (valine, leucine, phenylalanine, lysine, histidine) then decreased. Reducing body reserves resulted in an increment of most of the essential free amino acids in the blood. Blood levels of some of these amino acids seemed to be related to blood free methionine (table 5). Reducing the energy supply of the diet during late pregnancy increased blood glucose (fig. 1).

---

### Introduction.

La fin de la gestation est une période critique du cycle reproductif des brebis, particulièrement dans le cas de portées multiples. Elle se caractérise par un déficit important dans les apports d'énergie par l'alimentation. En effet, la captation du

glucose par l'utérus est fortement accrue (Kronfeld, 1972) par la croissance pondérale très importante des fœtus, alors que les apports sont ralentis par la diminution de la consommation volontaire (Tissier, Thériez et Molénat, 1975). Celle-ci est due à l'accroissement du volume de l'utérus ; elle peut aussi résulter de la baisse de la sécrétion de progestérone (Bassett *et al.*, 1969) et de l'augmentation de celle des œstrogènes (Terqui et Delouis, 1975) qui respectivement favorisent et inhibent l'ingestion (Baile et Forbes, 1974 ; Bargeloh, Hibbs et Conrad, 1975). La captation de matières azotées par l'utérus gravide ne dépasse les apports alimentaires que pendant les quelques jours précédant la mise bas (Tissier et Thériez, 1978). Ces carences se traduisent par une diminution des proportions de glucose et d'acides aminés sanguins qui sont oxydés en gaz carbonique (Ford et Reilly, 1970) et des modifications des teneurs sanguines en acides aminés libres (Offer *et al.*, 1975). De même, pendant les deux premières semaines de la lactation, l'exportation de matières azotées et d'énergie dans le lait est très élevée et les animaux ne peuvent l'assurer qu'au prix d'une mobilisation de leurs réserves (Broster, 1973 ; Tissier et Thériez, 1978).

Au cours de ces deux périodes, la restriction énergétique peut entraîner une utilisation accrue des acides aminés à des fins énergétiques chez les ruminants (Champredon, Rémond et Pion, 1977) comme chez les monogastriques (Rérat et Desmoulin, 1970 ; Arnal, Fauconneau et Pech, 1972 ; Grizard *et al.*, 1975). Pour préciser ces phénomènes, nous avons étudié l'influence d'une restriction énergétique pendant la fin de la gestation sur les teneurs sanguines en glucose, urée et acides aminés libres de brebis gestantes puis allaitantes suivant l'état des réserves corporelles (« gras » ou « maigre ») au début du dernier tiers de la gestation. Les concentrations sanguines de ces métabolites permettent d'estimer indirectement l'état de nutrition des ruminants et le taux de satisfaction de leurs besoins en acides aminés (Champredon, 1972) ; les concentrations en acides aminés libres sont le reflet de la différence entre les

TABLEAU 1

*Schéma expérimental*

Lot	Nbre de brebis	Période de constitution des lots 17 <sup>e</sup> à 8 <sup>e</sup> semaine <i>prepartum</i>	Période de prélèvements		
			7 dernières semaines de la gestation		6 premières semaines de la lactation
GHD	4	régime « haut » conduisant à l'état « gras » (G) des réserves corporelles	portées de 2 fœtus (D)	régime ↗ haut (H) ↘ bas (B)	allaitement de 2 agneaux (D)
GBD	5				
GHS.	4	régime « bas » conduisant à l'état « maigre » (M) des réserves corporelles	portées de 1 fœtus (S)	régime haut (H)	allaitement de 1 agneau (S)
MHD	4				
MBD	7	régime « bas » conduisant à l'état « maigre » (M) des réserves corporelles	portées de 2 fœtus (D)	régime ↗ haut (H) ↘ bas (B)	allaitement de 2 agneaux (D)
MHS	4				
			portées de 1 fœtus (S)	régime haut (H)	allaitement de 1 agneau (S)

apports exogènes (alimentaires) ou endogènes (catabolisme protéique, synthèse des acides aminés non indispensables) et les diverses utilisations (synthèse des protéines des tissus et du lait, catabolisme, excréctions).

### Matériel et méthodes.

1. *Animaux et régimes.* — L'expérience est réalisée au moyen de 28 brebis de la race Limousine âgées de 3 à 6 ans. De la 17<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> semaine *prépartum*, les brebis sont nourries soit de foin à volonté et de l'aliment concentré (environ 500 g par jour par brebis), soit de foin en quantité limitée à environ 1 kg par jour et par brebis (tabl. 1). Au terme de cette période préexpérimentale, les animaux sont répartis

TABLEAU 2

*Comparaison des apports alimentaires et des apports estimés comme nécessaires au poids des agneaux à la naissance et aux quantités de lait produites*

Lot		GHD		GBD		MHD		MBD		GHS		MHS	
Poids des brebis à 49 jours <i>prépartum</i> (kg)		68		65		74		67		62		62	
		( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )	( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )	( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )	( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )	( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )	( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )
— 38	MOD .....	904	1,27	623	0,90	913	1,31	644	0,97	817	1,29	815	1,32
	MAD .....	116	1,23	133	1,56	117	1,28	137	1,69	104	1,48	104	1,50
	PDI .....	119	1,47	97	1,16	120	1,36	100	1,26	107	1,53	107	1,55
— 24	MOD .....	949	1,09	614	0,75	904	1,07	652	0,83	864	1,21	852	1,23
	MAD .....	122	1,02	132	1,28	115	1,02	139	1,42	111	1,39	109	1,38
	PDI .....	125	1,12	96	0,97	118	1,10	101	1,09	114	1,44	112	1,45
— 10	MOD .....	898	0,86	618	0,65	838	0,84	668	0,74	844	1,06	846	1,09
	MAD .....	114	0,75	133	1,05	105	0,73	143	1,20	108	1,24	108	1,19
	PDI .....	117	0,84	96	0,81	108	0,82	104	0,94	111	1,23	111	1,27
Jours après la mise-bas	5 MOD .....	1 435	0,93	1 316	0,81	1 324	0,85	1 208	0,74	1 055	0,93	1 177	1,03
	5 MAD .....	235	0,91	217	0,79	220	0,86	198	0,72	173	1,00	193	1,11
	5 PDI .....	210	0,92	193	0,80	194	0,85	177	0,73	154	0,98	172	1,09
13	MOD .....	1 499	0,89	1 475	0,87	1 342	0,80	1 438	0,85	1 246	0,98	1 216	0,96
	MAD .....	244	0,86	240	0,84	222	0,78	235	0,82	203	1,02	199	1,00
	PDI .....	219	0,87	216	0,85	197	0,78	210	0,83	182	1,01	178	0,99
26	MOD .....	1 453	1,18	1 364	0,98	1 276	1,04	1 421	1,02	1 224	1,08	1 168	1,03
	MAD .....	233	1,23	221	0,99	209	1,10	230	1,03	196	1,14	188	1,09
	PDI .....	212	1,24	199	0,99	187	1,09	208	1,04	179	1,14	171	1,09
40	MOD .....	1 290	1,08	1 151	0,93	1 231	1,03	1 297	1,05	1 119	1,02	1 075	0,98
	MAD .....	201	1,10	182	0,96	195	1,06	204	1,07	175	1,07	168	1,02
	PDI .....	187	1,12	168	0,97	179	1,07	189	1,09	163	1,09	156	1,04

MOD : matière organique digestible ; MAD : matières azotées digestibles ; PDI : protéines digestibles dans l'intestin (Jarrige, Journet et Vérité, 1978).

(<sup>1</sup>) Apport journalier (g) déterminé dans les deux repas précédant chaque prélèvement.

(<sup>2</sup>) Rapport des apports alimentaires aux apports estimés comme nécessaires au poids des agneaux à la naissance et aux quantités de lait produites (Tissier et Thériez, 1978).

en 2 groupes selon les états « gras » ou « maigre » des réserves corporelles, appréciés par palpation lombaire.

Pendant les 7 dernières semaines de la gestation, les apports alimentaires d'énergie sont hauts (lettre H) ou bas (lettre B) ; les apports de matières azotées sont constants. Pendant les 6 premières semaines de la lactation, les apports alimentaires d'énergie et de matières azotées sont haut ou bas selon que les animaux allaitent deux (lettre D) ou un agneau (lettre S). Les apports journaliers de matière organique digestible (MOD), de matières azotées digestibles (MAD) et de protéines digestibles dans l'intestin (PDI) (Jarrige, Journet et Vérité, 1978), précédant chaque prélèvement, sont comparés aux apports estimés comme nécessaires en fonction du poids des agneaux à la naissance et des quantités de lait produites (Tissier et Thériez, 1978) (tabl. 2).

La répartition des animaux en 6 lots (GHD, GBD, MHD, MBD, GHS et MHS) est un schéma factoriel 2<sup>3</sup> incomplet dans lequel les 3 facteurs sont respectivement l'état des réserves corporelles (« gras » : G ; « maigre » : M), le niveau des apports alimentaires d'énergie en fin de gestation (haut : H ; bas : B) et le nombre d'agneaux portés puis allaités (deux : D ; un : S). L'absence de lots GBS et MBS résulte de l'imprécision sur la détermination du nombre de fœtus par radiographie aux rayons X à 8 semaines *prepartum* (Tissier et Brelurut, 1976).

Les brebis sont logées pendant les 8 dernières semaines de la gestation et les 6 premières semaines de la lactation, en cages individuelles sur caillebotis dans des locaux éclairés de 7 h à 19 h environ et d'une température comprise entre 12 et 16 °C. Elles reçoivent 1 repas par jour distribué à 8 h et constitué de l'aliment concentré (à base de maïs et de tourteau d'arachide) consommé en 10 mn environ et de foin de prairie naturelle de qualité moyenne consommé en quelques heures. La quantité de matière organique digestible (MOD), apportée sous forme de foin est deux fois plus élevée que celle qui est ingérée sous forme d'aliment concentré. Les agnelages se situent approximativement le 10 mars.

2. *Prélèvements.* — Des prélèvements de 10 ml de sang jugulaire sont effectués approximativement 90 mn après le début du repas à 39, 25 et 11 jours avant la mise bas et 4, 12, 25 et 39 jours après la mise bas. Des prélèvements de 50 ml de sang jugulaire sont également effectués immédiatement avant le repas, 1 jour après la prise de sang postprandiale. Le sang est recueilli sur héparine. Un ml de sang est mélangé à 5 ml d'acide trichloracétique à 2,5 p. 100 pour le dosage du glucose et de l'urée ; 5 ml environ de sang sont mélangés à 35 ml d'éthanol 95° (à —10 — 15 °C) pour le dosage des acides aminés libres.

3. *Méthodes analytiques.* — Le glucose et l'urée sont dosés dans les échantillons de sang déprotéinisés par l'acide trichloracétique à 2,5 p. 100 respectivement selon les méthodes à la glucose-oxydase et la diacétyl-monoxime au moyen d'une chaîne d'analyse automatique.

Le dosage des acides aminés libres a été effectué seulement chez les animaux portant puis allaitant 2 agneaux, dans les prélèvements préprandiaux des sangs groupés par lot. Les acides aminés libres sont extraits à partir de 15 à 20 g de sang, par épuisements successifs à l'éthanol à 82 p. 100 contenant 2 p. 100 de thiodyglycol pour éviter l'oxydation de la méthionine. Les extraits sont purifiés sur Amberlite IR

120 (Pawlak et Pion, 1968). Les acides aminés sont séparés et dosés sur résine échangeuse d'ions au moyen d'un analyseur automatique selon une modification de la méthode de Moore, Spackman et Stein (1958), appliquée aux liquides biologiques. Cette technique ne permet pas de séparer l'asparagine de la glutamine, ni les méthyllysine de la lysine et les résultats concernant ces composés sont calculés respectivement en glutamine et lysine.

4. *Méthodes statistiques.* — Les méthodes utilisées pour comparer les moyennes (analyses de variance) et étudier les liaisons entre les variables (régressions et corrélations) sont celles décrites par Snedecor et Cochran (1971).

## Résultats.

### 1. — Glycémie et urémie.

*Glycémie.* — A 38 jours *prepartum*, la glycémie préprandiale est plus faible dans le lot GBD que dans les autres lots (fig. 1) ; ensuite, elle ne varie pas de façon importante pendant la fin de la gestation, à l'exception d'une baisse non significative dans le lot MBD. La glycémie postprandiale est plus forte à 39 jours *prepartum* dans les lots HD que dans les lots BD et dans les lots MD que dans les lots GD ; dans la plupart des lots, elle diminue légèrement entre 39 et 25 jours *prepartum* et augmente ensuite entre 25 et 11 jours *prepartum*, plus fortement dans les lots GD que dans les autres lots.

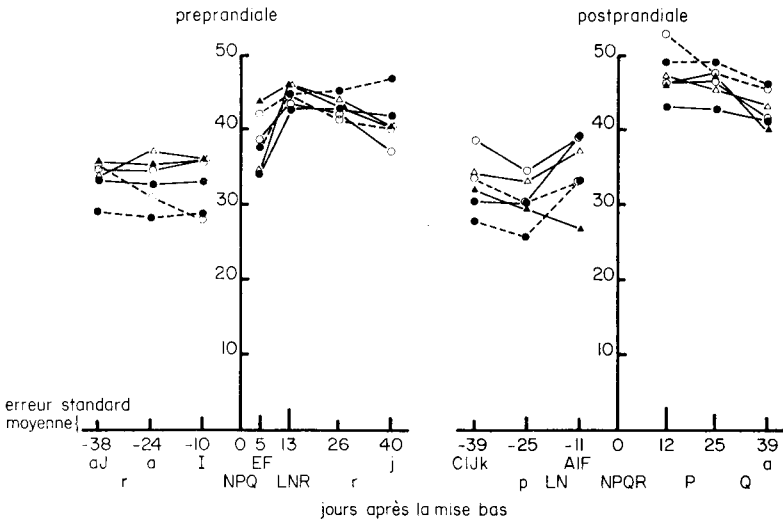


FIG. 1. — Glycémie (mg p. 100 g sang). ●—● lot GHD ●-----● lot GBD ○—○ lot MHD ○---○ lot MBD ▲—▲ lot GHS △—△ lot MHS. Pour chaque temps, les lettres indiquent les différences significatives entre les teneurs constatées pour les différents lots ( $P \leq 0,050$  en lettres majuscules,  $0,050 < P \leq 0,100$  en lettres minuscules) ; A, a : lot GHD différent du lot GBD ; I : lot MHD différent du lot MBD ; C : GHD différent du lot MHD ; J j : lot GBD différent du lot MBD ; E : lot GHS différent du lot MHS ; F : lot GHD différent du lot GHS ; k : lot MHD différent du lot MHS. Entre deux temps consécutifs, les lettres indiquent les variations significatives des teneurs ( $P \leq 0,050$  en lettres majuscules,  $0,050 < P \leq 0,100$  en lettres minuscules) ; L : dans le lot GHD ; N dans le lot GBD ; P, p : dans le lot MBD ; Q : dans le lot GHS ; R, r : dans le lot MHS.

Pendant le début de la lactation, les glycémies préprandiales sont égales dans les différents lots ; les glycémies postprandiales sont légèrement plus fortes dans les lots BD que dans les lots HD. Les glycémies sont élevées pendant les deux premières semaines de la lactation et diminuent ensuite sensiblement.

**Urémie.** — A 38 et 39 jours *prepartum*, les urémies préprandiales et postprandiales sont légèrement plus fortes dans les lots BD que dans les lots HD (fig. 2) ; elles ne varient pas de façon notable pendant la fin de la gestation. Pendant le début de la lactation, il n'y a pas de différences significatives entre les urémies des animaux des différents lots ; celles-ci sont élevées pendant les deux premières semaines de la lactation et diminuent ensuite notablement entre les cinquième et sixième prélèvements.

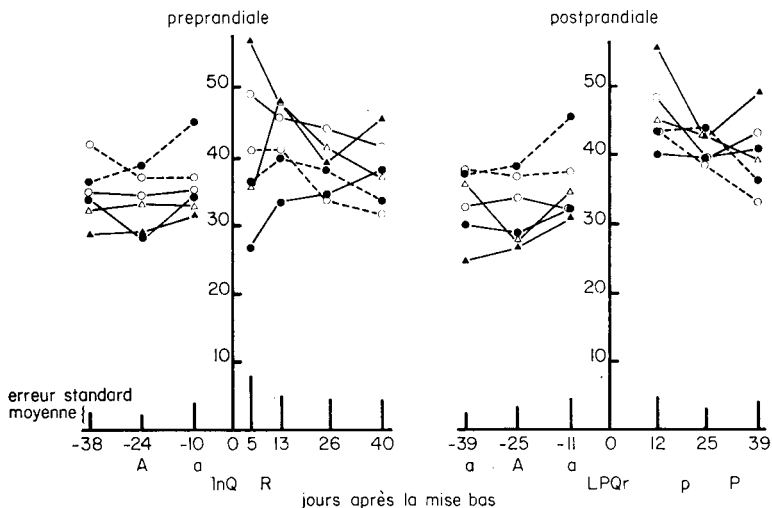


FIG. 2. — Urémie (mg p. 100 g sang). ●—● lot GHD ●-----● lot GBD ○—○ lot MHD ○-----○ lot MBD ▲—▲ lot GHS ▲-----▲ lot MHS. A, a : la teneur constatée pour le lot GHD est significativement différente de la valeur constatée pour le lot GBD ( $P \leq 0,050$  en lettres majuscules,  $0,050 < P \leq 0,100$  en lettres minuscules). Entre deux temps consécutifs, les lettres indiquent les variations significatives des teneurs ( $P \leq 0,050$  en lettres majuscules,  $0,050 < P \leq 0,100$  en lettres minuscules) ; L, l : dans le lot GHD ; n : dans le lot GBD ; P, p : dans le lot MBD ; Q, q : dans le lot GHS ; R, r : dans le lot MHS.

Aussi bien pour l'urémie que pour la glycémie, les teneurs postprandiales sont sensiblement égales aux teneurs préprandiales et celles-ci sont liées entre elles par une relation linéaire hautement significative (tabl. 3). Il y a aussi des relations linéaires significatives entre les urémies et les apports d'énergie et de matières azotées par l'alimentation et entre les urémies et les glycémies.

## 2. — Teneurs en acides aminés libres du sang.

### a) Pendant la fin de la gestation.

**Acides aminés non indispensables.** — A 25 jours *prepartum*, la sous-alimentation énergétique provoque une baisse des teneurs en alanine et citrulline chez tous les

TABLEAU 3

Comparaisons des glycémies et urémies postprandiales respectivement aux glycémies et urémies préprandiales (A), des glycémies aux urémies (B) et des urémies aux apports alimentaires (C)

Régressions  $Y = bX + K$

Y (1)	X (1)	b ± écart-type	K	R <sup>2</sup>	Signification
A { Glycémie postprandiale Urémie postprandiale	Glycémie préprandiale	1,20 ± 0,11	- 6,6	0,78	P < 0,001
	Urémie préprandiale	1,04 ± 0,11	- 0,05	0,73	P < 0,001
B { Urémie préprandiale Urémie postprandiale	Glycémie préprandiale	0,46 ± 0,17	20,0	0,15	0,010 < P < 0,025
	Glycémie postprandiale	0,54 ± 0,12	16,6	0,35	P < 0,001
C { Urémie préprandiale Urémie postprandiale Urémie préprandiale Urémie postprandiale	MOD (2)	- 16,3 ± 5,5	53,6	0,18	0,005 < P < 0,010
	MOD (2)	- 19,6 ± 6,2	57,8	0,23	0,001 < P < 0,005
	PDI (2)	- 13,8 ± 4,1	52,5	0,21	0,001 < P < 0,005
	PDI (2)	- 18,6 ± 4,6	58,6	0,33	P < 0,001

R<sup>2</sup> : carré du coefficient de corrélation ; MOD : matière organique digestible ; PDI : protéines digestibles dans l'intestin (Jarrige, Journet et Vérité, 1978).

(1) Moyennes observées dans chaque lot à chaque prélèvement en fin de gestation et début de lactation.

(2) Rapport entre les apports journaliers déterminés pour les deux repas précédant chaque prélèvement et les apports estimés comme nécessaires au poids des agneaux à la naissance et aux quantités de lait produites (Tissier et Thériez, 1978).

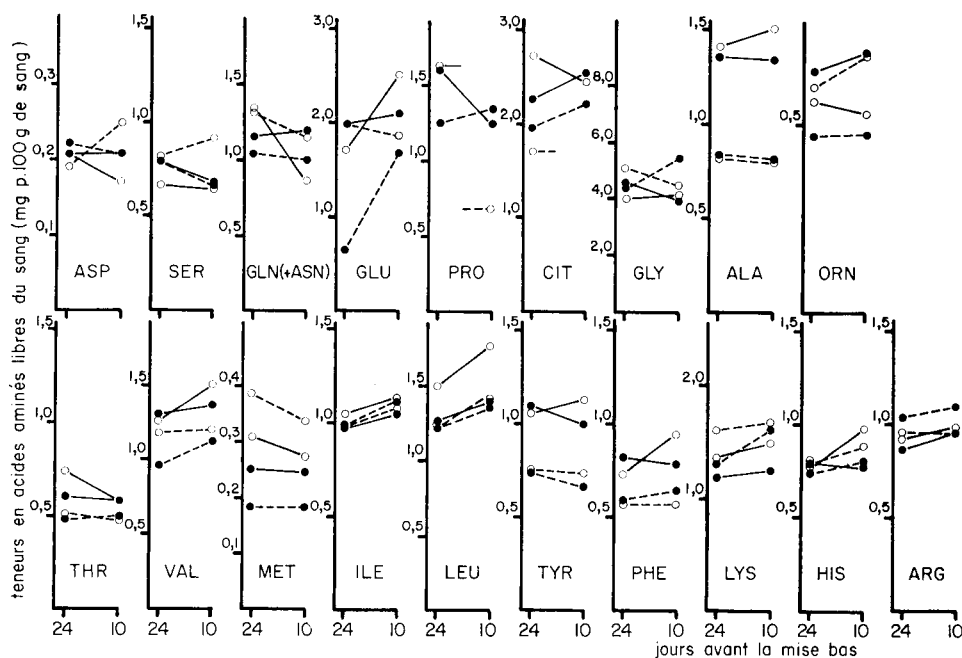


FIG. 3. — Teneurs en acides aminés libres du sang au cours de la gestation. ●—● lot GHD ○—○ lot MHD ●-----● lot GBD ○-----○ lot MBD.

animaux ainsi que des concentrations en ornithine et acide glutamique dans les lots G (fig. 3). De plus, la teneur en acide glutamique est plus forte dans le lot MBD que dans le lot GBD. Ensuite, les teneurs en acide aspartique et sérine augmentent dans le lot MBD, ainsi que la teneur en acide glutamique dans les lots GBD et MHD ; la teneur en glutamine + asparagine diminue dans le lot MHD.

*Acides aminés indispensables et semi-indispensables.* — A 25 jours *partum*, la sous-alimentation énergétique entraîne des baisses notables des teneurs en tyrosine, phénylalanine, thréonine et valine chez tous les animaux et de celle de la leucine dans les lots M ; elle provoque également une augmentation de la teneur en arginine dans les lots G. Elle ne modifie que peu les parts de la thréonine et de la valine dans la somme des teneurs en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres (tabl. 4). L'absence de réserves corporelles suffisantes se traduit par une augmen-

TABLEAU 4

*Teneurs en acides aminés libres indispensables et semi-indispensables  
(p. 100 de leur somme) au cours de la gestation*

Jours avant la mise-bas	24				10				
	Lots	GHD	GBD	MHD	MBD	GHD	GBD	MHD	MBD
Thréonine.....	6,4	6,0	7,2	5,6	6,3	5,6	5,6	5,4	5,4
Valine.....	13,8	12,0	13,4	13,5	14,7	12,2	13,9	12,9	12,9
Méthionine.....	3,2	2,4	3,1	4,5	2,1	2,2	2,8	3,2	3,2
Isoleucine.....	10,6	12,0	10,3	11,2	10,5	12,2	10,2	11,8	11,8
Leucine.....	13,8	14,5	15,5	13,5	14,7	15,6	16,7	14,0	14,0
Tyrosine.....	11,7	8,4	11,3	7,9	10,5	7,8	10,2	7,5	7,5
Phénylalanine.....	8,5	7,2	7,2	6,7	8,4	6,7	8,3	6,4	6,4
Lysine.....	13,8	15,7	14,4	18,0	13,7	16,7	13,9	18,3	18,3
Histidine.....	8,5	9,6	8,2	9,0	8,4	8,9	9,3	9,7	9,7
Arginine.....	9,6	12,0	9,3	10,1	10,5	12,2	9,3	10,7	10,7
$\Sigma$ AAI <sup>(1)</sup> .....	9,4	8,3	9,7	8,9	9,5	9,0	10,8	9,3	9,3
$\Sigma$ AANI <sup>(2)</sup> .....	39,3	41,5	40,2	41,8	40,8	39,6	45,9	46,5	46,5

<sup>(1)</sup> Somme des teneurs en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres (mg p. 100 g de sang).

<sup>(2)</sup> Somme des teneurs en acides aminés non indispensables libres (mg p. 100 g de sang).

tation des teneurs en méthionine chez tous les animaux, de celles de la valine dans les lots B et de la leucine dans les lots H (fig. 3) ; seule la part de la méthionine augmente dans la somme des teneurs en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres dans les lots B (tabl. 4). Ensuite, les teneurs en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres varient peu de 25 à 11 jours *partum* (fig. 3), à l'exception d'une augmentation des teneurs en phénylalanine, histidine, valine et leucine dans le lot MHD.



TABLEAU 4 (suite)

Teneurs en acides aminés libres indispensables et semi-indispensables  
(p. 100 de leur somme) au cours de la lactation

Jours après la mise-bas	5				13				26			
	Lots	GHD	GBD	MHD	MBD	GHD	GBD	MHD	MBD	GHD	GBD	MHD
Thréonine ....	9,7	8,6	13,0	8,7	10,8	13,5	14,7	11,5	8,6	13,3	10,4	11,1
Valine .....	13,6	12,5	14,6	14,3	15,7	13,5	14,7	14,9	13,5	11,1	12,5	12,2
Méthionine ...	2,9	2,9	2,4	4,0	2,4	4,0	3,2	3,4	2,9	3,3	4,2	2,2
Isoleucine ....	9,7	10,6	8,9	10,3	12,0	10,8	11,6	11,5	9,6	10,0	9,4	10,0
Leucine .....	14,6	14,4	15,4	13,5	18,1	16,2	17,9	17,2	13,5	13,3	14,6	14,4
Tyrosine .....	7,8	10,6	8,1	9,5	9,6	13,5	11,6	11,5	9,6	12,2	11,5	10,0
Phénylalanine	7,8	8,6	7,3	7,1	9,6	10,8	8,4	8,0	7,7	8,9	9,4	7,8
Lysine .....	18,4	13,5	13,0	17,5	—	—	—	—	14,4	12,2	11,5	15,6
Histidine .....	8,7	10,6	11,4	9,5	9,6	9,5	10,5	11,5	8,6	6,7	9,4	7,8
Arginine .....	6,8	7,7	5,7	5,6	12,0	8,1	7,4	10,3	11,5	8,9	7,3	8,9
Σ AAI (1) ....	10,3	10,4	12,3	12,6	8,3	7,4	9,5	8,7	10,4	9,0	9,6	9,0
Σ AANI (2) ...	35,8	38,2	41,5	42,7	29,8	28,5	34,4	35,9	34,4	34,7	37,2	37,2

(1) Somme des teneurs en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres (mg p. 100 g de sang).

(2) Somme des teneurs en acides aminés non indispensables libres (mg p. 100 de sang).

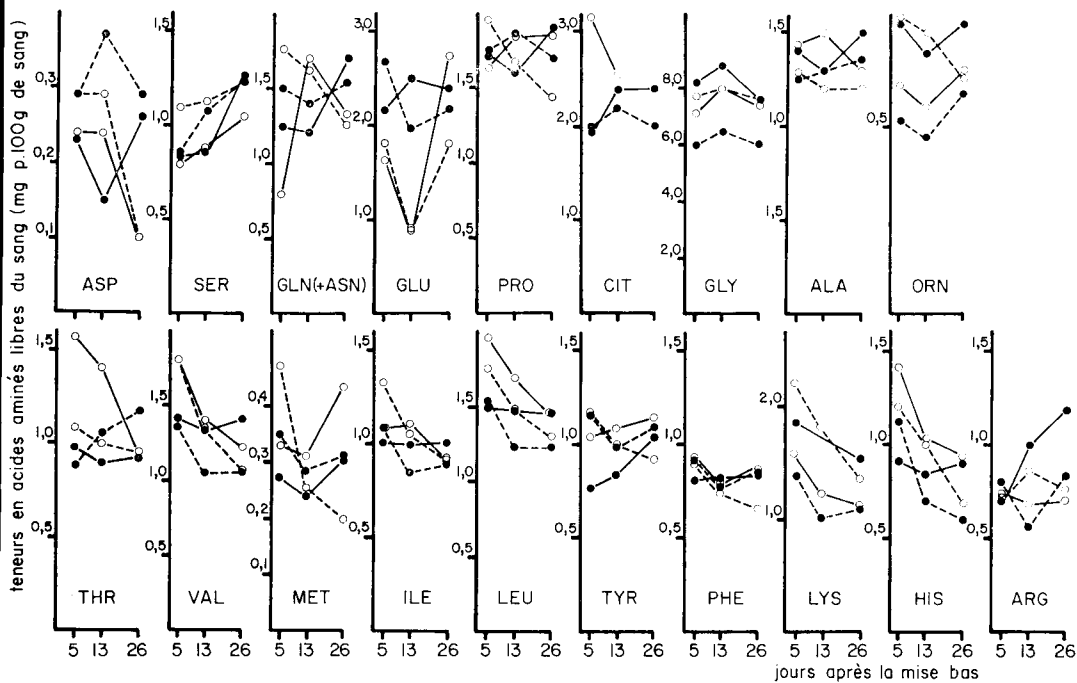


FIG. 4. — Teneurs en acides aminés libres du sang au cours de la lactation. ●—● lot GHD ○—○ lot MHD ●—● lot GBD ○—○ lot MBD.

## b) Pendant le début de la lactation.

*Acides aminés non indispensables.* — Chez la plupart des animaux, les teneurs en sérine, proline et glycine sont plus fortes à 4 jours *postpartum* qu'avant la mise bas (fig. 4). La sous-alimentation énergétique pendant la fin de la gestation se traduit alors par des accroissements des teneurs en acide aspartique et glutamine + asparagine chez tous les animaux et de celles de la sérine et de l'ornithine dans les lots M ; les teneurs en glycine et ornithine diminuent dans les lots G. L'absence de réserves corporelles suffisantes provoque des réductions des teneurs en acide glutamique chez tous les animaux et de celle de l'ornithine dans les lots H ; les teneurs en glycine et ornithine augmentent dans les lots B. Ensuite, les teneurs en sérine augmentent légèrement chez tous les animaux, de même que les teneurs en glutamine + asparagine dans les lots H ; dans les lots M, il y a de fortes réductions des teneurs en acide glutamique à 12 jours *postpartum* et en acide aspartique à 25 jours *postpartum*.

*Acides aminés indispensables et semi-indispensables.* — A 4 jours *postpartum* dans tous les lots, les teneurs en thréonine, histidine et méthionine sont plus élevées qu'avant la mise bas, alors que les teneurs en arginine sont plus faibles. La sous-alimentation énergétique pendant la fin de la gestation se traduit alors par des augmentations des teneurs en tyrosine et méthionine chez tous les animaux et une baisse de celle de la thréonine dans les lots M ; la teneur en lysine augmente dans les lots M et diminue dans les lots G. L'absence de réserves corporelles suffisantes provoque des accroissements des teneurs en leucine, valine, méthionine et histidine chez tous les animaux, tyrosine et thréonine dans les lots H ; la teneur en lysine augmente dans les lots B et diminue dans les lots H. Il n'y a que peu de modifications des parts de la valine, de

TABLEAU 5

Comparaison des teneurs sanguines en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres (Y) (mg p. 100 g de sang) avec les différences entre les quantités (g) de ces derniers apportées journalièrement par l'alimentation et celles exportées dans le lait (X)

	Régressions $Y = b_1 X + K$		Régressions $Y = b_1 X + b_2 M + K$		
	$b_1$	$R^2$	$b_1$	$b_2$	$R^2$
Thréonine .....	— 0,07 (NS)	0,12	— 0,21 (NS)	0,26 (NS)	0,16
Valine .....	— 0,06 (NS)	0,16	— 0,54 (NS)	1,29 (NS)	0,32
Méthionine .....	— 0,01 (NS)	0,00			
Isoleucine .....	— 0,06 (*)	0,36	— 0,30 (**)	0,48 (*)	0,55
Leucine .....	— 0,05 (NS)	0,22	— 0,38 (*)	1,10 (NS)	0,40
Tyrosine .....	— 0,01 (NS)	0,01	— 0,72 (**)	1,31 (**)	0,60
Phénylalanine.....	— 0,02 (NS)	0,10	— 0,16 (**)	0,25 (*)	0,40
Lysine .....	— 0,06 (NS)	0,11	— 0,27 (NS)	0,64 (NS)	0,13
Histidine .....	— 0,15 (NS)	0,18	— 2,38 (*)	2,33 (NS)	0,39
Arginine .....	0,09 (NS)	0,25	0,23 (NS)	— 0,19 (NS)	0,29

$R^2$  : carré du coefficient de corrélation ; NS : non significatif.

\* : significatif au seuil de 0,100 ; \*\* : significatif au seuil de 0,050.

M : différence entre la quantité de méthionine apportée journalièrement par l'alimentation et celle qui est exportée dans le lait.

la leucine et de la tyrosine, dans la somme des teneurs en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres (tabl. 4). Ensuite, entre 4 et 12 jours *postpartum*, les teneurs en valine, leucine, phénylalanine, lysine et histidine libres diminuent chez tous les animaux, à l'exception de ceux du lot GHD ; les teneurs en isoleucine, méthionine et tyrosine diminuent aussi dans les lots B (fig. 4). De 12 à 25 jours *postpartum*, les teneurs en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres varient peu, à l'exception d'une forte baisse de la teneur en thréonine dans le lot MHD et des accroissements des teneurs en méthionine dans les lots H.

Il n'y a pas de variations notables des teneurs sanguines en acides aminés indispensables et semi-indispensables libres en fonction de la différence entre les quantités de chacun de ces acides aminés apportées journalièrement par l'alimentation et celles qui sont exportées dans le lait (tabl. 5). En revanche, dans le cas où nous avons tenu compte de l'important déficit en méthionine (covariable dans les régressions), nous avons mis en évidence une baisse significative des teneurs en isoleucine, leucine, tyrosine, phénylalanine et histidine libres à mesure qu'augmente la différence entre les quantités apportées et celles qui sont exportées. Ceci traduit le fait que l'apport des acides aminés indispensables et semi-indispensables par le catabolisme protéique est augmenté lorsque le déficit en ceux-ci est important ; ceci souligne également le caractère limitant de la méthionine pour la synthèse des protéines du lait (Champredon, 1972).

## Discussion.

### 1. — *Fin de la gestation.*

A 3 semaines *prepartum*, la quantité de glucose captée journalièrement par l'utérus (150 g environ dans le cas de portées doubles) (Prior et Christenson, 1977) et les tissus maternels (15 g environ), est très supérieure à celle qui est absorbée (35 g environ) (Vermorel, 1978). Les très faibles valeurs de la glycémie (30 mg p. 100 g de sang environ), indiquent que la néoglucogenèse à partir de l'acide propionique, de certains acides aminés, du glycérol et des acides pyruvique et lactique recyclés (Felig, 1973 ; Brockman et Bergman, 1975 ; Brockman *et al.*, 1975 ; Young, 1976), ne peut compenser qu'en partie le déficit en glucose (Kronfeld, 1972).

a) *Influence de la sous-alimentation énergétique pendant la fin de la gestation.* — La sous-alimentation énergétique entraîne une réduction importante du poids des agneaux à la naissance (0,8 kg) (Tissier, communication personnelle). A 3 semaines *prepartum* environ, elle se traduit par une diminution beaucoup plus forte de la quantité de glucose captée journalièrement par l'utérus (40 g environ) que de celle qui est absorbée (10 g environ) (Prior et Christenson, 1977 ; Tissier, communication personnelle ; Vermorel, 1978). En revanche, la fixation de matières azotées est diminuée dans une proportion voisine de l'apport de matières azotées par l'alimentation (tabl. 2) (Tissier et Thériez, 1978). La diminution de la glycémie traduit la baisse de la synthèse de glucose dans le foie à partir de l'acide propionique (Prior et Christenson, 1976) à la suite d'une réduction de l'activité fermentaire dans le rumen. En revanche, les réductions des teneurs sanguines en alanine et acide glutamique libres mettent en évidence un accroissement de la synthèse de glucose dans le foie à

partir de ces composés. Les baisses des teneurs en tyrosine, phénylalanine, thréonine, valine et leucine libres résultent probablement aussi bien d'une réduction de l'apport de ces acides aminés par le tube digestif à la suite d'une diminution de la synthèse de protéines microbiennes, que d'un accroissement de leur catabolisme dans les tissus maternels ; les légères augmentations des teneurs en lysine et glycine libres sont sans doute la conséquence d'une élévation du catabolisme des protéines des tissus maternels supérieure à celle du catabolisme de ces deux acides aminés. Les augmentations de l'urémie (Guada, Robinson et Fraser, 1976), sont dues à un accroissement du fonctionnement du cycle de l'urée dans le foie, qui peut avoir deux causes : une élévation du catabolisme des acides aminés et une réduction de l'utilisation de l'ammoniac pour la synthèse de protéines bactériennes dans le rumen.

b) *Influence de l'absence de réserves corporelles suffisantes.* — L'absence de réserves corporelles suffisantes à l'approche du dernier tiers de la gestation, provoque une réduction sensible du poids des agneaux à la naissance dans les lots D (0,3 kg) (Tissier, communication personnelle). Ceci se traduit par une légère réduction du déficit en glucose (13 g) pendant les 3 dernières semaines de la gestation (Prior et Christenson, 1977 ; Vermorel, 1978) ; en revanche, le rendement de fixation de l'azote n'est pas modifié (Tissier et Thériez, 1978) (tabl. 2). Les augmentations de la glycémie sont dues à la réduction du déficit en glucose. Elles peuvent aussi s'expliquer par un accroissement de la synthèse de glucose à partir de l'acide propionique. En effet, l'activité fermentaire dans le rumen est vraisemblablement augmentée à la suite d'une moindre diminution au cours de la fin de la gestation du volume occupé par le tube digestif, associée à la réduction de la masse de graisses abdominales.

c) *Influence de l'approche de la mise bas.* — Entre 3 et 1 semaine environ avant la mise bas, la captation de glucose par l'utérus augmente puisque la croissance des fœtus est accrue (Tissier et Thériez, 1978) ; en revanche, l'absorption de glucose est sans doute constante puisque la quantité d'énergie ingérée n'est pas sensiblement modifiée (tabl. 2) (Vermorel, 1978). De même, la quantité de matières azotées fixées journalièrement dans l'utérus augmente, passant de 25 à 40 g environ dans les lots D (Tissier et Thériez, 1978), alors que celle qui est apportée par l'alimentation est approximativement constante et devient insuffisante (tabl. 2). Les augmentations notables de la glycémie postprandiale (Hove et Blom, 1976) ne sont pas dues à un accroissement de la synthèse de glucose à partir de l'acide propionique puisque l'activité fermentaire dans le rumen est sans doute ralentie, ni à partir des acides aminés puisque les teneurs sanguines des principaux acides aminés libres glucoformateurs (alanine, acide glutamique, sérine, glycine, acide aspartique) sont approximativement constantes ou augmentées. Elles peuvent s'expliquer par une baisse de l'utilisation du glucose par les tissus maternels (catabolisme oxydatif, lipogénèse, synthèse de glycogène). Elles peuvent être dues à l'action de la réduction de l'insulinémie (Grizard *et al.*, 1979) et de l'augmentation de la teneur plasmatique en hormone de croissance (Koprowski et Tucker, 1973 ; Blom, Hove et Nedkvitne, 1976) puisque l'insuline et l'hormone de croissance respectivement stimulent et inhibent l'utilisation du glucose par les tissus. Le fait que les teneurs de la plupart des acides aminés indispensables et semi-indispensables libres ne changent que peu et que les teneurs de certains d'entre eux augmentent dans le lot MHD, est probablement dû à une réduction de leur catabolisme (Ford et Reilly, 1970) ; il peut aussi résulter d'une réduction

des quantités nécessaires pour l'incorporation dans les protéines des tissus maternels sous l'action de la réduction de l'insulinémie (Grizard *et al.*, 1979). En effet, si cette hormone accroît la synthèse des protéines (Wool, 1972), elle en ralentit aussi le catabolisme (Fulks, Li et Golberg, 1975).

## 2. — Pendant le début de la lactation.

### a) Influence du stade de la lactation.

*Première semaine.* — Chez les animaux des lots D, la quantité de glucose utilisée journalièrement par la glande mammaire pour son fonctionnement (65 g environ) et pour la synthèse du lactose (110 g environ pour 2,35 kg de lait) et par les tissus autres que la glande mammaire (15 g environ), dépasse considérablement celle qui est absorbée (60 g environ) (Vermorel, 1978). La glycémie plus élevée que pendant la fin de la gestation, résulte du fait que d'une part le déficit en glucose est sans doute légèrement moins intense que pendant la fin de la gestation et que d'autre part la néoglucogénèse à partir du propionate est plus forte, puisque l'ingestion est plus élevée.

Chez les animaux des lots D, les quantités de méthionine, histidine, tyrosine, et valine exportées journalièrement dans le lait, sont supérieures ou égales aux quantités de ces acides aminés apportées par l'alimentation ; les quantités de leucine, lysine, isoleucine et arginine exportées sont légèrement inférieures aux apports (fig. 5). Les valeurs élevées des teneurs sanguines de la plupart des acides aminés indispensables et semi-indispensables libres, de même que celles de la glycine et de la proline libres, doivent donc résulter d'une forte augmentation du catabolisme protéique (utérus et trame protéique du tissu osseux), ainsi que d'une limitation de l'utilisation des acides aminés indispensables pour la synthèse des protéines du lait, due à la carence sévère en méthionine. Le fait que la teneur en thréonine libre est très élevée, comparée à celle qui est observée pendant la fin de la gestation, est dû à un apport excédentaire par rapport à la quantité captée par la glande mammaire (Spires *et al.*, 1975) et à un catabolisme limité dans les tissus autres que la glande mammaire ; le fait que la teneur en arginine est très faible, traduit une captation par la glande mammaire en quantité très supérieure à celle qui est exportée dans le lait (Bickerstaffe, Annison et Linzell, 1974). Des glycinémies et prolinémies élevées associées à des argininémies faibles ont d'ailleurs été constatées chez la vache et la chèvre fortes productrices de lait (Champredon et Pion, 1972 ; Pion, 1976 ; Champredon, Rémond et Pion, 1977) ; en revanche, des accroissements des teneurs en acides aminés indispensables libres n'ont pas été observés chez les mêmes animaux. Les valeurs élevées de l'urémie peuvent résulter aussi bien de l'accroissement de l'activité arginasique dans la glande mammaire que de l'augmentation de l'uréogénèse dans le foie (Mackie et Campbell, 1972) ; celle-ci peut être provoquée à la fois par l'élévation du catabolisme protéique et par celle de l'ammoniogénèse dans le rumen, associée à l'augmentation de l'ingestion.

*Deuxième semaine.* — Entre la première et la deuxième semaine de la lactation, il y a un accroissement des quantités d'acides aminés captées par la glande mammaire, non compensé par un apport suffisant d'acides aminés par l'alimentation (fig. 5). Les nettes diminutions des teneurs de la plupart des acides aminés indispensables

libres, traduisent les accroissements de ces déficits alimentaires, aussi bien qu'une réduction du catabolisme protéique associée à l'élévation importante de l'insulinémie (Grizard *et al.*, 1979).

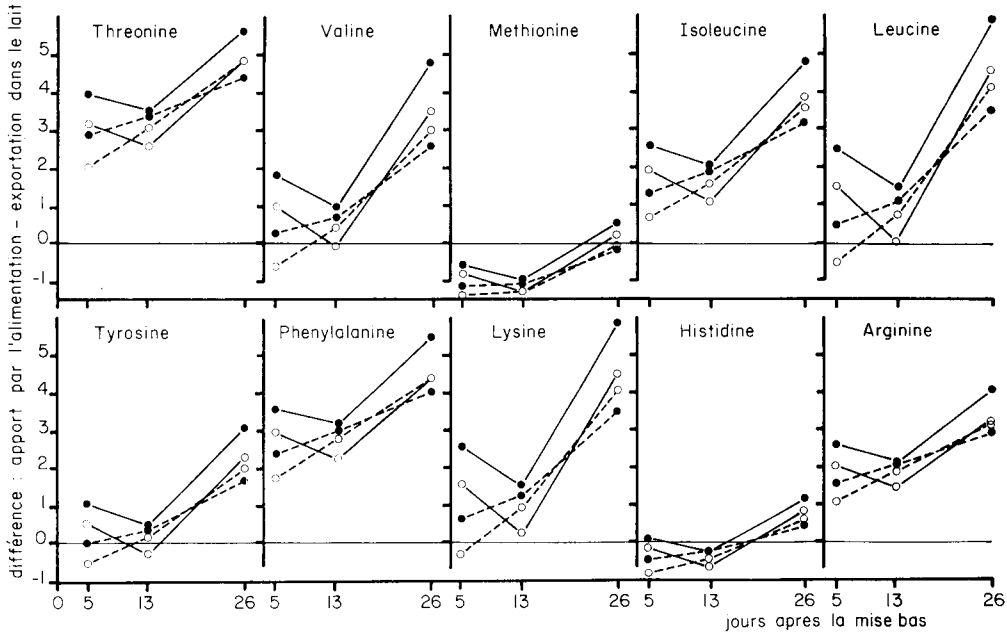


FIG. 5. — Différence entre les quantités journalières (g) d'acides aminés indispensables et semi-indispensables apportées par l'alimentation <sup>(1)</sup> et celles exportées dans le lait <sup>(2)</sup>. ●—● lot GHD ○—○ lot MHD ●-----● lot GBD ○-----○ lot MBD.

*Troisième et quatrième semaine.* — A la 4<sup>e</sup> semaine de la lactation, les quantités d'acides aminés indispensables et semi-indispensables (excepté la méthionine) exportées journellement dans le lait, sont inférieures à celles apportées par l'alimentation (fig. 5). Le fait que les teneurs de la plupart des acides aminés indispensables et semi-indispensables libres ne varient que peu, indique une réduction du catabolisme protéique.

b) *Influence de la sous-alimentation énergétique pendant la fin de la gestation et de l'absence de réserves corporelles suffisantes.*

La sous-alimentation énergétique pendant la fin de la gestation aussi bien que l'absence de réserves corporelles suffisantes ont des conséquences pendant les 2 pre-

<sup>(1)</sup> Estimées à partir de la quantité de protéines digestibles dans l'intestin (PDI) (Jarrige, Journet et Vérité, 1978) et de la composition en acides aminés des contenus de duodénum de chèvre (Champredon, 1972).

<sup>(2)</sup> Calculées à partir des quantités de lait sécrétées (Tissier, communication personnelle) (contenant 49,7 p. 1 000 de matières azotées) et de la composition en acides aminés des matières azotées du lait de brebis.

nières semaines de la lactation : nette augmentation de la production laitière et légère diminution de l'ingestion (Tissier, communication personnelle) (tabl. 2). Ceci provoque un accroissement du déficit en glucose et en acides aminés indispensables et semi-indispensables (fig. 5).

Les augmentations de la glycémie et des teneurs sanguines en glutamine + asparagine libres chez les animaux qui ont été soumis à une restriction énergétique sont sans doute dues respectivement à une augmentation de la synthèse de glucose à partir de l'acide propionique et du transport d'ammoniaque du rumen sous la forme de glutamine, ce qui serait la conséquence de fermentations plus importantes dans le rumen dont le volume a moins diminué au cours de la fin de la gestation. Les augmentations des teneurs en acide aspartique et sérine libres peuvent traduire une baisse de la synthèse de glucose à partir de ces composés.

Les baisses des teneurs sanguines en acide glutamique libre chez les animaux qui n'ont pas de réserves corporelles suffisantes, traduisent un accroissement du catabolisme et de l'utilisation de cet acide aminé pour la synthèse de glucose. Les augmentations des teneurs de certains acides aminés indispensables libres peuvent s'expliquer soit par un accroissement du catabolisme protéique, soit par une augmentation de l'apport d'acides aminés par le tube digestif à la suite d'une élévation de la synthèse de protéines microbiennes dans le rumen. Elles sont sans doute la cause de la stimulation de la production laitière puisque Champredon *et al.* (1977) ont montré que l'augmentation de l'apport d'acides aminés dans le sang, à la suite de l'ingestion de tourteaux formolés, augmente la quantité de lait sécrétée chez la vache forte productrice de lait.

Aussi bien dans le cas de l'influence de la sous-alimentation énergétique pendant la fin de la gestation, que de celle de l'absence de réserves corporelles suffisantes, les différences observées sont dues vraisemblablement à des différences de volume de rumen.

## Conclusion.

Pendant la fin de la gestation, on constate de faibles glycémies à la suite de l'utilisation importante de glucose par l'utérus. La sous-alimentation énergétique pendant les 7 dernières semaines de la gestation accroît le déficit en glucose puisque l'élévation de la néoglucogenèse à partir de l'alanine ne compense pas le ralentissement de la néoglucogenèse à partir de l'acide propionique ; de plus, elle accroît le catabolisme et réduit l'apport par l'intestin de certains acides aminés indispensables et semi-indispensables (tyrosine, phénylalanine). L'absence de réserves corporelles suffisantes est associée à une réduction du déficit en glucose. A l'approche de la mise bas, l'utilisation du glucose par les tissus maternels est sans doute ralentie, de même que le catabolisme des acides aminés et l'incorporation de ces derniers dans les protéines.

Pendant les deux premières semaines de la lactation, le déficit en glucose est moins intense que pendant la fin de la gestation. Ceci est particulièrement net chez les animaux soumis à une sous-alimentation énergétique pendant la fin de la gestation ; chez ces derniers, l'activité fermentaire dans le rumen semble accrue. L'exportation importante d'acides aminés indispensables et semi-indispensables n'est assurée

qu'au prix d'une mobilisation intense des protéines corporelles ; de plus, l'utilisation de ces derniers pour la synthèse des protéines est sans doute limitée à la suite de la forte carence en méthionine. L'absence de réserves corporelles suffisantes accroît l'apport des acides aminés indispensables et semi-indispensables dans le sang.

Reçu en mars 1978.

Accepté en septembre 1978.

## Références

- ARNAL M., FAUCONNEAU G., PECH R., 1972. Synthèses protéiques *in vivo* dans divers tissus du rat en croissance soumis à une réduction de l'apport énergétique de la ration. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **12**, 91-108.
- BAILE C. A., FORBES J. M., 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiol. Rev.*, **54**, 160-214.
- BARGELOH J. F., HIBBS J. W., CONRAD H. R., 1975. Effect of prepartal hormone administration on feed intake and mineral metabolism in cows. *J. Dairy Sci.*, **58**, 1701-1707.
- BASSETT J. M., OXBORROW T. J., SMITH I. D., THORBURN G. D., 1969. The concentration of progesterone in the peripheral plasma of the pregnant ewe. *J. Endocr.*, **45**, 449-457.
- BICKERSTAFFE R., ANNISON E. F., LINZELL J. L., 1974. The metabolism of glucose, acetate, lipids and amino acids in lactating dairy cow. *J. agric. Sci. Camb.*, **82**, 71-85.
- BLOM A. K., HOVE K., NEDKVITNE J. J., 1976. Plasma insulin and growth hormone concentrations in pregnant sheep. II- post absorptive levels in mid and late pregnancy. *Acta endocr.*, **82**, 553-560.
- BROCKMAN R. P., BERGMAN E. N., 1975. Effect of glucagon on plasma alanine and glutamine metabolism and hepatic gluconeogenesis in sheep. *Am. J. Physiol.*, **228**, 1627-1633.
- BROCKMAN R. P., BERGMAN E. N., JOO P. K., MANNS J. G., 1975. Effects of glucagon and insulin on net hepatic metabolism of glucose precursors in sheep. *Am. J. Physiol.*, **229**, 1344-1350.
- BROSTER W. H., 1973. Protein-energy interrelationships in growth and lactation of cattle and sheep. *Proc. Nutr. Soc.*, **32**, 115-122.
- CHAMPREDON C., 1972. *Utilisation de l'acidoacidémie libre comme mesure de la satisfaction du besoin en acides aminés des chèvres laitières. Etude de quelques facteurs.* Thèse Doct. Spéc. (Physiol.), Clermont-Ferrand.
- CHAMPREDON C., PION R., 1972. Evolution de l'acidoacidémie libre de chèvres au début de la lactation. *C. R. Soc. Biol.*, **166**, 378-381.
- CHAMPREDON C., REMOND B., PION R., 1977. Influence d'une sous-alimentation énergétique et azotée sur l'acidoacidémie libre de vaches laitières en début de lactation. *C. R. Soc. Biol.*, **171**, 60-66.
- CHAMPREDON C., VÉRITÉ R., PRUGNAUD J., PION R., 1977. Utilisation des tourteaux traités au formol par les vaches laitières. III — Influence sur l'acidoacidémie libre de la formation des tourteaux, du niveau d'apport azoté et de la nature de l'azote alimentaire. *Ann. Zootech.*, **26**, 513-522.
- FELIG P., 1973. The glucose-alanine cycle. *Metabolism*, **22**, 179-207.
- FORD E. J. H., REILLY P. E. B., 1970. The utilization of free amino acid and glucose carbon by sheep pregnant with twins. *Res. Vet. Sci.*, **11**, 575-579.
- FULKS R. M., LI J. B., GOLBERG A. L., 1975. Effect of insulin, glucose, and amino acids on protein turnover in rat diaphragm. *J. Biol. Chem.*, **250**, 290-298.
- GRIZARD J., PRUGNAUD J., ARNAL M., PION R., 1975. Effet de l'insuline sur la composition corporelle et les teneurs en acides aminés libres du sang, du foie et du muscle du rat en croissance soumis à une restriction énergétique. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **15**, 569-582.
- GRIZARD J., TISSIER M., THERIEZ M., PION R., 1979. Variations de l'insulinémie chez la brebis en fin de gestation et début de lactation. Influence de l'état nutritionnel en fin de gestation. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **19**, 73-78.



- GUADA J. A., ROBINSON J. J., FRASER C., 1976. The effect of a reduction in food intake during late pregnancy on nitrogen metabolism in ewes. *J. agric. Sci. Camb.*, **86**, 111-116.
- HOVE K., BLOM A. K., 1976. Plasma insulin and growth hormone concentrations in pregnant sheep. I — Diurnal variations in mid and late pregnancy. *Acta. endocr.*, **82**, 544-552.
- JARRIGE R., JOURNET M., VÉRITÉ R., 1978. Azote, 89-128. In *Alimentation des ruminants*, Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr), 78000 Versailles.
- KOPROWSKI J. A., TUCKER H. A., 1973. Bovine serum growth hormone, corticoïds and insulin during lactation. *Endocrinology*, **93**, 645-651.
- KRONFELD D. S., 1972. Ketosis in pregnant sheep and lactating cow. *Aust. veter. J.*, **48**, 680-686.
- MACKIE W. S., CAMPBELL R. M., 1972. Effects of pregnancy and lactation on the activities of some gluconeogenic and urea-cycle enzymes in sheep liver. *J. agric. Sci. Camb.*, **79**, 423-429.
- MOORE S., SPACKMAN D. H., STEIN W. H., 1958. Chromatography of amino acids on sulfonated polystyrene resins. *Analyt. Chem.*, **30**, 1185-1190.
- OFFER N. W., TAS M. V., AXFORD R. F. E., EVANS R. A., 1975. The effect of glucose infusion on the plasma free amino acids in sheep. *Br. J. Nutr.*, **34**, 375-382.
- PAWLAK M., PION R., 1968. Influence de la supplémentation des protéines de blé par des doses croissantes de lysine sur la teneur en acides aminés libres du sang et du muscle du rat en croissance. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **8**, 517-530.
- PION R., 1976. Dietary effects and amino acids in tissues, 259-277. In COLE D. J. A., BOORMAN K. N., BUTTERY P. J., LEWIS D., NEALE R. J., SWAN H., *Protein metabolism and nutrition*. Butterworths, Londres.
- PRIOR R. L., CHRISTENSON R. K., 1976. Influence of dietary energy during gestation on lambing performance and glucose metabolism in Finn-cross ewes. *J. anim. Sci.*, **43**, 1114-1124.
- PRIOR R. L., CHRISTENSON R. K., 1977. Gluconeogenesis from alanine *in vivo* by the ovine foetus and lamb. *Am. J. Physiol.*, **233**, E462-E468.
- RÉRAT A., DESMOULIN B., 1970. Influence d'une restriction alimentaire, énergétique et azotée sur la croissance et la composition corporelle du rat blanc. *Ann. Zootech.*, **19**, 103-115.
- SNEDECOR G. W., COCHRAN W. G., 1971. *Méthodes statistiques*. A.C.T.A. ed., Paris.
- SPIRES H. R., CLARK J. H., DERRIG R. G., DAVIS C. L., 1975. Milk production and nitrogen utilization in response to postprandial infusion of sodium caseinate in lactating cows. *J. Nutr.*, **105**, 1111-1121.
- TERQUI M., DELOUIS C., 1975. Les œstrogènes au cours de la gestation et la parturition chez la brebis, 332-341. In INRA ITOVIC, *Journées Recherches Ovines*, Ed. S.P.E.O.C., Paris.
- TISSIER M., BRELURUT A., 1976. Diagnostic du nombre de foetus chez la brebis par radiographie aux rayons X avec un appareil portable de faible puissance. *Ann. Zootech.*, **25**, 411-415.
- TISSIER M., THERIEZ M., 1978. Ovins, 403-448. In *Alimentation des ruminants*, Ed. INRA Publications (Route de Saint Cyr), 78000 Versailles.
- TISSIER M., THERIEZ M., MOLENAT G., 1975. Evolution des quantités d'aliment ingérées par les brebis à la fin de la gestation et au début de la lactation. Incidence sur les performances I — Etude de deux rations à base de foin de qualité différente. *Ann. Zootech.*, **24**, 711-727.
- VERMOREL M., 1978. Utilisation énergétique des produits terminaux de la digestion, 47-88. In *Alimentation des ruminants*. Ed. INRA Publications (Route de Saint-Cyr), 78000 Versailles.
- WOOL I. G., 1972. Insulin and the regulation of protein synthesis in muscle. *Proc. Nutr. Soc.*, **31**, 185-191.
- YOUNG J. W., 1976. Gluconeogenesis in cattle : significance and methodology. *J. Dairy Sci.*, **60**, 1-15.
-