

F. BOCQUIER, B. LEBŒUF*,
J. ROUEL, Y. CHILLIARD

INRA Laboratoire de Recherches
sur la Sous-Nutrition des Ruminants,
Theix, 63122 St Genès Champanelle

* INRA Station Expérimentale d'Insémination
Artificielle, 86480 Rouillé

Effet de l'alimentation et des facteurs d'élevage sur les performances de reproduction de chevrettes Alpines

Les chèvres laitières sont souvent mises à la reproduction de façon à ce que la période de lactation coïncide avec celle où le lait a le prix le plus élevé. Les chevrettes de renouvellement, nées à l'automne, sont donc mises à la reproduction précocement et à contre-saison. Le taux de fertilité obtenu après insémination artificielle est faible. La maîtrise de l'alimentation et des facteurs d'élevage devrait permettre d'améliorer ce résultat.

En France, les périodes de naissance des chevrettes laitières, qui sont généralement assez groupées au sein d'un troupeau, se répartissent entre novembre et mars. Les chevrettes conservées pour le renouvellement doivent être mises à la reproduction précoce-

ment, à l'âge de 7 à 9 mois, afin de rejoindre dans l'année les chèvres adultes en production. Pour pouvoir bénéficier du progrès de la génétique et/ou pour déclencher la puberté, il peut être intéressant de synchroniser la reproduction de ces chevrettes et de pratiquer l'insémination artificielle (IA). La réussite à l'insémination des nullipares est assez variable et, parmi les facteurs susceptibles d'agir sur cette variabilité, on peut distinguer ceux liés à l'animal (âge, poids vif et vitesse de croissance), des facteurs du milieu (alimentation, photopériode) ou des facteurs sanitaires. Les principaux effets de ces facteurs sont assez bien connus, en revanche on connaît mal leurs interactions chez la chevrette de renouvellement.

Au cours de quatre expériences successives, nous avons fait varier les niveaux (supérieurs ou inférieurs aux besoins) et la nature (teneur en azote des rations) de l'alimentation quelques semaines avant l'IA. Nous avons, dans ces expériences, tenu compte des différences de poids des chevrettes en étudiant séparément les chevrettes les plus lourdes et les plus légères. Dans cet article, nous tentons de dissocier les effets de l'alimentation qui s'exercent sur différentes échelles de temps.

Résumé

Nous avons étudié, au cours de quatre essais sur des chevrettes Alpine ($n = 158$), les facteurs de variation de la réussite à l'insémination artificielle (IA) réalisée à un âge moyen de 8 mois. Après une mise en lot sur des critères zootechniques, les régimes expérimentaux ont été appliqués depuis 25 jours avant et jusqu'à 21 jours après l'IA. En moyenne, en régime Bas, les croissances des chevrettes ont été diminuées (-22 g/j), alors qu'elles se sont maintenues ($+54 \text{ g/j}$) lorsque les chevrettes étaient en régime Haut. L'évolution des métabolites plasmatiques juste après la mise en régime est conforme aux résultats de la bibliographie. En revanche, l'application des traitements hormonaux (pose des éponges vaginales 11 jours avant IA) provoque des évolutions qui ne sont plus conformes à l'état nutritionnel des animaux. Chez les chevrettes en alimentation restreinte, le pic pré-ovulatoire de LH apparaît en moyenne plus tôt que chez les chevrettes correctement alimentées ($28,6 \text{ h vs } 31,3 \text{ h} ; P < 0,003$). La variabilité du moment d'ovulation est vraisemblablement à l'origine des écarts de fertilité après IA. Lorsque le pic de LH apparaît tardivement, le taux d'ovulation est plus élevé. La fertilité après IA est en moyenne positivement reliée au poids vif avant la mise en régime. L'amélioration de la réussite à l'insémination artificielle des chevrettes de renouvellement passe par un contrôle simultané des facteurs zootechniques (mise en lots) et de l'alimentation (niveau alimentaire).

Pour cela, nous avons séparé les effets à long terme, qui se manifestent via le potentiel de croissance (format ou poids à l'âge de 7 à 9 mois), des effets à moyen terme, qui se traduisent au moment de la mise à la reproduction par des différences de vitesse de croissance lorsqu'on fait varier les apports alimentaires. Ainsi, nous tenons compte des principaux paramètres zootechniques qui influencent les performances de croissance des chevrettes.

1 / Conditions expérimentales

1.1 / Conduite générale des essais

Les chevrettes, de race Alpine, proviennent du troupeau du Domaine INRA des Verrines (Lusignan, 86). Les conduites des animaux ont été très voisines au cours des quatre années. Toutes les chevrettes, allaitées artificiellement, ont été sevrées à un poids fixe de 15 kg environ et à un âge moyen de 73 j (tableaux 1 et 2). Elles ont ensuite été alimentées de façon libérale avec un régime à base de foin, distribué *ad libitum*, et d'aliments concentrés comportant du maïs grain et des aliments du commerce jusqu'à un âge moyen de 214 j (7 mois). A l'issue de cette phase, des lots homogènes ont été constitués sur la base du poids vif, de la vitesse de croissance et de l'âge. Ensuite, des régimes expérimentaux très contrastés ont été appliqués en moyenne pendant 44 jours aux animaux conduits en lots. Pour les trois premiers essais (1994, 1995 et 1996), la dispersion des poids vifs était recherchée et les groupes ont été constitués en séparant les chevrettes les plus légères des plus lourdes. Pour l'essai 1997, quatre lots de même poids vif moyen ont été

constitués pour tester les effets et l'interaction du niveau d'apport d'énergie et de la teneur en azote de la ration.

1.2 / Contrôles alimentaires

La consommation d'aliments a été mesurée dans chaque lot par pesées des quantités offertes et refusées (5 jours/semaine). La valeur nutritionnelle des aliments a été déterminée à partir de leurs analyses chimiques (INRA 1988). Dans les trois premiers essais une même ration a été distribuée aux différents lots expérimentaux, seuls différaient les niveaux d'apports (Haut ou Bas). Dans l'essai 97, la composition et les niveaux d'apports étaient différents : la teneur en azote de la ration (MAT en % MS) était de 12 % ou 17 % (alors qu'elle était d'environ 12 % dans les trois essais précédents) et l'apport énergétique était Haut ou Bas.

Le taux de couverture des besoins des chevrettes a été calculé d'après les données INRA (1988). Les besoins énergétiques (B) des chevrettes en croissance dépendent de leur poids vif (PV, kg) et du gain moyen quotidien (GMQ, kg) selon l'équation $B = 0,048 PV^{0,75} + 1,08 GMQ$. Lorsque les croissances sont nulles ou négatives, nous avons considéré que le besoin ne dépendait que du poids vif. La même démarche a été appliquée pour les besoins en azote.

1.3 / Mesures zootechniques

Les caractéristiques zootechniques des mères des chevrettes sont connues et les caractéristiques des portées ont été enregistrées (poids des chevreaux, taille de la portée). Les chevrettes sont pesées à la naissance et toutes les semaines jusqu'à un âge moyen de 294 j. Les courbes individuelles de poids sont

Tableau 1. Caractéristiques zootechniques moyennes des chevrettes des essais de 1994 et 1995. Les chevrettes sont élevées en lots de 12 et sont réparties selon deux régimes alimentaires (Bas ou Haut) et selon leur format (Légères ou Lourdes). IA : insémination artificielle, GMQ : gain moyen quotidien.

Essai	1994				1995	
	Bas		Haut		Bas	Haut
Régime alimentaire	Légères	Lourdes	Légères	Lourdes	Légères	Lourdes
Format	Légères	Lourdes	Légères	Lourdes	Légères	Lourdes
Effectif	9	11	10	11	12	12
Poids à la naissance (kg)	4,0	4,2	4,5	4,1	4,1	4,3
Age au sevrage (j)	74	65	74	67	94 ^a	71 ^b
Poids au sevrage (kg)	15,3	15,7	15,3	15,4	17,2 ^a	18,3 ^b
Poids à la mise en régime (kg)	31,1 ^a	34,9 ^b	30,8 ^a	34,9 ^b	31,1 ^a	35,7 ^b
Age à l'IA (j)	244 ^a	252 ^{ab}	246 ^a	258 ^b	231	230
Poids à l'IA (kg)	30,6 ^a	34,2 ^b	30,5 ^a	35,0 ^b	31,7 ^a	37,4 ^b
GMQ Naissance - Sevrage (g/j)	157	178	151	172	141 ^a	198 ^b
GMQ Sevrage - Mise en régime (g/j)	106	116	104	114	123	129
GMQ Mise en régime - IA (g/j)	-27	-34	-15	1	23	72
Fertilité (%)	78	55	30	64	83	67
Taux d'ovulation	1,55 ^{ab}	1,91 ^a	1,00 ^b	1,55 ^{ab}	-	-
Apparition du pic de LH (h)	28,4 ^{ab}	25,1 ^a	32,0 ^b	30,4 ^{ab}	-	-

Au sein d'un même essai, les moyennes suivies des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

Tableau 2. Caractéristiques zootechniques moyennes des chevrettes des essais de 1996 et 1997. Les chevrettes sont élevées en lot de 12 et sont réparties selon deux régimes alimentaire (Bas ou Haut) avec des teneurs différentes en azote (MAT) en 1997 (12 % vs 17 %) et selon leur format en 1996 (Légères ou Lourdes). IA : insémination artificielle, GMQ : gain moyen quotidien.

Essai	1996				1997			
	Régime alimentaire		Haut		MAT12%		MAT17%	
Facteur étudié	Légères	Lourdes	Légères	Lourdes	Bas	Haut	Bas	Haut
Effectif	10	12	12	12	12	11	12	12
Poids à la naissance (kg)	4,1	4,1	4,4	4,3	4,2	4,4	4,4	4,4
Age au sevrage (j)	90 ^a	66 ^b	88 ^a	63 ^b	72	67	70	70
Poids au sevrage (kg)	15,5 ^a	16,2 ^{bc}	15,6 ^{ab}	16,3 ^c	15,9	15,5	15,8	15,6
Poids à la mise en régime (kg)	30,1 ^a	35,6 ^b	30,5 ^a	36,4 ^b	32,2	33,3	33,7	33,6
Age à l'IA (j)	240 ^{ab}	246 ^a	235 ^b	245 ^a	235	236	235	234
Poids à l'IA (kg)	28,9 ^a	33,8 ^b	32,6 ^b	38,8 ^c	32,3 ^a	35,3 ^{ab}	33,7 ^{ab}	36,1 ^b
GMQ Naissance - Sevrage (g/j)	129 ^a	187 ^b	131 ^a	193 ^b	165	167	167	163
GMQ Sevrage - Mise en régime (g/j)	116	126	122	129	124	130	134	135
GMQ Mise en régime - IA (g/j)	-147 ^a	-172 ^a	84 ^b	96 ^b	6 ^a	61 ^b	-11 ^a	78 ^b
Fertilité (%)	50	75	83	75	58	73	50	75
Taux d'ovulation	1,40	1,67	1,83	1,50	1,83	1,27	1,55	1,75
Apparition du pic de LH (h)	28,9	28,3	29,3	31,0	29,7	32,0	31,3	33,0

Au sein d'un même essai, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

ajustées par régression polynomiale avant de calculer les gain moyens quotidiens des chevrettes entre certaines périodes clefs : naissance-sevrage, sevrage-mise en régime et mise en régime-IA.

1.4 / Paramètres sanguins

Des prélèvements sanguins, effectués sur les chevrettes avant la distribution du repas du matin, ont été réalisés (en 1994, 96 et 97) avant (- 9 j) et après (+ 7 j) le début des mises en régimes expérimentaux et au moment de l'IA (soit + 25 j après la mise en régime), pour analyser (Chilliard *et al* 1984) les taux plasmatiques de certains métabolites (glucose, acides gras non estérifiés (AGNE), urée et bêta-hydroxybutyrate (β OH)).

1.5 / Conduite de la reproduction

Lors du premier essai, l'IA a été réalisée début août (05/08/94) alors que pour les trois autres essais les chevrettes ont été inséminées début septembre (01/09/95, 13/09/96 et 05/09/97). Les chevrettes ont été inséminées en moyenne 25 jours après la mise en régimes expérimentaux (21 j en 1994, 24 j en 1995, 25 j en 1996 et 32 j en 1997). Les œstrus ont été induits et synchronisés par la pose d'éponges vaginales (40 mg FGA, durée 11 j) et par des injections simultanées de PMSG (250 UI) et de Cloprosténol (50 mg), effectuées 48 h avant le retrait des éponges. L'insémination a été réalisée 45 ± 2 h après le retrait des éponges. Pour détecter le pic pré-ovulatoire de LH, des prises de sang ont été effectuées toutes les 4 h entre la 16^e et la 44^e heure après le retrait de l'éponge. Le taux de réussite à l'IA a été estimé par dosage de la progestérone 21 jours après IA, par échographie au 35^e jour après

IA et par l'enregistrement des mise bas au terme présumé de la gestation.

Les paramètres de reproduction retenus sont les suivants : proportion de chevrettes ayant ovulé et taux d'ovulation, mesuré à partir du comptage des corps jaunes par observation endoscopique des ovaires 7 jours après l'IA ; proportion de chevrettes gestantes, la gestation étant déterminée par mesure de la progestéronémie 21 jours après l'IA ; taux de mise bas après IA, en proportion du nombre de chevrettes inséminées ; taux de mise bas global, incluant les chevrettes fécondées ultérieurement par monte naturelle ; proliférité (nombre de chevreaux nés totaux par femelle). Les pertes en cours de gestation ont été estimées par différence entre le résultat du diagnostic de gestation à 21 jours et le taux de mise bas après IA.

Lorsque l'alimentation n'est pas limitante, le poids des chevrettes à la mise à la reproduction dépend surtout de leur poids à la naissance et de leur croissance jusqu'au sevrage.

1.6 / Analyse statistique des données

Les résultats zootechniques ont été analysés par le modèle linéaire généralisé (GLM) et les résultats de reproduction avec les procédures Catmod et Logistic de SAS.

2 / Résultats

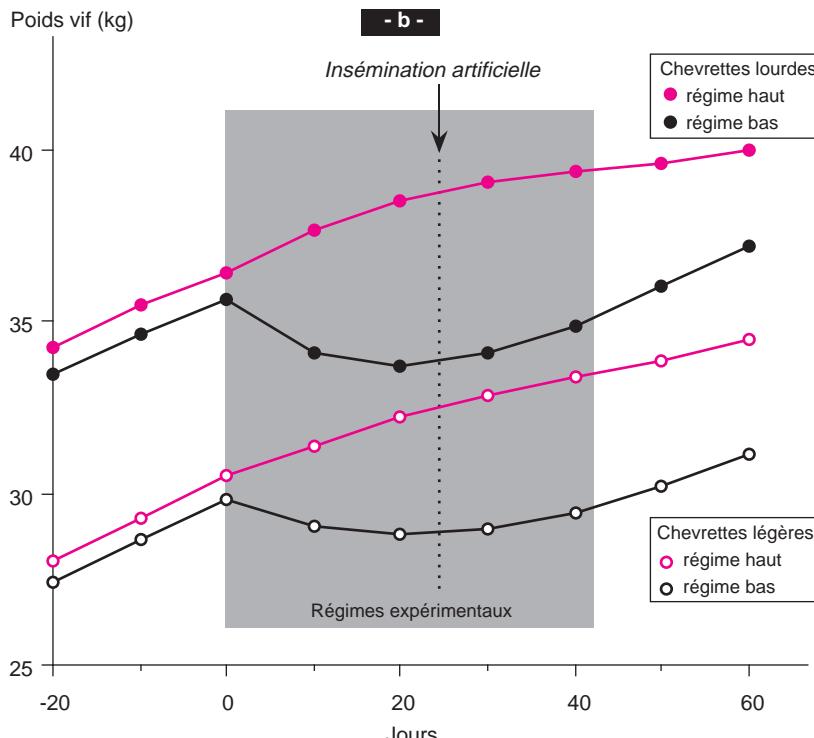
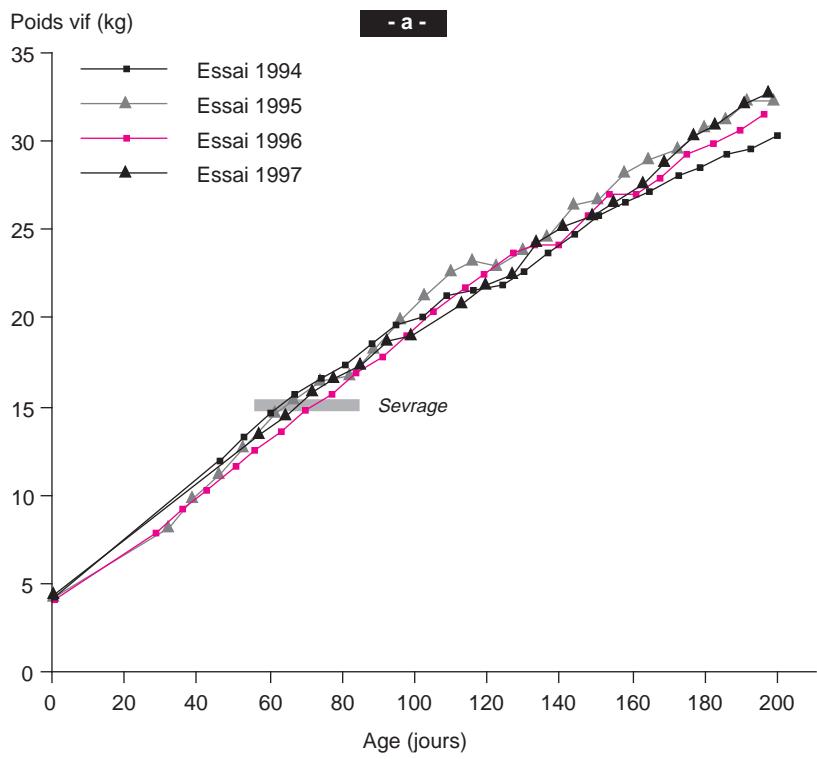
2.1 / Poids vif et croissance des chevrettes

Au cours de la première phase d'élevage, les poids vifs, qui évoluent de façon linéaire, sont très proches d'un essai à l'autre (figure 1a). Lors de la mise en régime, le poids moyen dans les différents lots est de 33,1 kg. Lorsque des sous-groupes ont été constitués selon le

développement corporel (essais 1994 et 96), les chevrettes les plus légères pesaient 30,6 kg et les plus lourdes 35,5 kg ($P < 0,001$). Nous avons exprimé le poids des chevrettes à l'IA en proportion de celui de leurs mères (en moyenne 56,1 kg). Ainsi, les chevrettes ont

Figure 1. Evolution du poids vif des chevrettes

- a / de la naissance jusqu'à l'âge de 200 jours (données brutes des 4 années d'expérience)
- b / après la mise en régimes expérimentaux (données 1996, moyennes lissées par ajustements polynomiaux).



été inséminées alors que leur poids représentait en moyenne 60 % (entre 54 et 71 %) de celui des adultes. Les croissances moyennes entre le sevrage et la mise en lot sont voisines pour les différents lots (tableaux 1 et 2) et sont comprises entre 104 et 135 g/j. Si on examine, par exemple, les résultats de l'essai 1996 (tableau 2), on constate qu'entre la mise en régime et l'IA, les croissances des chevrettes en régime Haut se maintiennent (+ 90 g/j) alors que celles des chevrettes sous-alimentées (Bas) sont stoppées (- 60 g/j). Lors de la réalimentation (après 42 j en moyenne) les croissances se maintiennent dans les lots Haut et se rétablissent dans les régimes précédemment Bas (figure 1b). Pour les autres essais, les croissances après la mise en régime sont plus variables, notamment en 1994.

Pour l'ensemble des essais ($n = 158$) et quel que soit le régime alimentaire, nous retrouvons les principaux facteurs de variation de la croissance rapportés chez les petits ruminants. Nous confirmons l'effet positif du poids des chevrettes à la naissance sur le poids à l'âge de 7 mois ($r = + 0,25$, $P < 0,002$) et sur le poids à l'IA ($r = + 0,29$, $P < 0,001$). La vitesse de croissance entre le sevrage et l'âge de 7 mois conditionne fortement ($r = + 0,70$, $P < 0,001$) le poids au moment de l'IA. Le système d'élevage, avec sevrage à poids fixe (15 kg), a permis aux chevrettes de réaliser des croissances rapides pendant l'allaitement (164 g/j) et des croissances ultérieures relativement homogènes (122 g/j, tableaux 1 et 2).

2.2 / Alimentation et couverture des besoins

Pendant le mois qui précède la mise en régime, les quantités distribuées permettent théoriquement (INRA 1988) de couvrir les besoins énergétiques moyens des animaux (127 % des besoins pour l'année la moins favorable (1997) et 134 % pour l'année la plus favorable (1996)). Lors des essais dans lesquels les chevrettes sont réparties en groupes selon leurs poids, les écarts intra-régime (Bas ou Haut) du taux de couverture des besoins sont inférieurs à 4 %, ce qui permet de considérer que les régimes sont comparables, quel que soit le format des chevrettes. Au total, les taux de couverture des besoins en énergie des chevrettes en régimes Haut sont de 136 %, et de 82 % pour celles qui sont en régimes Bas. Les besoins théoriques en protéines (INRA 1988) ont toujours été couverts lorsque la teneur en MAT de la ration était de 12 % environ (taux de couverture de 96 % à 167 %). En 1997, les chevrettes alimentées avec un régime à 17 % de MAT avaient leurs besoins couverts à hauteur de 178 % (Bas) et 223 % (Haut). Ceci est confirmé par les valeurs des urémies, qui sont de 0,37 et 0,47 g/l pour les régimes à 12 et 17 % de MAT respectivement. Afin de minimiser l'impact éventuel des hypothèses de calcul sur les apports nutritifs ou sur les besoins des animaux, les différences entre régimes étaient uniquement dues à des différences d'apports de rations de même

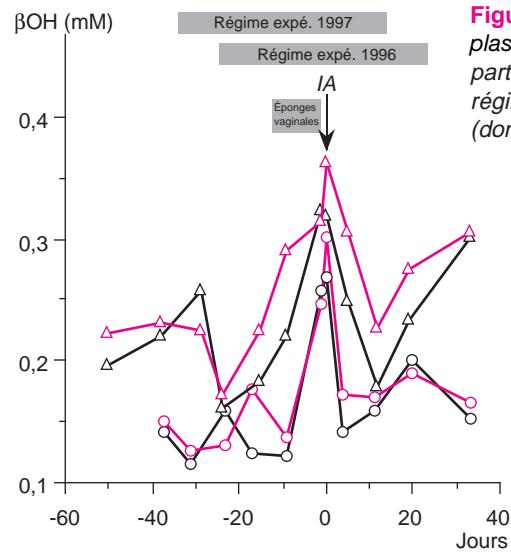
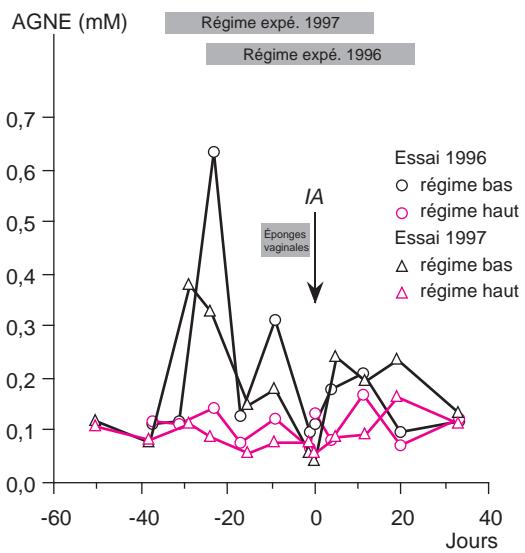


Figure 2. Evolution des taux plasmatiques d'AGNE de β OH de part et d'autre des changements de régime alimentaire (données des essais 1996 et 97).

nature. Ainsi, en moyenne, les chevrettes en régime Bas ont reçu 45 % des quantités distribuées à celles recevant un régime Haut.

2.3 / Paramètres métaboliques

Sur l'ensemble des données disponibles (1994, 96 et 97), régimes Hauts et Bas confondus, les croissances les plus élevées sont associées à des teneurs en AGNE faibles ($r = -0,61$, $P < 0,001$, $n = 158$), et à des teneurs élé-

vées en glucose ($r = +0,40$, $P < 0,001$). Cela traduit respectivement un moindre engrangement et des niveaux d'ingestion de matière organique satisfaisants. Les évolutions des taux plasmatiques de ces métabolites après la mise en régime illustrent les capacités d'adaptation des animaux (tableau 3). Ainsi, les taux d'AGNE, faibles avant le début des essais (figure 2), restent inchangés chez les chevrettes en régime Haut alors qu'ils s'élèvent fortement dès la première semaine (de 0,10 à

Les paramètres métaboliques permettant habituellement de caractériser l'état nutritionnel des animaux sont perturbés par les traitements hormonaux de synchronisation des oestrus.

Tableau 3. Teneurs plasmatiques moyennes en acides gras non estérifiés (AGNE) et en béta-hydroxybutyrate (β OH).

	AGNE (mM)			β OH (mM)		
	9 j avant début régime	7 j après début régime	25 j après début régime	9 j avant début régime	7 j après début régime	25 j après début régime
Essai 1994						
Régime bas						
- ch. légères	0,21	0,21 ^{ab}	0,09 ^a	—	—	—
- ch. lourdes	0,16	0,30 ^a	0,10 ^{ab}	—	—	—
Régime haut						
- ch. légères	0,20	0,29 ^{ab}	0,18 ^b	—	—	—
- ch. lourdes	0,19	0,20 ^b	0,10 ^{ab}	—	—	—
Essai 1995						
Rég. bas, ch. légères	—	0,27	0,40 ^a	—	0,07 ^a	0,09
Rég. haut, ch. lourdes	—	0,19	0,23 ^b	—	0,13 ^b	0,07
Essai 1996						
Régime bas						
- ch. légères	0,11 ^{ab}	0,76 ^a	0,12	0,15	0,17 ^a	0,28
- ch. lourdes	0,09 ^b	0,58 ^b	0,12	0,14	0,14 ^b	0,28
Régime haut						
- ch. légères	0,15 ^a	0,14 ^c	0,15	0,15	0,15 ^{ab}	0,30
- ch. lourdes	0,09 ^b	0,14 ^c	0,12	0,15	0,11 ^c	0,30
Essai 1997						
12 % de MAT						
- régime bas	0,08	0,38 ^a	0,03 ^a	0,20 ^a	0,26 ^a	0,37 ^a
- régime haut	0,10	0,12 ^b	0,06 ^b	0,26 ^b	0,27 ^a	0,43 ^b
17 % de MAT						
- régime bas	0,07	0,38 ^a	0,05 ^{ab}	0,24 ^{ab}	0,26 ^a	0,27 ^c
- régime haut	0,07	0,09 ^b	0,04 ^{ab}	0,22 ^{ab}	0,21 ^b	0,28 ^c

Au sein d'un même essai, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.

0,51 mM : + 410 %) chez les chevrettes en régime Bas, ils ont ensuite tendance à diminuer puis augmentent à nouveau après l'IA. Les taux de β OH sont en moyenne faibles (figure 2) et suivent une évolution inverse de celle des taux d'AGNE avec une augmentation au moment des IA et une baisse ensuite. Malgré les changements de régimes, la glycémie des chevrettes reste assez stable au cours du temps, mais des augmentations (+ 9 %), parfois significatives, apparaissent en faveur des animaux en régime Haut.

2.4 / Cyclicité avant la mise à la reproduction

Les mesures de progestéronémie, effectuées chaque année avant la pose des éponges, ont révélé qu'à cet âge (7,5 mois) aucune des chevrettes n'est spontanément cyclique, donc pubère.

2.5 / Pic pré-ovulatoire de LH et fertilité

Pendant la période de mesure, seules deux chevrettes n'ont pas présenté de pic préovulatoire (une légère en régime Haut en 1994 et une en régime Bas à 17 % de MAT en 1997). Pour toutes les autres ($n = 134$: essais 1994, 96 et 97) le pic pré-ovulatoire apparaît en moyenne à $29,9 \pm 4,7$ heures après le retrait de l'éponge. L'effet du type de chevrette (lourde ou légère) ou du poids vif (à la mise en régime ou à l'IA) n'est jamais significatif ($0,5 < P < 0,70$) sur ce critère. En revanche les chevrettes en régime Bas ont des pics significativement ($P < 0,003$) plus précoces ($-2,66$ h) que celles en régime Haut (31,3 h). Ceci est confirmé par la corrélation négative ($r = -0,25$; $P < 0,005$) entre le moment d'apparition du pic de LH et les teneurs en AGNÉ mesurées deux semaines après la mise en régime, avant la pose des éponges vaginales. De plus, outre l'effet régime, il subsiste une relation positive entre le poids à la naissance (PN) et le délai d'apparition du pic de LH qui augmente de 1,43 h par kg PN ($P < 0,02$). Comme nous avons observé un écart de 0,96 kg entre les chevrettes nées de portées simples et celles issues de portées multiples, la différence moyenne serait de 1,5 h entre ces deux types de chevrettes. Il existe par ailleurs une corrélation négative entre le moment d'apparition du pic préovulatoire de LH et le nombre d'ovules émis ($r = -0,38$; $P < 0,002$).

La proportion de chèvres ayant ovulé n'a pas varié en fonction du régime alimentaire (Haut : 97 % vs Bas : 99 %), ni du type de femelles, légères ou lourdes (98 %). Le taux d'ovulation n'a pas varié significativement selon le régime alimentaire (Haut : 1,54 vs Bas : 1,69) ni selon le type de chevrettes (lourdes : 1,69 vs légères : 1,50).

2.6 / Taux de fertilité après IA

Globalement, sur l'ensemble des essais (tableaux 1 et 2) et indépendamment des régimes alimentaires, il existe une relation positive ($r = +0,27$; $n = 14$ lots) entre la fertilité et le poids moyen des chevrettes au moment de l'IA. Cette relation présente un intérêt pratique car il s'agit de résultats de petits lots d'animaux.

Les taux de mise bas après IA sont compris entre 61 % et 69 %. Ces taux sont comparables entre régimes alimentaires (Haut : 68,0 %, $n = 103$ vs Bas : 61,8 %, $n = 89$). Le développement corporel n'a pas eu d'effet significatif sur la fertilité (lourdes : 69,6 %, $n = 69$ vs légères : 62,5 %, $n = 64$). Les pertes embryonnaires en cours de gestation, calculées entre le 21^e jour et la mise bas ne semblent dépendre ni du régime alimentaire (Haut : 17 %, 9/103 vs Bas : 15 %, 6/89), ni du type de chevrette (lourdes : 13 %, 4/69 vs légères : 4 %, 1/64).

Même s'il n'a pas été possible de mettre en évidence un effet année significatif ($P > 0,60$), on peut observer des différences moyennes entre années (par rapport à 1997 : -5 pts en 94, +11 pts en 95 et +8 pts en 96). Pour éliminer ces variations inter-annuelles, nous avons entrepris d'examiner, intra-année, l'influence des facteurs zootechniques et nutritionnels sur la fertilité des chevrettes. La probabilité de réussite à l'IA peut être prédictive par régression logistique en utilisant les paramètres zootechniques et/ou métaboliques. Pour les essais 1995, 96 et 97, la fertilité n'est pas significativement reliée à la croissance des chevrettes au moment de l'IA, mais elle est positivement et significativement reliée (tableau 4) au poids des chevrettes à la mise en régime (ou au poids à l'IA). Cependant la prévision se fait avec un taux de concordance qui n'est pas toujours très élevé (compris entre 53 et 90 %, tableau 4).

De façon surprenante, nous observons en 1994 une relation très étroite (90 % de concordance) et négative entre le poids et la fertilité, chez les chevrettes en régime Bas (figure 3). Dans tous les cas, ni l'âge au moment de l'IA, ni les teneurs en glucose et en β OH ne contribuent significativement à l'amélioration de ces modèles logistiques. En revanche, et uniquement pour les régimes Haut, on observe que le taux d'AGNE est négativement corrélé (tous les essais ; $P < 0,003$) avec la fertilité à l'IA.

Discussion

La reproduction des caprins adultes est saisonnée sous nos latitudes (Chemineau *et al* 1991), ce qui explique qu'aucune chevrette ne soit cyclique au moment de la pose des éponges (1994 : 22 juillet, 1995 : 18 août, 1996 : 30 août et 1997 : 22 août). En effet, comme on le verra ci-dessous, certaines chevrettes ont atteint un développement corporel qui aurait pu permettre la mise en place d'une activité cyclique. La présence de mâles aurait également pu déclencher la cyclicité (Chemineau

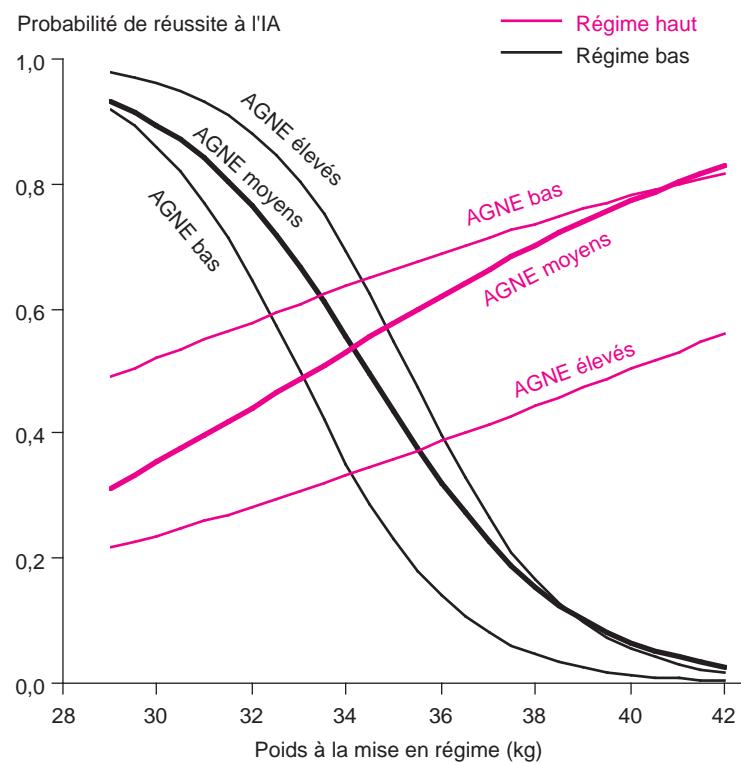
Le pic de LH apparaît significativement plus tôt chez les chevrettes les moins bien alimentées.

neau *et al* 1989), même si leur absence dans ces essais ne peut expliquer l'inactivité sexuelle : en 1997 (résultats non présentés) l'introduction de boucs n'a déclenché la cyclicité que chez 2 chevrettes sur 12. Les traitements hormonaux constituent donc un moyen efficace de déclencher la puberté chez les chevrettes de renouvellement (Lebœuf *et al* 1998).

Les résultats de cette étude confirment que les paramètres zootechniques supposés favorables à la réussite de la reproduction (poids vif et vitesse de croissance, niveau alimentaire) sont très largement inter-dépendants (caprins : Mavrogenis *et al* 1984, ovins : Villette *et al* 1982, Villette et Thériez 1984, Thériez 1991). Ainsi, la taille de la portée dont est issue une chevrette conditionne largement sa croissance ultérieure. D'autre part, même lorsque les naissances des nullipares sont regroupées, les différences d'âge, même faibles, conditionnent pour partie les résultats de fertilité après traitement hormonal et IA (Lebœuf 1992). Ces deux facteurs, qui sont difficiles à maîtriser sur l'ensemble d'un troupeau, peuvent toutefois être pris en compte pour alimenter les chevrettes au moment de l'IA. Le sevrage des chevrettes à poids fixe (15 kg) et donc à un âge élevé (73 j), permet de maintenir les croissances à un niveau élevé (Louca *et al* 1976, Morand-Fehr *et al* 1976). Toutefois avec les régimes alimentaires qui ont été étudiés, les différences initiales de poids ont tendance à se maintenir au cours des six premiers mois. Dès lors que l'alimentation est libérale, la croissance ne dépend pas de l'alimentation mais des performances antérieures et/ou des caractéristiques à la naissance. En revanche, lorsque les apports alimentaires sont limitants (régimes Bas), la croissance dépend d'abord de l'alimentation. D'ailleurs, la réduction des apports alimentaires après l'âge de 214 j (7 mois) et pendant la période qui encadre l'IA a eu un effet marqué sur la croissance des chevrettes. Les apports protéiques recommandés par l'INRA (1988), qui semblaient faibles par rapport à ceux des agnelles (INRA 1988), sont satisfaisants puisqu'il n'y a pas eu d'écart significatif de performances entre les deux régimes testés.

Les profils métaboliques permettent de caractériser l'état nutritionnel des animaux. Il est apparu que la glycémie n'était pas un paramètre très sensible aux différences d'apports alimentaires, comme cela a déjà été décrit chez les ruminants (Blum *et al* 1995, Chilliard *et al* 1995). En revanche, dans ces essais, les taux plasmatiques d'AGNE ont clairement mis en évidence l'effet à moyen terme de la sous-alimentation et les teneurs mesurées sur ces chevrettes sont en accord avec celles rapportées chez des chèvres adultes taries ou en fin de lactation (Chilliard 1985 et Chilliard *et al* 1987). Les teneurs en β OH, qui ne sont pas affectées par les apports alimentaires, semblent évoluer en fonction des traitements hormonaux de synchronisation. Ainsi, les teneurs en β OH s'élèvent après

Figure 3. Relations entre la fertilité et le poids vif des chevrettes selon les taux plasmatiques d'AGNE lorsque les chevrettes sont placées en régime Bas ou Haut (essai 1994).



la pose des éponges vaginales et diminuent dès le retrait de celles-ci lors de l'IA (cf figure 2). Pour les AGNE l'évolution est inversée : les taux sont les plus bas 11 jours après la pose des éponges et s'élèvent ensuite. Des effets lipogénique (ou anti-lipolytique) et cétogénique de la progestérone ont déjà été décrits chez le rat (revue de Chilliard 1986). La remontée des AGNE après le retrait des éponges est peut-être due aux œstrogènes, dont le rôle lipolytique est souvent évoqué. Toutefois, les évolutions des taux de stéroïdes naturels (œstradiol et progestérone) au cours du cycle de la chèvre telles qu'elles ont été décrites dans la littérature (Chemineau *et al* 1982) n'ont pas, à notre connaissance, été

Tableau 4. Prévision de la réussite à l'insémination en fonction du poids vif des chevrettes lors de la mise en régime (modèle logistique).

Essai	Régime	Effet du poids vif à la mise en régime	Test	Concordance (%)
1994	Haut	-	ns	75,5
	Bas		P < 0,004	92,3
1995	Haut	+	ns	78,1
	Bas		P < 0,05	90,0
1996	Haut	+	ns	53,7
	Bas		P < 0,05	75,9
1997	Haut	+	P < 0,09	72,5
	Bas		ns	66,4

reliées aux évolutions des métabolites sanguins telles que nous les avons observées.

Il y aurait donc une interaction entre le traitement de synchronisation et les apports alimentaires, qui expliquerait que les taux d'AGNE et de β OH mesurés juste avant l'IA ne soient pas reliés aux paramètres de reproduction. Dans nos conditions, ces paramètres métaboliques mesurés juste avant l'IA ne permettent pas de caractériser l'état nutritionnel des chevrettes. Il faudrait toutefois, par un dispositif expérimental approprié, confirmer les effets des traitements hormonaux sur les profils métaboliques.

Chez la chèvre adulte, le moment d'apparition du pic pré-ovulatoire de LH après traitement de synchronisation varie selon la période de l'année, de $27,7 \pm 0,8$ h en saison sexuelle à $34,0 \pm 1,2$ h pendant l'ancestrus (Ritar *et al* 1984). Dans l'étude de Lebœuf *et al* (1993) sur des chèvres laitières Alpine et Saanen hors saison sexuelle, ce pic est apparu entre la 24^e et la 36^e heure après le retrait de l'éponge vaginale, mais 23 % des animaux n'avaient pas présenté de pic de LH à la 36^e heure ($n = 60$). L'intervalle que nous avons observé ($29,9 \pm 4,7$ h) chez les chevrettes Alpines prépubères en début de saison sexuelle paraît donc normal.

Pour obtenir un taux de fécondation élevé après IA, il faut que le moment de l'IA soit synchronisé avec celui de l'ovulation. Le moment de l'ovulation peut être estimé à partir du moment d'apparition du pic préovulatoire de LH. L'intervalle pic LH - ovulation se situe entre 20 et 25 h chez la chèvre laitière Alpine ou Saanen adulte après traitement de synchronisation des œstrus (Gonzalez-Stagnaro *et al* 1984, Lebœuf *et al* 1996). Le moment de l'ovulation après la fin du traitement de synchronisation varie selon la nature du progestagène utilisé (FGA ou Progestérone naturelle = CIDR), le moment d'injection et la dose de PMSG (Ritar 1993). La variabilité du délai entre le retrait de l'éponge et l'ovulation est principalement due à celle du moment d'apparition du pic de LH. Les chevrettes ont donc probablement ovulé entre 45 et 60 h après le retrait des éponges. Les chevrettes ayant été inséminées à intervalle fixe (45 ± 2 h) après le retrait des éponges, le moment de l'insémination a été variable par rapport au moment de l'ovulation. Toutefois, nous n'avons pas pu mettre en évidence de relation entre le moment d'apparition du pic de LH et la fertilité des chevrettes, bien que cela ait pu être évoqué chez les chèvres adultes (Baril et Vallet 1990, Maurel *et al* 1992).

De plus, nous avons observé que les pertes embryonnaires dépendent peu des régimes alimentaires et/ou du développement corporel des chevrettes. Ceci tend à accréditer l'idée que chez ces chevrettes, les interactions entre l'alimentation et/ou les facteurs d'élevage sur la reproduction agissent préférentiellement sur le moment de l'ovulation.

Globalement, les résultats moyens de fertilité des chevrettes après insémination (65 %)

sont comparables à ceux observés en élevage : 58 % ($n = 469$, Lebœuf *et al* 1998).

Le dispositif expérimental que nous avons utilisé ne permet pas d'évaluer l'origine des variations interannuelles de la fertilité après IA. On peut toutefois remarquer (cf tableau 4) que lorsque l'IA est réalisée début septembre (essais 1995, 96 et 97), il existe une relation positive entre la fertilité et le poids des chevrettes à l'âge de 7 mois. Cette relation est négative et très étroite chez les chevrettes sous-alimentées inséminées début août (essai 1994). Une expérimentation spécifique devrait permettre de mettre en évidence une éventuelle influence de la saison sur les interactions entre nutrition et reproduction.

Conclusion et perspectives

On retrouve, avec ces essais, les relations classiques entre le développement corporel et la fertilité, que l'alimentation soit limitante ou satisfaisante. Sur le plan de la capacité des chevrettes à se reproduire, il n'apparaît pas que l'on puisse recommander de poids minimal. En effet, sans qu'on puisse préconiser de telles pratiques d'élevage, l'essai 1994 a clairement montré qu'en cas de sous-alimentation un protocole d'insémination unique peut parfois convenir aux chevrettes les plus légères et être inadapté aux plus lourdes. Il existe donc, dans ce cas, une véritable interaction entre le format (poids vif) et la nutrition sur la reproduction.

Les poids vifs recommandés pour la mise à la reproduction des chevrettes doivent par ailleurs intégrer d'autres éléments qui caractérisent les performances ultérieures de ces animaux (niveau de production, longévité, etc).

Au plan pratique les effets des facteurs d'élevage et les effets de l'alimentation sont parfois confondus. Mais, globalement et fort logiquement, en début de saison sexuelle (septembre), il est préférable de disposer de chevrettes ayant un développement corporel suffisant et de les alimenter selon les apports recommandés pour obtenir une bonne fertilité après IA.

Au plan expérimental, il paraît important de vérifier si l'effet du régime alimentaire sur le moment d'apparition du pic pré-ovulatoire de LH a des conséquences sur la fertilité. Si c'était le cas, il faudrait, dans les élevages, adapter le protocole d'insémination aux conditions d'élevage et mieux maîtriser l'alimentation des chevrettes.

Remerciements

Nous remercions le personnel de la chèvrerie expérimentale des Verrines (P. Caugnon, E. Bruneteau, M. Désiré, J.C. Contival et F. Dugué), celui du SEIA de Rouillé (D. Bernalas, J.L. Bonné et Y. Berson), ainsi que L. Huguet de la SAPF. Ce programme a été en partie soutenu par la région Poitou-Charentes.

Références

- Baril G., Vallet J.C., 1990. Time of ovulations in dairy goats induced to superovulate with porcine FSH during and out of the breeding season. *Theriogenology*, 34, 303.
- Blum J.W., Schnyder W., Kunz P.L., Blom A.K., Bickel H., Schürch A., 1985. Reduced and compensatory growth : Endocrine and metabolic changes during food restriction and refeeding in steers. *J. Nutr.*, 115, 417.
- Chemineau P., 1989. Le saisonnement de la reproduction des caprins des zones tempérées et des zones tropicales. *Bull. Tech. Ovin et Caprin*, 27, 43-51.
- Chemineau P., Gauthier D., Poirier J.C., Saumande J., 1982. Plasma levels of LH, FSH, prolactin, oestradiol 17beta and progesterone during natural and induced oestrus in the dairy goat. *Theriogenology*, 17, 313-323.
- Chemineau P., Chupin D., Cognié Y., Thimonier J., 1991. Maîtrise de la reproduction chez les mammifères domestiques. In : C. Thibault et M.C. Levasseur (eds), *La reproduction chez les mammifères et l'homme*, 655-676. Coédition INRA/Ellipses, Paris.
- Chilliard Y., 1985. Métabolisme du tissu adipeux, lipogénèse mammaire et activité lipoprotéine-lipasique chez la chèvre au cours du cycle gestation-lactation. Thèse Doctorat d'Etat ès Sci. Univ. Paris VI, 134 p.
- Chilliard Y., 1986. Variations quantitatives et métabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au cours du cycle gestation-lactation. 1^{re} partie : chez la ratte. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 26, 1057-1103.
- Chilliard Y., Bauchart D., Barnouin J., 1984. Determination of plasma non-esterified fatty acids in herbivores and man : a comparison of values obtained by manual or automatic chromatographic, titrimetric, colorimetric and enzymatic methods. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 24, 469-482.
- Chilliard Y., Doreau M., Bocquier F., Lobley G.E., 1995. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to variations in food supply. In : M. Journet, E. Grenet, M.H. Farce, M. Thériez and C. Demarquilly (eds), *Recent Developments in the Nutrition of Herbivores*, 329-360. INRA, Paris.
- Gonzalez-Stagnaro C., Blanc M., Pelletier J., Poirier J.C., Poulin N., Fagu C., Baril G., Corteel J.M., 1984. Variaciones de la secreción de FSH, LH y progestérone durante el celo natural o inducido en cabras alpinas. Proceed. Xth Intern. Cong. Anim. Reprod. Artif. Insem., Vol. 3, 325.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1988. Alimentation des bovins, ovins, caprins. Ouvrage collectif dirigé par R.Jarrige. INRA, Paris, 475 p.
- Lebœuf B., 1992. Extensive applications of artificial insemination in goats. In : R.R. Lokeshar (ed), 5th International Congress on goats, New Delhi (India), 1992/03/02-08, vol 2, part 2, 299-308. ICAR, New Delhi (India).
- Lebœuf B., Bernalas D., Pougnard J.L., Baril G., Maurel M.C., Boue P., Terqui M., 1993. Time of ovulation after LH peak in dairy goats induced to ovulate with hormonal treatment. 9th Scientific Meeting AETE, Sept 1993, 226. AETE, Lyon, France.
- Lebœuf B., Bernalas D., Pougnard J.L., Baril G., Maurel M.C., Boue P., Terqui M., 1996. Ovulation time after progestagen/PMSG treatment in Alpine and Saanen Goats. 6th Intl. Conf. on Goats, Beijing, China, 2-7 May 1996, Vol 2, abstract 828-829.
- Lebœuf B., Manfredi E., Boue P., Piacère A., Brice G., Baril G., Broqua C., Humblot P., Terqui M., 1998. L'insémination artificielle et l'amélioration génétique chez la chèvre laitière en France. INRA Prod. Anim., 11, 171-181.
- Louca A., Mavrogenis A., Lawlor M.J., 1975. The effect of early weaning on the lactation performance of Damascus goats and the growth rate of the kids. *Anim. Prod.*, 20, 213.
- Maurel M.C., Lebœuf B., Baril G., Bernalas D., 1992. Determination of the preovulatory LH peak in dairy goats using an ELISA kit on farm. 8th Scientific Meeting AETE, Sept 1992, 126. AETE, Lyon, France.
- Mavrogenis A., Constantinou A., Louca A., 1984. Environmental and genetic causes of variations in production traits of Damascus goats 1. Pre-weaning and post-weaning growth. *Anim. Prod.*, 38, 91.
- Morand-Fehr P., Sauvant D., Dumont B.L., 1976. Croissance et qualité des carcasses des chevreaux de boucherie. 2èmes journées de la recherche ovine et caprine, 166. INRA et ITOVIC, Paris.
- Ritar A.J., 1993. Control of ovulation, storage of semen, and artificial insemination of fibre-producing goats in Australia : a review. *Austr. J. Exp. Agric.*, 33, 807-820.
- Ritar A.J., Maxwell W.M.C., Salamon S., 1984. Ovulation and LH secretion in the goat after intravaginal progestagen sponge-PMSG treatment. *J. Reprod. Fert.*, 72, 559.
- SAS, 1987. User's guide : Statistics. SAS institute Inc, Cary, NC
- Thériez M., 1991. Conséquences de l'augmentation de la proliférité sur l'élevage des agneaux et sur la production de viande. INRA Prod. Anim., 4, 161.
- Villette Y., Thériez M., 1984. Note sur l'évolution de la composition chimique du fœtus et du nouveau-né ovin de race Ile de France. *Ann. Zootech.*, 33, 123.
- Villette Y., Morand-Fehr P., Hervieu J., Semptey F., 1982. Poids à la naissance des chevreaux : facteurs de variations. 7èmes journées de la recherche ovine et caprine, 187. INRA et ITOVIC, Paris.

Abstract

Effects of feeding and husbandry factors on reproductive performances of artificially inseminated prepubertal Alpine goats.

Four trials were conducted on prepubertal alpine goats ($n = 158$) in order to analyse the effects of growth characteristics and feeding level (High or Low) on their fertility after artificial insemination (AI) which was performed at the age of 8 months. Goats were randomly allocated in different groups and received experimental diets from 25 d before, until 21 d after AI, and received the same diet afterward. The mean growth rate was maintained in High fed goats (+ 54 g/d), while it was depressed in underfed animals (- 22 g/d). Just after altering feeding level, blood metabolites changes were in good agreement with previously described evolution, while these evolution were strongly affected during hormonal treatments: blood parameters

no longer reflected the animal nutritional status. Restricted goats had an earlier (- 2.66 h, $P < 0.003$) pre-ovulatory LH surge when compared to well-fed animals (31.3 h). Differences in fertility among animals are probably due to variability in ovulation time. Furthermore, ovulation rate was higher when LH surge was delayed. Fertility was, on average, positively linked to body weight measured before diets changes. Successful reproduction of young female goats after artificial insemination rely on the control of both husbandry factors (animal grouped according to body weight) and feeding (feeding levels).

Bocquier F., Lebœuf B., Rouel J., Chilliard Y., 1998. Effet de l'alimentation et des facteurs d'élevage sur les performances de reproduction de chevrettes Alpines. INRA Prod. Anim., 11, 311-320.