

Relations entre fertilité à l'insémination artificielle, dynamique de production laitière, réserves corporelles et stress thermique chez la chèvre laitière de race Alpine

GAFSI N. (1) (2), BIDAN F. (1), GRIMARD B. (3), LEGRIS M. (1), MARTIN O. (2), PUILLET L. (2)

(1) Institut de l'Elevage, 149, rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12, France

(2) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 75005 Paris, France

(3) Université Paris-Saclay, INRAE, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, UMR 1198 BREED, Domaine de Vilvert, 78 350, Jouy-en-Josas, France

RESUME

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'impact de la dynamique de production laitière et des réserves corporelles sur la fertilité à l'insémination artificielle (IA) chez la chèvre en analysant la base de données de la station expérimentale du Pradel (1 138 lactations, 595 chèvres de race Alpine pendant 24 campagnes de production de 1996 à 2020). Le critère retenu pour la réussite à la reproduction d'une chèvre pour une campagne d'insémination est l'intervalle entre l'IA et la mise-bas suivante : un intervalle inférieur ou égal à 160 jours qualifie la réussite de l'IA. Un modèle mixte de régression logistique a été utilisé pour analyser les relations entre la réussite à la reproduction et les caractéristiques individuelles des chèvres (rang de lactation, stade de lactation à l'IA, échec à l'IA précédente), les données climatiques (température et index température humidité (THI) maximal) enregistrées dans une station météorologique proche de la station, et les données de production laitière (PL) et d'état corporel (poids vif (PV) et note d'état corporel (NEC)). Les effets de la PL ont été analysés avec des indicateurs statiques (PL autour de l'IA, taux butyreux, taux protéique, cellules somatiques) et dynamiques (évolution de la PL dans le mois et demi qui précède l'IA). La même stratégie a été adoptée pour le PV et la NEC (sternale et lombaire) avec des indicateurs autour de l'IA et des indicateurs dynamiques avant l'IA (évolution dans les trois mois et demi qui précèdent l'IA). Sur les 24 années étudiées, la fertilité à l'IA a été en moyenne de 69,6 % ($\pm 11,0$ %). Les facteurs habituellement observés de variation de la fertilité à l'IA (comme l'échec à l'IA précédente, le stade de lactation à l'IA et la parité) ainsi que les valeurs maximales de THI et de température autour de l'IA n'ont pas présenté d'effets significatifs sur la fertilité à l'IA. Avec un stade de lactation moyen à l'IA de 210 jours (± 8 jours), la PL autour de l'IA a eu tendance à affecter ($p=0,059$) la fertilité à l'IA. La NEC lombaire autour de l'IA a affecté significativement la fertilité à l'IA ($p=0,007$). L'évolution de la note lombaire a affecté significativement la fertilité à l'IA uniquement chez les primipares, avec de moins bons résultats pour des chèvres en gain par rapport à des chèvres en stabilité ou en perte d'état corporel ($p=0,002$). L'évolution de la note sternale a eu tendance à affecter la réussite à l'IA uniquement chez les multipares, avec de moins bons résultats pour des chèvres en perte d'état corporel par rapport à des chèvres en stabilité ou en gain ($p=0,079$). Ces résultats ouvrent la perspective d'identification d'animaux à risque d'échec de reproduction à l'IA. Ils permettront d'améliorer la prédiction de la réussite à la reproduction en fonction des interactions entre réserves corporelles et production laitière chez la chèvre laitière. Ces connaissances alimenteront un simulateur de fonctionnement d'un troupeau caprin existant et permettront de mieux caractériser les interactions entre conduite de l'alimentation et de la reproduction à l'échelle du troupeau.

Relationships between fertility after artificial insemination, milk production dynamics, body reserves and heat stress in Alpine dairy goats

GAFSI N. (1) (2), BIDAN F. (1), GRIMARD B. (3), LEGRIS M. (1), MARTIN O. (2), PUILLET L. (2)

(1) Institut de l'Elevage, 149, rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12, France

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the impact of milk production and body reserves dynamics on fertility after artificial insemination (AI) in goats by analysing the database of the Pradel experimental station (1 138 lactations, 595 Alpine goats during 24 production campaigns from 1996 to 2020). The criterion of reproductive success of a goat for an insemination event was measured with the interval between AI and the next kidding (an interval less than or equal to 160 days qualified an AI success). A mixed logistic regression model was used to analyse the relationships between reproductive success and individual goat characteristics (parity, lactation stage at AI, previous AI failure), climatic data (temperature and maximum Temperature Humidity Index (THI)) recorded at an outdoor weather station close to the farm, milk production (MP) and body condition data (body weight (BW) and body condition score (BCS)). The effects of MP were analysed with static indicators (production around AI, fat and protein contents, somatic cells) and dynamic indicators (change in MP within a month and a half before AI). The same strategy was adopted for BW and BCS (sternal and lumbar) with static indicators around AI and dynamic indicators before AI (change within three and a half months before AI). Over the 24 years studied, fertility after AI averaged 69,6% ($\pm 11,0$ %). Factors usually known for affecting fertility after AI (such as previous AI failure, lactation stage at AI and parity), maximum temperature and THI around AI did not show significant effects. With a mean lactation stage at AI of 210 days (± 8 days), MP around AI tended to affect fertility after AI ($p=0,059$). Lumbar BCS around AI significantly affected fertility after AI ($p=0,007$). Change of lumbar score significantly affected fertility after AI only in primiparous goats, with poorer results for goats gaining body condition versus goats with stable or decreasing body condition ($p=0,002$). Change of sternal score tended to affect fertility after AI only in multiparous goats, with poorer results for goats with decreasing body condition compared to goats with stable or increasing body condition ($p=0,079$). These results open perspectives of identifying animals at risk of reproductive failure at AI. They can be used to improve the prediction of reproductive success of dairy goats based on interactions between milk production and body reserves. This knowledge will support to developing an existing goat herd simulator to better characterize the interactions between feeding and reproductive management strategies at herd scale.

INTRODUCTION

En systèmes caprins laitiers, comme dans les autres espèces, les causes d'échec de reproduction sont multifactorielles et peuvent dégrader les résultats de fertilité. Dans le cas de l'insémination artificielle (IA), des études ont pu mettre en évidence certains facteurs de variations de réussite (parité, stade de lactation à l'IA, période d'insémination, échec à la précédente IA, niveau de production laitière au moment de l'IA) (Chanvallon *et al.*, 2013 ; Furstoss *et al.*, 2015 ; Freret *et al.*, 2018). D'autres auteurs ont montré un effet de l'état corporel sur des paramètres reproductifs plus fins (taux d'ovulation, pic de LH (Luteinizing Hormone)) indépendamment des caractéristiques animales et de la production laitière (Branca, 2004; De Santiago-Miramontes *et al.*, 2009; Zarazaga *et al.*, 2014). Les relations entre réserves corporelles, production laitière et réussite à la reproduction ont été explorées chez les vaches laitières (Friggens *et al.*, 2010 ; Cutullic *et al.*, 2012 ; Bedere *et al.*, 2016), en revanche, à notre connaissance il n'existe pas d'étude chez les caprins. L'objectif de cette étude est de proposer une analyse multivariée de la fertilité à l'IA en lien avec les caractéristiques animales, les données climatiques, et les données relatives à la dynamique des réserves corporelles et de la production laitière.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. ORIGINE DES DONNEES

Les données individuelles utilisées (caractéristiques des chèvres, données de production laitière, de réserves corporelles et de reproduction) provenaient des chèvres de race Alpine inséminées à la station expérimentale du Pradel en Ardèche sur la période 1996-2020.

Les données météorologiques ont été extraites de bases de données nationales SAFRAN via l'application web SICLIMA.

1.2. CONDUITE DE LA REPRODUCTION

L'IA des chèvres se déroulait chaque année sur la première quinzaine d'août, et était précédée d'un traitement hormonal de synchronisation de l'œstrus et de l'ovulation (Groupe Reproduction Caprine, 2013a). Deux méthodes d'IA étaient pratiquées au Pradel : en semence congelée (77 % du troupeau inséminé) ou en semence fraîche issue des boucs de l'exploitation. Seules les chèvres inséminées en congelées ont été conservées pour cette étude. La fertilité à l'IA d'une chèvre a été définie par une variable binaire (0 en cas d'échec et 1 en cas de réussite). Elle a été calculée grâce à l'intervalle entre l'IA et la mise-bas suivant la mise à la reproduction comme proposé par Chanvallon *et al.*, (2013). Si cet intervalle est inférieur à 140 jours, il y a eu fécondation mais la gestation n'a pas atteint son terme. Si cet intervalle est compris entre 140 et 160 jours alors il y a eu fécondation sur IA. Si cet intervalle dépassait 160 jours, nous avons considéré qu'il s'agissait d'un échec à l'IA. Le stade de lactation au moment de l'IA (intervalle entre la mise-bas précédente et l'IA) et l'échec à l'IA précédente ont également été déterminés.

1.3. INDICATEURS DE PRODUCTION LAITIERE

Un indicateur statique de production laitière (PL) a été calculé comme la PL hebdomadaire la plus proche de l'IA (en moyenne $3,0 \pm 3,4$ jours en valeur absolue autour de l'IA). Des indicateurs de qualité du lait les plus proches de l'IA ont également été retenus ($4,0 \pm 6,0$ jours en valeur absolue autour de l'IA) : TB (Taux butyreux), TP (Taux protéique), rapport TB/TP et CCS (concentration en cellules somatiques du lait). La dynamique de PL avant IA a été caractérisée avec un indicateur correspondant à la différence entre la mesure de PL précédant l'IA la plus proche ($5,5 \pm 4,0$ jours) et la mesure distante d'environ un mois et demi de l'IA ($47,0 \pm 4,0$ jours).

1.4. INDICATEURS DES RESERVES CORPORELLES

Le poids vif (PV) et la note d'état corporel (NEC) étaient mesurés tous les 28 jours environ. La NEC était évaluée au niveau des régions lombaire et sternale sur une échelle de 0 à 5 points (Morand-Fehr et Hervieu, 1999). Par analogie avec les données de PL, les indicateurs statiques de PV et de NEC ont été retenus sur la base des mesures les plus proches de l'IA (en moyenne $11,0 \pm 6,0$ jours en valeur absolue autour de l'IA). Des indicateurs dynamiques de PV et de NEC ont été calculés comme la différence entre la dernière mesure au contrôle le plus proche précédant l'IA ($17,0 \pm 10,0$ jours) et la mesure précédente, distante de l'IA d'environ trois mois et demi ($110,0 \pm 15,0$ jours).

1.5. INDICATEURS DE STRESS THERMIQUE

L'indicateur de stress thermique (THI : Temperature Humidity Index) a été calculé selon la formule suivante (Srivastava *et al.*, 2021) :

$$THI = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times HR) \times (1,8 \times T - 26,8)]$$
 avec T la température ambiante en °C et HR l'humidité relative en % (NRC, 1971).

Les valeurs maximales obtenues pour le THI et la température les plus proches de l'IA (5 jours autour de l'IA) ont été utilisées.

1.6. ANALYSES STATISTIQUES

L'ensemble des analyses a été conduite avec le logiciel RStudio® (RStudio Desktop 2022.02.3). Les effets de la production laitière, des réserves corporelles, des caractéristiques animales et du stress thermique ont été explorés à l'aide d'un modèle mixte de régression logistique (procédure glmer) incluant l'année comme effet aléatoire. Les effets fixes pris en compte dans le modèle sont les caractéristiques animales, les indicateurs de production laitière, de réserves corporelles et de stress thermique. Une analyse univariée préliminaire a permis d'écarter certaines variables ne présentant aucun effet sur la fertilité à l'IA. Les variables restantes ont été utilisées dans une procédure automatique de sélection de modèles, permettant d'aboutir à un modèle optimal (minimisation du critère d'AIC (Akaike Information Criterion)). Les seules variables imposées lors de la procédure de sélection de modèles sont la parité et le stade de lactation à l'IA. Des interactions d'ordre 1 ont été testées : parité * PL à l'IA, parité * variation de PL avant l'IA, parité * PV à l'IA, parité * variation de PV avant l'IA, parité * NEC à l'IA, parité * variation de NEC avant l'IA, parité * stade de lactation à l'IA, PV à l'IA * NEC à l'IA. Les comparaisons entre modalités ont fait l'objet d'un test de Tukey-Kramer. Un facteur est considéré comme significatif si $p < 0,05$. Une tendance est considérée si p est entre 0,05 et 0,10.

2. RESULTATS

2.1. CARACTERISTIQUES DE L'ECHANTILLON

L'échantillon était constitué de 1 138 lactations de 595 chèvres sur la période 1996-2020. Le rang de lactation s'étendait de 1 à 9 avec une moyenne de 2,0 ($\pm 1,2$). Autour de l'IA, les chèvres produisaient en moyenne $2,7 \pm 0,7$ kg lait avec un PV moyen de $59,0 \pm 9,3$ kg, une NEC moyenne lombaire et sternale à l'IA de $2,6 \pm 0,3$ et $3,0 \pm 0,3$ respectivement. Elles ont été inséminées en moyenne à $210,1 \pm 8,4$ jours de lactation. Sur la période 1996-2020, la fertilité à l'IA moyenne de l'échantillon a été de 69,6% (28 à 85% selon les années).

Les résultats du modèle sont présentés dans le tableau 1.

2.2. EFFETS DES CARACTERISTIQUES ANIMALES ET DES DONNEES CLIMATIQUES

Le THI maximal à l'IA, l'échec à l'IA précédente et l'interaction parité * stade de lactation à l'IA n'ont pas été retenus dans le modèle optimal car ils n'ont pas eu d'effets sur la fertilité à l'IA.

La **parité** n'a pas été un facteur de variation de la fertilité à l'IA car elle n'a pas été différente entre les primipares (69,3%) et les multipares (67,0%).

Le **stade de lactation à l'IA** a eu tendance à affecter la fertilité à l'IA ($p=0,055$). Les chèvres inséminées entre 205 et 215 jours ont présenté une meilleure fertilité que celles inséminées à moins de 205 jours (71,3% vs 62,1%, $p=0,042$). La **température maximale à l'IA** n'a pas eu d'effets sur la fertilité ($p=0,142$).

2.3. EFFET DES INDICATEURS RELATIFS AUX RESERVES CORPORELLES

Le **PV à l'IA** a présenté un effet significatif sur la fertilité à l'IA sans différences significatives entre modalités. La **variation de PV avant l'IA**, et les interactions **parité * PV à l'IA** et **parité*variation de PV avant l'IA** n'ont pas été retenues dans le modèle optimal car ils n'ont pas eu d'effets sur la fertilité à l'IA.

La **NEC lombaire à l'IA** a présenté un effet significatif sur la fertilité à l'IA ($p=0,007$). Les chèvres ayant une NEC $\leq 2,25$ ont présenté une fertilité à l'IA plus faible que celles ayant une NEC comprise entre $]2,25 ; 2,75]$ (63,2% vs 73,4%, $p=0,011$). L'interaction **parité * variation de note lombaire** a présenté un effet significatif sur la fertilité à l'IA ($p=0,002$). Il existe des différences significatives de fertilité entre modalités pour les primipares. Celles en gain de note lombaire ($>+0,25$ points de note) dans les trois mois et demi précédant l'IA ont présenté de moins bons résultats de fertilité à l'IA que celles en perte d'état ($<-0,25$ points de note) ($p=0,005$) ou en stabilité d'état (54,1% vs 79,0% vs 76,2%, $p<0,001$). En revanche pour les multipares, il n'y a pas eu d'effets de la variation de note lombaire sur la fertilité à l'IA.

La **NEC sternale à l'IA** n'a pas été retenue dans le modèle optimal car elle n'a pas eu d'effets sur la fertilité à l'IA.

L'interaction **parité * variation de note sternale** a présenté une tendance sur la fertilité à l'IA ($p=0,079$). Les multipares en gain d'état sternal ont présenté de meilleurs résultats de fertilité que celles en perte (76,4% vs 54,6%, $p=0,003$). Les multipares en stabilité d'état sternal ont eu une meilleure fertilité que les chèvres en perte (71,8% vs 54,6% $p=0,009$). En revanche, la variation de note sternale n'a pas eu d'effets sur la fertilité chez les primipares.

2.4. EFFET DES INDICATEURS DE PRODUCTION LAITIÈRE

Les **indicateurs de qualité du lait (TB, TP, TB/TP et CCS)** n'ont pas été retenus après l'étape d'analyse univariée.

La **PL à l'IA** a eu tendance à affecter la fertilité à l'IA ($p=0,059$). Les chèvres qui produisaient le plus au moment de l'IA ($>3,2$ kg) ont eu tendance à avoir une fertilité plus faible que celles qui produisaient le moins au moment de l'IA ($\leq 2,3$ kg) (61,7% vs 72,8%, $p=0,059$). L'interaction **parité*PL à l'IA** n'a pas été retenue dans le modèle optimal car elle n'a pas eu d'effets sur la fertilité à l'IA.

La **variation de PL avant l'IA** et l'interaction **parité * variation de PL avant l'IA** n'ont pas été retenues dans le modèle optimal car elles n'ont pas eu d'effets sur la fertilité à l'IA.

Variable	Modalités	Effectif (n = 1,138 lactations)	Fertilité IA (%)
Stade de lactation à l'IA (p=0,055)	<205	167	62,1 ¹
	$]205 ; 215[$	736	71,3 ²
	≥ 215	235	71,1 ¹²
Parité (p=0,926)	1 = primipares	534	69,3
	2+ = multipares	604	67,0
Température à l'IA (°C) (p=0,142)	≤ 32	777	71,2
	> 32	361	64,9
NEC Lombaire IA (p=0,007)	$\leq 2,25$	239	63,2 ^a
	$]2,5 ; 2,75]$	768	73,4 ^b
	≥ 3	131	67,8 ^{ab}
PV à l'IA (kg) (p=0,031)	≤ 52	290	72,1
	$]52 ; 65]$	564	62,0
	> 65	284	70,5
PL à l'IA (kg/j) (p=0,059)	$\leq 2,3$	390	72,8 ¹
	$]2,3 ; 3,2]$	537	69,5 ¹²
	$> 3,2$	211	61,7 ²
Variation de note lombaire : Parité (p=0,002)	Gain : 1	173	54,1 ^a
	Perte : 1	96	79,0 ^b
	Stabilité : 1	265	76,2 ^b
	Gain : 2+	192	67,6
	Perte : 2+	67	73,3
	Stabilité : 2+	345	64,0
Variation de note sternale : Parité (p=0,079)	Perte : 1	100	70,9
	Gain : 1	168	70,9
	Stabilité : 1	266	70,4
	Perte : 2+	81	54,6 ^a
	Gain : 2+	185	76,4 ^b
	Stabilité : 2+	338	71,8 ^b

Tableau 1 : Modèle sur les variables retenues sur fertilité estimées à l'IA sur 1138 lactations (les modalités ayant des lettres différentes sont statistiquement significatives, les modalités ayant des chiffres différents sont des tendances observées)

3. DISCUSSION

Dans le cadre de la conduite de la reproduction au Pradel, la sélection des chèvres pour favoriser la fertilité avec la semence congelée porte ses fruits. En effet, le stade de lactation au moment de l'IA n'a présenté qu'une tendance qui est cohérente avec la littérature (Chanvallon *et al.*, 2013; Furstoss *et al.*, 2015; Freret *et al.*, 2018).

L'échec à l'IA précédente ne ressortait pas significative, à l'inverse d'autres études (Chanvallon *et al.*, 2013; Freret *et al.*, 2018).

Le Pradel respecte bien les recommandations pour la mise à la reproduction (Groupe Reproduction Caprine, 2013b) ce qui peut expliquer que les critères stade de lactation à l'IA et échec à l'IA précédente n'ont pas d'effets significatifs sur la fertilité à l'IA. Cela suggère qu'un bon respect de ces recommandations sur les femelles à inséminer améliore les résultats de fertilité. De même la parité n'a pas eu d'effets sur la fertilité à l'IA contrairement à ce qui a pu être observé (Chanvallon *et al.*, 2013; Freret *et al.*, 2018).

Les valeurs maximales de température et de THI autour de l'IA n'ont pas eu d'effets significatifs sur la fertilité à l'IA. Dans notre étude, la température est mesurée par une station météorologique à l'extérieur de la ferme et non en bâtiment. Il est donc possible que l'exposition des animaux au stress thermique ne soit pas bien évaluée. Les indicateurs et les seuils (32°C pour la température et 80 pour le THI) choisis n'ont pas été discriminants. Certains auteurs suggèrent que les

chèvres commencent à expérimenter un stress thermique au-dessus de 25°C (Kadzere *et al.*, 2002), d'autres considèrent un seuil de tolérance beaucoup plus haut entre 35°C et 40°C (Salama *et al.*, 2014; Sejian *et al.*, 2021) car la chèvre serait capable de mieux dissiper la chaleur du fait de son petit gabarit. Il n'y a donc pas de réel consensus en termes de seuil critique pour la température/THI pour la chèvre. Dans un contexte de changement climatique, la prise en compte du stress thermique dans l'analyse de la réussite à la reproduction est nécessaire et mérite plus d'investigations.

Le niveau de PL au moment de l'IA n'a présenté qu'une tendance sur la fertilité à l'IA qui est en accord avec ce qui a déjà été observé chez la chèvre (Arrebola *et al.*, 2014; Freret *et al.*, 2018) et chez la vache laitière (Michel *et al.*, 2003 ; Grimard *et al.*, 2006; Freret *et al.*, 2011) avec un effet délétère d'un haut niveau de production autour de la période de reproduction sur la fertilité. Cette tendance et l'absence de significativité pourraient être liés aux bonnes pratiques du Pradel sur le choix des chèvres à la mise à la reproduction.

Le PV à l'IA a présenté un effet significatif sans différences significatives entre modalités. La non-significativité observée entre modalités est surprenante et est probablement liée aux classes établies ainsi qu'à la correction de p-value lors des comparaisons de Tukey-Kramer. Ce PV à l'IA est difficile à interpréter car les plus légères présentent une meilleure fertilité que les plus lourdes, la NEC est probablement plus pertinente que le PV.

La note lombaire peut être un bon critère d'évaluation des réserves corporelles du troupeau. En effet, la note lombaire ressortait dans nos analyses comme un indicateur de fertilité sur l'ensemble des animaux quelle que soit leur parité : pas d'interaction parité * note lombaire à l'IA. Ces résultats sont en cohérence avec ceux observés par Le Frileux *et al.*, (1995) qui indiquent que l'évolution de celle-ci est principalement liée au stade physiologique de la chèvre indépendamment de son âge. La baisse de fertilité observée chez les chèvres avec les notes les plus basses peut s'expliquer par une réponse au traitement hormonal moins efficace, résultats déjà observés chez la brebis (Sejian *et al.*, 2010) et chez la vache (de Graaff et Grimard, 2018). L'état corporel peut également affecter le taux de mises-bas. L'étude menée par Fidelle *et al.*, (2015) sur des brebis laitières a montré que celles ayant une NEC à l'IA >3 présentaient de meilleurs taux de mises-bas sur IA que celles ayant une NEC à l'IA <2. Chez la chèvre laitière, l'étude menée par Mellado *et al.*, (2004) a montré que la NEC au moment de la reproduction était positivement corrélée avec le taux de mises-bas et négativement corrélée au taux d'avortement. Les chèvres ayant une NEC <1,5 avaient trois fois moins de chance de mettre-bas par rapport à celles ayant une NEC plus élevée.

Chez les primipares, le gain de note lombaire a été défavorable à la fertilité à l'IA. Une hypothèse pour expliquer ce résultat est que les primipares qui reconstituaient leurs réserves lipidiques étaient également en croissance. Cette fonction biologique serait donc physiologiquement prioritaire au détriment de la reproduction (Mellado *et al.*, 2006, 2004). En revanche, la variation de note lombaire n'a pas eu d'effets chez les multipares. Concernant la variation de note sternale, les multipares en perte d'état corporel sternal ont eu tendance à présenter de moins bons résultats de fertilité que celles en stabilité ou gain d'état corporel sternal. Chez les brebis laitières, celles qui perdent de l'état sont sujettes à des pertes embryonnaires plus importantes (Fidelle *et al.*, 2015). Ces observations sur la variation d'état corporel sont cohérentes avec celles de Viñoles (2003) : l'augmentation du poids vif et de l'état corporel dans les trois mois qui précèdent la reproduction favorisent une augmentation du taux d'ovulation

chez les brebis laitières. En revanche, la variation de note sternale ne semblait pas avoir d'effets chez les primipares. Chez la chèvre, le tissu adipeux a tendance à se déposer au niveau sternal et à augmenter avec l'âge (Le Frileux *et al.*, 1995). Parallèlement les animaux deviennent plus productifs, il est donc possible que l'effet de la variation de note sternale sur la fertilité à l'IA, liée à une mobilisation/reconstitution des réserves plus importante, soit plus marqué chez les multipares par rapport aux primipares. Ces résultats sont à considérer avec prudence car les indicateurs choisis pour refléter une trajectoire biologique sont assez sommaires. Entre autre, ils ne permettent pas de rendre compte des différences de cinétique de mobilisation/reconstitution pour les sites sternaux et lombaires (Le Frileux *et al.*, 1995; Morand-Fehr et Hervieu, 1999). Une approche par modélisation des courbes de PV, de NEC et de PL pourra apporter plus de précisions et confirmer ou non ces hypothèses.

CONCLUSION

Au Pradel, le choix des femelles à inséminer en amont de la mise à la reproduction conduit à de bons résultats de fertilité à l'IA et une maîtrise d'un certain nombre de facteurs de risques d'échecs de reproduction. La valorisation de données temporelles grâce à une analyse multifactorielle a permis de quantifier l'effet de facteurs statiques et dynamiques sur la fertilité à l'IA. Les indicateurs relatifs aux réserves corporelles ont eu des effets sur la fertilité à l'IA. Afin de mieux caractériser la dynamique de production laitière et des réserves corporelles, une approche trajectoire à l'échelle lactation par modélisation de courbe de poids, de note d'état corporel et de lait pourra servir d'appui pour confirmer ou non certains résultats. Les éléments de cette publication et les approches trajectoires à venir, pourront servir à améliorer la prédiction de la réussite à la reproduction d'un simulateur troupeau déjà existant (Puillet *et al.*, 2010) et ainsi mieux caractériser les interactions entre les pratiques d'alimentation et de reproduction dans une finalité d'améliorer le conseil dans le pilotage des troupeaux caprins.

Les auteurs remercient Alain Pommaret (Le Pradel) et Claire Boyer (Institut de l'Élevage) pour la fourniture des données et l'ensemble des informations sur la conduite de la reproduction, et le personnel de la ferme expérimentale du Pradel qui a contribué à la collecte de données sur 24 années.

- Arrebola F, González O, Torres R, Abecia JA. 2014** Anim Prod Sci , 54 : 356–62.
- Bedere, N., Delaby, L., Ducrocq, V., Leurent-Colette, S., Disenhaus, C., 2016.** J. Dairy Sci. 99, 1266–1276.
- Branca A. 2004.** Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 59, p. 73-77
- Chanvallon A., Coyral-Castel S., de Crémoux R., Piacere A., Ribaud D., 2013.** Rencontres Rech Ruminants, 20, 376.
- Cutullic E, Delaby L, Gallard Y, Disenhaus C., 2012** Animal, vol. 6, Elsevier; p. 476–87.
- de Graaff, W., Grimard, B., 2018.** Theriogenology 112, 34–43.
- De Santiago-Miramontes, M.A., Malpaux, B., Delgadillo, J.A., 2009.** Anim. Reprod. Sci. 114, 175–182.
- Fidelle F., Arranz J.M., Landagaray F., Sallato O., Mendez H.I., Soulas C., Fatet A., Fréret S. 2015.** Rencontres Rech Ruminants, 22, 203-206.
- Freret S, Salvetti P, Gatien J, Humblot P, Ponsart C. 2011** Rencontres Rech Ruminants; 18, 89-92.
- Freret S, Philippe P, Brun T, Legarto J, Clement V, Bidan F. 2018.** Rencontres Rech Ruminants, 24, 393–6.
- Friggins NC, Disenhaus C, Petit H V., 2010.** Animal 2010;4:1197–213.
- Furstoss V, David I, Fatet A, Boissard K, Clément V, Bodin L, 2015.** Animal, 9 :12, 1935-1942.

Groupe Reproduction Caprine. 2013a: Fiche technique : Le traitement hormonal d'induction et de synchronisation de l'oestrus en vue d'une IA, Collection l'Essentiel (CR n°0013 31 018), 4 p1–41–4.

Groupe Reproduction Caprine 2013b: Fiche technique : Le choix des chèvres et l'organisation du chantier d'IA. Institut de l'élevage, Collection l'Essentiel (CR n°0013 31 019), 4 p1–4.

Grimard B, Freret S, Chevallier A, Pinto A, Ponsart C, Humblot P. 2006 Anim Reprod Sci ;91:31–44.

Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Livest. Prod. Sci. 77, 59–91.

Le Frileux, Y., Pommaret, A., Hervieu, J., Morand-Fehr, P., Brousseau, J.Y., Coutineau, H., Dunord, M., Dupont, J.-P., Grimault, Y., Broqua, B., Vanquackebeke, E., 1995. Body Cond. sheep goats Methodol. Asp. Appl. 160, 151–160.

Mellado, M., Valdez, R., Lara, L.M., García, J.E., 2004. Small Rumin. Res. 55, 191–198.

Mellado, M., Valdéz, R., García, J.E., López, R., Rodríguez, A., 2006. Small Rumin. Res. 63, 110–118.

Michel A, Ponsart C, Freret S, Humblot P. 2003 Rencontres Rech Ruminants;10:131–4.

Morand-Fehr, P., Hervieu, J., 1999. La chèvre 231, 22–25.

NRC, 1971. *NA o. Sciences, ed, Washington, DC.*

Puillet L, Martin O, Sauvart D, Tichit M., 2010. Animal 2010;4:2084–98.

Salama, A.A.K., Caja, G., Hamzaoui, S., Badaoui, B., Castro-Costa, A., Façanha, D.A.E., Guilhermino, M.M., Bozzi, R., 2014. Small Rumin. Res. 121, 73–79.

Sejian, V., Maurya, V.P., Naqvi, S.M.K., Kumar, D., Joshi, A., 2010. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl). 94, 154–161.

Sejian, V., Silpa, M. V., Reshma Nair, M.R., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath, M., Chauhan, S.S., Suganthi, R.U., Fonseca, V.F.C., König, S., Gaughan, J.B., Dunshea, F.R., Bhatta, R., 2021. Animals ;11;4.

Srivastava A, Yadav P, Mahajan A, Anand M, Yadav S, Madan AK, et al. 2021 J Therm Biol;96:102845.

Viñoles C. 2003. Department of Clinical Chemistry;PhD:120

Zarazaga LA, Gatica MC, Gallego-Calvo L, Celi I, Guzmán JL. 2014 Anim Reprod Sci;146:170–5.