

Vers une maîtrise de la reproduction sans hormones chez les petits ruminants

PELLICER-RUBIO M.T. (1), BOISSARD K. (2), GRIZELJ J. (3), VINCE S. (3), FRÉRET S. (1), FATET (1), LOPEZ-SEBASTIAN A. (4)

(1) UMR85 PRC, CNRS, IFCE, INRA, Université de Tours, 37380, Nouzilly, France

(2) FERLUS, INRA, 86600, Lusignan, France

(3) Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb, Vjekoslav Heintzel Str. 55, 10 000, Zagreb, Croatia

(4) INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Avda. Puerta de Hierro, nº12, local 10, 28040, Madrid, Espagne

RESUME

Dans les élevages ovins et caprins, la maîtrise de la reproduction est importante pour une reproduction hors saison sexuelle, pour grouper les mises bas et pour la pratique de l'insémination artificielle (IA). Le traitement hormonal d'induction et de synchronisation de l'œstrus et de l'ovulation est aujourd'hui le moyen le plus efficace pour atteindre ces objectifs. Le recours à des traitements photopériodiques et/ou à l'effet mâle apparaît comme une solution pour limiter l'utilisation d'hormones dans ces filières.

Cet article rappelle les spécificités de la réponse ovulatoire et comportementale des femelles à « l'effet mâle », ainsi que les bases physiologiques qui contribuent à la réussite de cette pratique chez les ovins et les caprins. Le prétraitement des animaux avec des traitements photopériodiques de désaisonnement est un prérequis pour une réponse à l'effet mâle efficace, notamment chez des races très saisonnées comme les races caprines alpine et saanen. Des traitements lumineux (avec ou sans mélatonine) sont actuellement disponibles en élevage pour une reproduction par effet mâle en toute saison. Toutefois, ils requièrent l'utilisation de mélatonine à certaines périodes de l'année (notamment pour une reproduction en période estivale). Cet article expose différents travaux réalisés pour développer de nouveaux traitements lumineux sans mélatonine, pouvant être appliqués en bâtiment ouvert.

Des protocoles d'IA qui font appel à « l'effet mâle » sont en train d'émerger. Il s'agit pour certains de protocoles basés sur l'association de l'effet mâle avec des progestatifs et/ou des prostaglandines, et qui permettent de pratiquer une seule IA à un moment prédéterminé. Des protocoles d'IA après effet mâle seul (sans hormones) sont également disponibles, et notamment basés sur une détection des chaleurs. Chez les caprins, ils comportent 1 ou 2 moments d'IA, avec ou sans détection de chaleurs préalable. Chez les ovins, la détection des chaleurs est obligatoire pour la pratique de l'IA après un effet bélier seul. Dans les deux espèces, le développement de la détection automatisée des chaleurs facilitera le déploiement des protocoles d'IA sans utilisation d'hormones.

Reproduction mastering without hormones in small ruminants

PELLICER-RUBIO M.T. (1), BOISSARD K. (2), GRIZELJ J. (3), VINCE S. (3), FRÉRET S. (1), FATET (1), LOPEZ-SEBASTIAN A. (4)

(1) UMR85 PRC, CNRS, IFCE, INRA, Université de Tours, 37380, Nouzilly, France

SUMMARY

Reproduction mastering in sheep and goat farms is important for out-of-season breeding, births grouping and artificial insemination (AI) performing. The use of hormones to induce and synchronise oestrus and ovulations is the most effective way to achieve these goals. The use of photoperiodic treatments and/or the male effect appears as an alternative solution to limit the use of hormones in small ruminants breeding.

This article discusses about the specificities of the ovulatory and behavioural response of females to the "male effect", as well as the physiological bases that contribute to the success of this practice in sheep and goat. Pre-treatment of animals with photoperiodic strategies is required so that the male effect is successful, especially in highly seasonal breeds, such as the alpine and saanen goat breeds. Light treatments are currently available for reproduction by male effect in any season, but the use of melatonin is necessary at some periods of the year. New light treatments without melatonin are currently under study.

AI protocols using male effect are emerging. Some of them combine the male effect with progestagens and/or prostaglandins, and allow a single AI at a predetermined time. Hormone-free AI protocols based on the male effect are also available. In goats, these protocols include 1 or 2 AI times, with or without previous heat detection. In sheep, heat detection is mandatory for AI following ram effect without the use of hormones. In both species, the development of automated heat detection methods will facilitate the deployment of hormone-free AI protocols.

INTRODUCTION

La maîtrise de la reproduction est une pratique nécessaire en élevage. Il s'agit de mettre en œuvre des stratégies techniques ou de conduite des troupeaux permettant d'optimiser la reproduction par monte naturelle ou Insémination Artificielle (IA).

Chez les petits ruminants, la saisonnalité de la reproduction conduit à des variations annuelles de la disponibilité et du prix

des produits (lait et viande) sur le marché. La maîtrise de la saisonnalité de la reproduction permet de maintenir l'offre en lait ou viande tout au long de l'année. Il s'agit d'un enjeu majeur pour ces filières afin de répondre à la demande des consommateurs et des marchés. Le désaisonnement est fréquent d'après des enquêtes réalisées auprès d'éleveurs dans les principaux bassins de production français. En production caprine, un tiers environ des éleveurs en agriculture biologique (AB) pratique la lutte à contre-saison, contre 70 %

en agriculture conventionnelle (AC) (dont 20 % ayant deux périodes de lutte, saison et contre-saison). Dans les élevages ovins laitiers et allaitants, environ 70 % et 85 % des éleveurs (ayant en général 1 ou 2 périodes de lutte) choisissent une lutte a contre-saison en AB et AC, respectivement (Lurette et al 2016).

La synchronisation des chaleurs pour le groupage des mises-bas est aussi un objectif recherché en élevages ovins et caprins, laitiers ou allaitants, afin de faciliter la gestion des lots d'animaux et du travail (alimentation, traite, prophylaxie).

Elle a aussi un rôle central pour la pratique de l'IA (ou la monte en main) dans le contrôle des accouplements et l'organisation des schémas de sélection génétique. De plus, l'IA apporte des avantages sanitaires en limitant la circulation de reproducteurs (mâles ou femelles) entre élevages.

La maîtrise de la reproduction sur les agnelles et chevrettes a pour objectifs de réduire leurs périodes improductives, d'améliorer la fertilité à la première mise à la reproduction et de faciliter leur mise à la reproduction à la même période que les adultes.

Pour atteindre ces objectifs, diverses pratiques de maîtrise de la reproduction (traitements hormonaux d'induction et de synchronisation des chaleurs, effet mâle, traitements lumineux, mélatonine, lactations longues), sont mises en œuvre (seules ou en combinaison) par les éleveurs selon les modes de production et les spécificités de chaque filière (pour revue : Pellicer-Rubio et al 2009, Lurette et al 2016).

Depuis les années 70, les traitements hormonaux d'induction et synchronisation des chaleurs ont montré leur efficacité pour : i/ désaisonner la reproduction, ii/ synchroniser la reproduction pendant et hors saison sexuelle dans le cadre de l'IA, la monte en main ou en lutte naturelle (pour revue : Fatet et al 2008), et iii/ avancer, déclencher et synchroniser la puberté des jeunes femelles (GRC 2012a, Piedhault et al 2014, CIIRPO 2015). Le traitement utilisé en France combine une hormone stéroïdienne de synthèse (FGA : acétate de fluorogestone) à activité progestative, une hormone glycoprotéique d'origine animale (eCG : gonadotrophine chorionique équine) et, dans le cas de la chèvre, aussi une prostaglandine de synthèse (cloprosténol) à activité lutéolytique. Ce traitement est utilisé majoritairement pour l'IA (Fatet et al 2008). En France, environ 8 % des chèvres (≈ 70000 IA, Idele et CNE 2017), 42 % des brebis laitières (≈ 668000 IA) et 4 % des brebis allaitantes (≈ 150000 IA) sont inséminées (Loywyck et Lagriffoul 2017).

Le traitement hormonal d'induction et synchronisation des chaleurs a été le seul moyen efficace pour désaisonner la reproduction (notamment chez des races très saisonnées), jusqu'au développement des traitements lumineux dans les années 90. Néanmoins, les traitements lumineux doivent être associés à une autre hormone, la mélatonine, notamment pour désaisonner la reproduction en période estivale (Chemineau et al 1996). En France, les traitements lumineux et/ou la mélatonine sont utilisés principalement chez les caprins. Aujourd'hui, plus de 50% des 1 800 élevages caprins adhérents au schéma de sélection Capgènes utilisent les traitements photopériodiques pour la reproduction des chèvres laitières, ce qui représente environ 200 000 chèvres (le nombre total d'élevages caprins en France étant d'environ 4 800 et le cheptel caprin français de 840 000 têtes) (Gauband et al 2014).

Les hormones ou analogues (traitements d'induction et synchronisation des chaleurs et des ovulations, mélatonine) ne sont pas autorisées par le cahier des charges en AB (règlements 2007/834/CE et 2008/889/CE), ce qui constitue un frein pour le désaisonnement et l'adhésion à des schémas de sélection. Elles sont exclusivement utilisées en AC dans un cadre réglementaire strict (directives 96/22/CE, 2003/74/CE et 2008/97/CE ; décret n°2009-504, article D234-6 du code rural). Cette réglementation veille à protéger la santé publique de la présence de résidus hormonaux dans les produits animaux et

l'environnement. Des délais d'attente avant toute commercialisation de lait ou viande sont appliqués après le traitement (Fréret et al 2018), ce qui peut conduire à des pertes économiques importantes, notamment en production laitière. En outre, l'hormone eCG, de par son origine animale, représente un risque sanitaire comme vecteur potentiel de maladies. De plus, le mode de production de l'eCG (hormone purifiée à partir du sang de juments gestantes) soulève des questions éthiques importantes en lien avec le bien-être animal, ce qui pousse fortement vers la recherche de traitements alternatifs.

Chez les petits ruminants, l'effet mâle apparaît comme une solution alternative à l'utilisation d'hormones pour la maîtrise de la reproduction, et notamment pour la mise en œuvre de l'IA. La 1^{ère} section de cet article rappelle les spécificités de la réponse ovulatoire et comportementale des femelles à « l'effet mâle » qui justifient l'intérêt de cette pratique en élevage. L'association de l'effet mâle à des traitements photopériodiques de désaisonnement est un élément clé pour la réussite de cette technique. C'est pourquoi, la 2^{ème} section de cet article récapitule les traitements photopériodiques disponibles aujourd'hui en élevage, et décrit les stratégies photopériodiques qui ont été étudiées pour éliminer l'emploi de mélatonine. Ces deux sections résument les bases sur lesquelles s'appuient les protocoles d'IA après effet mâle développés à ce jour. Ces protocoles sont présentés dans la section 3.

1. QU'EST QUE L'EFFET MALE ?

Un mâle sexuellement actif, via des signaux sensoriels (notamment olfactifs), est capable d'induire et de synchroniser les chaleurs et les ovulations chez des femelles anovulatoires (au repos sexuel ou non cycliques). Il s'agit d'un processus naturel qui est observé aussi bien chez les caprins que les ovins (Walkden-Brown et al 1999). Cet « effet mâle » est une pratique d'élevage d'intérêt pour avancer et synchroniser la puberté des jeunes femelles (Abecia et al 2016, Chasles et al 2017), mettre en place la reproduction hors saison sexuelle et grouper les mises bas (Chemineau 1989, Tournadre et al 2002, Pellicer-Rubio et al 2007). Cette pratique est mise en œuvre pour une lutte naturelle à contre-saison par environ 30 % des éleveurs caprins en AB et 60 % en AC dans les principaux bassins de production en France (Lurette et al 2016). En élevage ovin biologique, l'effet bélier est plus utilisé en filière laitière (68 %) qu'allaitante (28 %), alors qu'en AC la fréquence d'utilisation est similaire (35 %) pour ces deux filières.

1.1. REPONSE COMPORTEMENTALE ET ENDOCRINE DES CHEVRES A L'EFFET MALE

1.1.1 Etape 1 : augmentation de la sécrétion pulsatile de LH (réponse à court terme)

Pendant l'anœstrus saisonnier, en absence de contact avec des mâles, les niveaux plasmatiques de l'hormone gonadotrope FSH (Hormone Folliculo-Stimulante) et de l'estradiol sont au niveau basal, ou bien fluctuent de façon périodique suivant les vagues de croissance terminale des follicules ovariens. La sécrétion pulsatile de l'hormone gonadotrope LH (Hormone Lutéinisante) est minimale (1-2 pulses toutes les 6 h) et le niveau plasmatique de progestérone reste au niveau basal (Claus et al 1990, Bartlewski et al 1998, Adib et al 2014, Fabre-Nys et al 2015a) (Figure 1A).

Les signaux stimulateurs du mâle vont activer des régions spécifiques du système nerveux central (aire préoptique, noyaux arqué hypothalamique) impliquées dans l'activité des neurones à GnRH dans l'hypothalamus (pour revue : Fabre-Nys et al 2015a). Ces événements vont conduire à la réactivation de l'axe hypothalamo-hypophysaire de la femelle. Ceci se traduit par la stimulation de la sécrétion pulsatile de LH

dans les quelques heures qui suivent l'exposition aux mâles ou à leur odeur (Martin et al 1980, Cohen-Tannoudji and Signoret 1987, Chemineau 1989, Claus et al 1990). Le niveau sanguin de FSH reste inchangé, ou bien on peut observer une diminution (Atkinson et Williamson 1985, Poindron et al 1980) (Figure 1B). L'augmentation de la concentration plasmatique d'estradiol est initiée parallèlement à celle de LH (Claus et al 1990, Adib et al 2014, Fabre-Nys et al 2015b). L'activation des neurones à kisspeptine (neuropeptide stimulateur de la libération de LH et FSH via la stimulation de la sécrétion de GnRH) dans le noyau arqué a pu être mise en évidence lors d'un effet mâle chez la brebis (De Bond et al 2013) mais non chez les caprins (Bedos et al 2016).

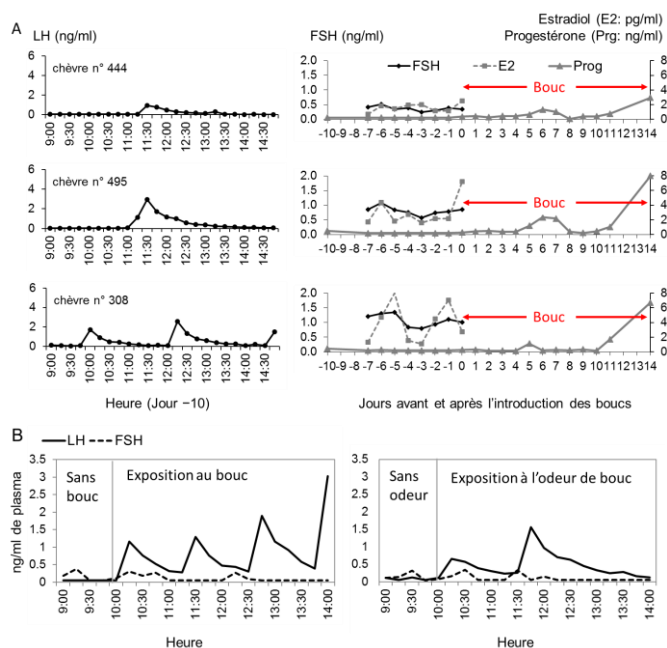


Figure 1 Exemples de profils hormonaux plasmatiques chez la chèvre Alpine en anœstrus saisonnier avant (A) et après (A, B) l'exposition à des boucs sexuellement actifs ou à leur odeur (Pellicer-Rubio et al, résultats non publiés).

1.1.2 Etape 2 : déclenchement du pic préovulatoire de LH (réponse à moyen terme)

L'augmentation de la sécrétion pulsatile de LH va agir sur les follicules ovariens pour stimuler leur croissance et maturation terminale, et produire de l'estradiol. La production d'estradiol va augmenter jusqu'à déclencher, par rétrocontrôle positif au niveau de l'axe hypothalamo-hypophysaire, un pic préovulatoire simultané de LH et de FSH. Une augmentation abrupte et transitoire des niveaux plasmatiques de ces deux hormones est observée entre 8 h et 56 h après l'exposition aux mâles (Poindron et al 1980, Ungerfeld et al 2002, 2005, Adib et al 2014, Fabre-Nys et al 2015b, Claus et al 1990).

Chez la brebis, les niveaux plasmatiques d'estradiol, soit ils augmentent progressivement depuis l'introduction des béliers et restent élevés jusqu'à la décharge ovulante de LH, soit l'individu développe des épisodes (1 ou plusieurs) d'augmentation puis diminution des niveaux d'estradiol avant le déclenchement du pic préovulatoire. Le niveau maximal d'estradiol dans le plasma sanguin est atteint dans les 12 h avant le pic de LH, moment qui coïncide avec l'acquisition de la taille maximale du follicule destiné à ovuler (Adib et al 2014, Fabre-Nys et al 2015b). La capacité des follicules ovariens à produire de l'estradiol dans les 12 h qui suivent l'effet bélier est associée à une augmentation de l'expression des messagers du gène codant pour la protéine STAR (protéine de transport qui régule le transfert du cholestérol dans la mitochondrie : étape limitante de la stéroïdogenèse) dans les cellules de granulosa, alors que l'expression des messagers des enzymes CYP11A1 (catalyse la conversion de cholestérol en

pregnenolone : 1^{ère} réaction du processus de la stéroïdogenèse) et 3 β -hydroxystéroïde déshydrogénase (3 β -HSD : catalyse la biosynthèse de progestérone à partir de pregnenolone) restent inchangées (Fabre-Nys et al 2015b). En outre, chez certaines brebis, le bélier peut déclencher un pic préovulatoire de LH précoce (dans les 4 h après l'exposition au bélier) sans qu'il y ait une augmentation importante d'estradiol préalable, ce qui suggère l'implication d'un mécanisme, non classique, s'affranchissant du rétrocontrôle positif de l'estradiol (Fabre-Nys et al 2016). Ces phénomènes n'ont pas été étudiés chez les caprins.

1.1.3 Etape 3 : induction de l'œstrus et de l'ovulation (réponse à long terme)

Le pic préovulatoire de LH va induire l'ovulation des follicules ovariens sélectionnés. Lors du 1^{er} cycle, ils peuvent émerger (acquisition d'un diamètre entre 3 et 4 mm) quelques jours avant l'exposition des femelles aux mâles, le jour même, ou au cours de la période de stimulation. Le diamètre de ces follicules au moment de l'introduction des mâles peut alors varier de < 3 mm à \geq 6 mm (taille ovulatoire chez les chèvres, \geq 5 mm chez la brebis). Ceux qui étaient plus gros vont acquérir leur taille maximale et ovuler plus tôt que les petits. Toutefois, le diamètre maximal atteint pour chacun de ces follicules et leur diamètre ovulatoire sont similaires quel que soit leur taille au moment de l'exposition aux mâles (Tableau 1) (Delgadillo et al 2011, Pellicer-Rubio et al 2013, Adib et al 2014).

Tableau 1 Caractéristiques des follicules ovulatoires (fol. ovul.) du premier cycle induit par effet mâle, selon le moment d'émergence (jour où le diamètre (\varnothing) du follicule est de 3-4 mm) par rapport au jour (J) d'introduction des mâles (J0).

Paramètres	Emergence avant J0	Emergence de J0 à J2	#P
*Chèvre (Alpine)			
Nb chèvres	7	7	
Dont nb ovulant	7	5	
Nb fol. ovul.	10	6	
\varnothing à J0 (mm)	6,4 [5,9; 6,6]	3 [3; 3,8]	<0,001
\varnothing maximal	6,6 [6,4; 7,8]	6,7 [6,5; 7,0]	NS
\varnothing ovulatoire	6,5 [6,2; 7,3]	6,7 [6,1; 7,0]	NS
J émergence	ND	0 [0; 0,8]	--
J obs ^o \varnothing max	1,0 [1,0; 1,8]	2,5 [2,0; 3,0]	\leq 0,05
J ovulation	3,0 [2,3; 3,8]	4,0 [4,0; 4,0]	\leq 0,05
Durée de vie (j)	ND	ND	--
**Brebis (Ile de France)			
Nb brebis	12	7	
Dont nb ovulant	12	7	
Nb fol. ovul.	18	7	
\varnothing à J0 (mm)	5,1 [4,4; 5,8]	3,4 [3; 3,5]	<0,0001
\varnothing maximal	5,4 [5,3; 5,9]	5,3 [5,2; 5,7]	NS
\varnothing ovulatoire	5,0 [4,6; 5,4]	5,2 [4,6; 5,3]	NS
J émergence	-2,5 [-4; -1,3]	0	<0,0001
J obs ^o du \varnothing max	1 [0; 1]	2 [2; 3]	<0,01
J ovulation	2 [2; 3]	3 [3; 4]	<0,01
Durée de vie (j)	4,5 [4; 6]	3 [3; 4]	<0,01

* Pellicer-Rubio et al résultats non publiés. ** D'après Adib et al 2014. Données exprimées en médiane [Q1 ; Q3]. # comparaison des 2 groupes avec le test exact de Fisher-Pitman (logiciel R3.2.2). ND : non déterminé. NS : non significatif avec $p > 0,05$.

Après l'ovulation, les follicules se transformeront en corps jaunes sécrétant de la progestérone. La 1^{ère} ovulation a lieu 2-3 jours après l'exposition au mâle. Une augmentation des niveaux plasmatiques de progestérone pourra être observée à partir du 4^{ème} jour. Chez certaines femelles, ce 1^{er} corps jaune va régresser de façon prématurée (cycle court), puis une deuxième ovulation aura lieu environ 5-6 jours après la première, avec la mise en place d'un corps jaune d'une durée de vie similaire de celle observé en saison sexuelle (cycle normal) (Figure 1A). D'autres femelles vont développer des

cycles normaux dès la première ovulation. Dans les deux cas, des cycles normaux successifs pourront avoir lieu en absence de gestation si la stimulation par le mâle est maintenue. Ces profils ovulatoires sont observés dans les deux espèces, caprine (Chemineau et al 1984, Chemineau 1989, Pellicer-Rubio et al 2016) et ovine (Thimonier et al 2000, Pellicer-Rubio et al 2013, Adib et al 2014).

Chez la chèvre, un 1^{er} pic de chaleurs est observé associé à la 1^{ère} ovulation chez 20-60 % des chèvres (selon les races). Lorsque le 1^{er} cycle est court, un 2^{ème} pic de chaleurs a lieu 5-6 jours après, lors de l'ovulation suivante (Chemineau 1989, Pellicer-Rubio et al 2007, 2016).

Chez la brebis, la 1^{ère} ovulation induite par le bélier est toujours silencieuse (pas accompagnée de comportement d'œstrus), qu'elle soit associée à un cycle court ou normal. Lorsque le 1^{er} cycle est normal, les chaleurs apparaissent vers 19 jours après l'introduction des béliers, au moment de la 2^{ème} ovulation. Lorsque le 1^{er} cycle est court, une 2^{ème} ovulation silencieuse a lieu associée à un cycle normal 5-6 jours après, et les chaleurs apparaissent lors d'une 3^{ème} ovulation environ 25 jours après l'exposition aux béliers (Thimonier et al 2000).

1.2. UN PRETRAITEMENT DES FEMELLES AVEC DE LA PROGESTERONE PREVIENT L'APPARITION DES CYCLES COURTS INDUITS PAR 'EFFET MALE'

Les cycles courts induits par effet mâle chez certaines femelles sont à l'origine d'une distribution des chaleurs fertiles (et des mises bas) en deux pics dans le troupeau (Chemineau 1989, Pellicer-Rubio et al 2007, Thimonier et al 2000). La fréquence de femelles qui développent un 1^{er} cycle court ou normal peut varier en fonction de : la race et le moment de l'ancœstrus (Chanvallon et al 2011), la proportion des femelles cycliques

dans le troupeau (Chemineau 1983), la date d'entrée en ancœstrus (Pellicer-Rubio et al 2013), l'état nutritionnel des femelles (Thimonier et al 2000, Tournadre et al 2009), une supplémentation alimentaire avant l'exposition aux mâles (De Santiago-Miramontes et al 2008), la performance sexuelle des mâles (Perkins and Fitzgerald, 1994).

A ce jour, le seul moyen de prévenir les cycles courts consiste à prétraiter les femelles avec de la progestérone (ou analogues). Une injection unique de 20 mg de progestérone le jour de l'introduction des mâles, ou bien un prétraitement de plus longue durée (en utilisant des dispositifs vaginaux par exemple) avant l'introduction des mâles permet d'obtenir majoritairement des cycles normaux à la 1^{ère} ovulation induite par le mâle, aussi bien chez les ovins (Cognie et al 1982, Adib et al 2014) que les caprins (Chemineau 1985, González-Bulnes et al 2006, Pellicer-Rubio et al 2007).

Un traitement progestatif d'une durée supérieure à 6 jours permet l'expression de l'œstrus dès la 1^{ère} ovulation chez la brebis et la chèvre, alors qu'une seule injection de progestérone (ou un traitement inférieur à 6 jours) est insuffisante pour obtenir ce résultat chez la brebis contrairement à la chèvre.

Chez la brebis, la suppression des cycles courts par un prétraitement progestatif serait le résultat d'une action à différents niveaux de l'axe de la reproduction. Au niveau ovarien, la progestérone participerait à la complétion de la croissance et de la maturation des follicules préovulatoires induits par l'effet bélier (Adib et al 2014). Au niveau utérin, elle agirait au travers de mécanismes amenant à l'inhibition de la lutéolyse (Chemineau et al 2006). Ces informations ne sont pas disponibles chez les caprins.

Tableau 2 Réponse à l'effet bouc chez des chèvres ayant reçu préalablement ou non un traitement photopériodique de désaisonnement (J0 : jour de l'introduction des boucs).

Pays	Race	Groupe	a Jours longs		b Mélatonine (MELOVINE®) date	Introduction des boucs date	n	Chèvres en chaleurs (J0-J13)	Chèvres ovulant (J0-J13)	Chèvres avec cycle normal (J0-J13)	c Chèvres mettant bas
			(date) début	fin							
Italie	Sarda	témoin	--	--	--	15/5/2010	20	36%	75%	32%	60%
		expérimental	15/12/2009	14/3/2010	--		18	71% *	100%	75% *	80% *
Portugal	Serrana	témoin	--	--	--	18/5/2011	18	83%	100%	63%	34%
		expérimental	4/1/2011	14/3/2011	--		19	95%	100%	91%	58%
Roumanie	Carpathian	témoin	--	--	--	16/5/2011	20	31%	40%	4%	30%
		expérimental	15/12/2010	14/3/2011	--		20	66% *	85% *	21% *	53% *
Roumanie	Blanche de Banat	témoin	--	--	--	26/6/2011	20	27%	45%	3%	24%
		expérimental	15/2/2011	24/4/2011	25/4/2011		20	61% *	85% *	15%	46%
Croatie	Saneen	témoin	15/4/2010	27/6/2010	--	28/8/2010	20	85%	85%	73%	68%
		expérimental	15/4/2010	27/6/2010	28/6/2010		19	96%	100%	94%	85%
France	Alpine	témoin	--	--	--	2/8/2017	10	60%	90%	20%	70%
		expérimental	--	--	31/5/2017		10	80%	100%	70% ^t	70%
TOTAL		témoin					108	54%	73%	34%	48%
		expérimental					106	78% *	95% *	63% *	65% *

^a: Pendant la période de jours longs (16 h de lumière/8 h d'obscurité), le groupe témoin reçoit la photopériode naturelle. A la fin de la période de jours longs, toutes les chèvres reçoivent la photopériode naturelle. Les boucs ont reçu le même traitement que les chèvres du groupe expérimental (FLOCK-REPROD 2010-2013 : Grizelj et al, résultats non publiés).^b : 1 implant par chèvre, 3 implants par bouc. n: chèvres non cycliques. ^c : 35 jours de lutte. Variables binaires analysées par régression logistique (proc GLIMMIX, SAS®, avec race en variable aléatoire). Les valeurs sont exprimées en pourcentage (%) ou en moy ± sem. * : différences significatives entre groupes avec p≤0,05. t : 0.05<p<0.1.

1.3. LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE DES MALES ET/OU DES FEMELLES AMELIORE LA REPONSE OESTRALE ET OVULATOIRE A L'EFFET MALE

La qualité de la réponse à l'effet mâle se traduit par : i/ la proportion des femelles qui vont ovuler et exprimer le comportement des chaleurs après leur l'exposition aux mâles, ii/ la vitesse du déclenchement et le degré de synchronisation des ovulations et des chaleurs, iii/ la qualité des corps jaunes post-ovulatoires, et iv/ la capacité à développer plusieurs cycles ovulatoires fertiles successifs (pour revue : Walkden-Brown et al. 1999). La réussite à l'effet mâle va dépendre de la qualité de la stimulation assurée par le mâle (en lien avec leur niveau d'activité sexuelle) et de l'état physiologique de la femelle (en lien avec l'inhibition de l'axe hypothalamo-ovarien).

La réponse à l'effet mâle peut être améliorée en stimulant l'activité sexuelle des mâles par une alimentation adaptée et/ou leur exposition préalable à des femelles en chaleur (Walkden-Brown et al 1993), mais notamment grâce aux protocoles photopériodiques de désaisonnement (Flores et al 2000 ; Abecia et al 2016, Chasles et al 2016).

La réceptivité des femelles aux signaux stimulateurs du mâle est également importante (Walkden-Brown et al 1999). Par exemple, la qualité de la réponse à l'effet mâle peut varier en fonction de l'intervalle entre le tarissement et la mise à la reproduction (Tournadre et al 2009) ou du statut nutritionnel des femelles (Fitz-Rodríguez et al 2009). De même, le traitement de femelles avec un protocole lumineux de désaisonnement (avec ou sans mélatonine) peut faciliter l'expression de l'œstrus et l'ovulation, avancer l'ovulation, favoriser l'installation d'une cyclicité et/ou améliorer la fertilité

(Chemineau et al 1986, Tableau 2). Sur cette base, il est préconisé à ce jour dans les fiches techniques de traiter les boucs et les chèvres avec des traitements photopériodiques permettant de maîtriser la saisonnalité, pour une mise à la reproduction par effet mâle (GRC 2012b, 2014a)

2. QUELS SONT LES TRAITEMENTS PHOTOPERIODIQUES (AVEC OU SANS MELATONINE) DISPONIBLES ?

2.1. POUR UN EFFET MALE EN ANCESTRUS SAISONNIER (AVEC OU SANS MELATONINE)

Le traitement photopériodique consiste à soumettre les animaux à une alternance de « jours longs » (JL : inhibiteurs de la reproduction, équivalent à 16 h de lumière par jour) puis de « jours courts » (JC : stimulateurs de la reproduction, 8-12 h de lumière par jour) à des moments de l'année très précis (Chemineau et al 1996, Pellicer-Rubio et al 2009). Les dates de mise en place de ces traitements dépendent de la période de reproduction souhaitée par l'éleveur. La durée du traitement est également importante pour assurer son efficacité.

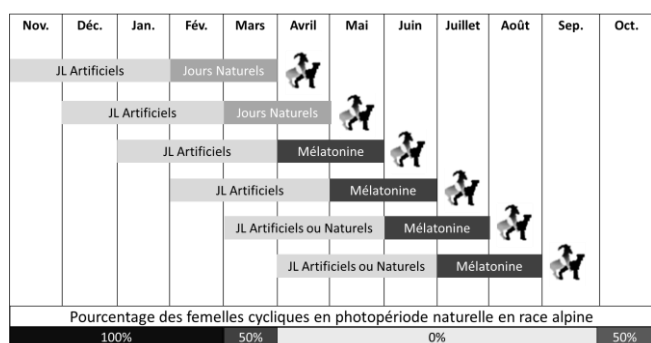


Figure 2 Traitements lumineux utilisés en élevage caprin en France pour une reproduction hors saison sexuelle (d'après GRC 2012b, Fatet et Tuauden 2013).

En élevages caprins (Figure 2), pour des mises à la reproduction au printemps (avril-mai), le traitement de JL est administré pendant l'hiver en éclairant les animaux avec de la lumière artificielle. Ensuite, vers les mois de mars, les animaux reçoivent la photopériode naturelle qui est encore de courte durée pour pouvoir stimuler l'activité sexuelle ; le bouc est introduit 60 jours après l'arrêt des JL. Pour des mises à la reproduction en été, un traitement lumineux de JL peut être mis en place à la fin de l'hiver, ou bien les animaux peuvent bénéficier des JL naturels du printemps. L'effet stimulateur des JC est alors mimé par l'administration de mélatonine (sous forme d'implant sous-cutané : MELOVINE®) ; le bouc est introduit 60 jours après l'administration de mélatonine. Le recours à la mélatonine pour mimer des JC peut aussi être nécessaire à cause des contraintes d'élevage (surveillance des mise bas, heures de traite, repousse de l'aliment ...) qui ne permettent pas d'assurer un minimum de 12 h par jour d'obscurité.

Ces traitements ont montré leur efficacité chez les races Alpines et Saanen (Pellicer-Rubio et al 2007, 2008, 2016, Fréret et al 2013). Ils sont aussi efficaces mais peu utilisés en élevages ovins (Chemineau et al 1996, Pellicer-Rubio et al 2009, Abecia et al 2015, 2016, Lurette et al 2016).

2.2. POUR UN EFFET MALE EN SAISON SEXUELLE (AVEC OU SANS MELATONINE)

Pour obtenir une bonne synchronisation des ovulations par effet mâle, il faut que les femelles soient réceptives, mais au repos sexuel (non cycliques). En saison sexuelle, puisque les femelles sont cycliques, l'effet mâle n'est pas suffisant pour synchroniser les ovulations (Pellicer-Rubio et al 2009).

Pour pratiquer l'effet mâle en saison sexuelle, un nouveau traitement lumineux a été étudié chez les caprins de races Alpine et Saanen (Figure 3). Il est basé sur la succession en

continu de 3 mois de JL artificiels (16h de lumière et 8h d'obscurité) et 3 mois de JC (soit naturels, soit mimés avec de la mélatonine selon le moment de l'année). Le but de cette stratégie est de retarder de façon contrôlée le démarrage de la saison de reproduction.

Ce traitement lumineux a été étudié chez les caprins de races Alpine et Saanen (Figure 3). Lorsque le 1^{er} cycle de JL artificiels démarre début décembre, on observe une courte période d'activité ovulatoire à contre saison au printemps, puis le démarrage de l'activité ovulatoire cyclique de la saison sexuelle suivante (qui a lieu début novembre chez la chèvre Alpine sous photopériode naturelle ; Caillat et al 2011) est retardée d'une vingtaine de jours (Ahmadpour et al 2018a, Figure 3A). Ce décalage rend possible un effet mâle début novembre. Chez les boucs, on observe deux périodes d'activité sexuelle maximale lors des cycles de jours naturels (Boissard et al 2018, Figure 3B). Un essai réalisé en élevage montre l'efficacité de ce nouveau traitement lors d'un effet bouc en novembre : toutes les chèvres ont ovulé et 92 % des ovulations fertiles ont eu lieu au 8^{ème} et 9^{ème} jours d'exposition aux boucs (Boissard et al 2018).

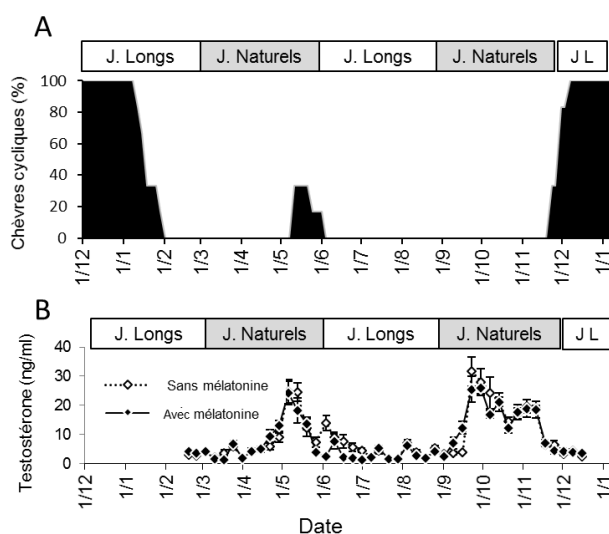


Figure 3 Pourcentage de chèvres alpines cycliques (A, n=6, d'après Ahmadpour et al 2018a) et niveaux plasmatiques de testostérone (moy ± sem) de boucs alpins et saanen (B, n=8, d'après Boissard et al 2018) lors d'une alternance de 3 mois de jours longs artificiels et 3 mois de jours naturels (FLOCK-REPROD®).

Cette stratégie photopériodique peut être adaptée pour la pratique d'un effet bouc tout au long de la saison sexuelle (d'octobre à février) (Figure 4). Pour une reproduction en novembre, elle peut être mise en place en utilisant les jours naturels comme des JC (sans mélatonine), ce qui rend le traitement utilisable en agriculture biologique. Toutefois, pour une reproduction programmée durant les autres mois de la saison sexuelle naturelle, le traitement doit être mis en place en utilisant la mélatonine pour simuler les JC. En outre, ce protocole permet deux périodes de mise à la reproduction par effet bouc à 6 mois d'intervalle (ex : mai et novembre). Dans des élevages avec une seule période de reproduction en saison (de novembre à février), seul le traitement des chèvres sera nécessaire car les boucs sont naturellement actifs sexuellement au moment de l'effet bouc. En revanche, si l'éleveur pratique deux périodes de reproduction, ce traitement lumineux devra aussi être appliqué sur les boucs de façon à les rendre sexuellement actifs aux deux périodes de reproduction correspondantes.

L'évolution de l'activité ovulatoire cyclique au cours d'une alternance de 3 mois de JL et 3 mois de JC a aussi été caractérisée chez la brebis Ile-de-France (Thimonier 1989). Les brebis montrent deux périodes d'activité et deux périodes d'inactivité ovulatoire par an, avec toutefois des périodes d'inactivité plus courtes comparées aux caprins. A ce jour,

l'utilisation de cette stratégie n'a pas encore été envisagée en élevage ovin.

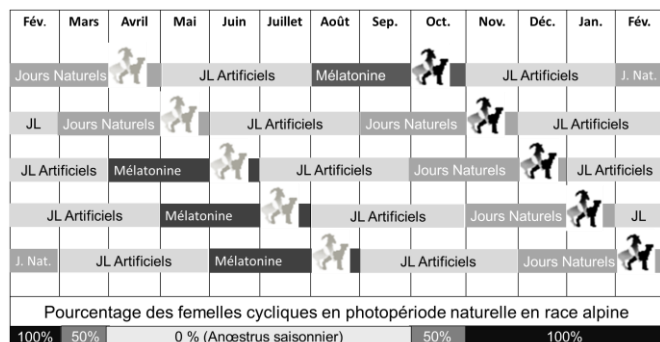


Figure 4 Traitements lumineux basés sur une alternance continue de cycles de 3 mois de JL artificiels et 3 mois de JC naturels (avec ou sans mélatonine selon le moment de l'année), proposés en élevage caprin pour une reproduction en saison sexuelle (d'après Fatet et Tuauden 2013, FLOCK-REPROD®).

2.3 RECHERCHE DE TRAITEMENTS LUMINEUX ALTERNATIFS A LA MELATONINE POUR UNE REPRODUCTION EN TOUTE SAISON SANS HORMONES

2.3.1 Une alternance de « jours longs » et de « lumière continue » stimule l'activité sexuelle des mâles et des femelles hors saison sexuelle (mais sa mise en œuvre en élevage n'est pas autorisée par la réglementation européenne)

La mélatonine est sécrétée pendant la nuit par la glande pinéale (sa sécrétion est inhibée par la lumière). Il s'agit du signal hormonal utilisé par l'animal pour mesurer la durée du jour. Chez la brebis, l'absence de mélatonine circulante en continu (24 h/24 h) suite à une pinéalectomie (ablation de la glande pinéale) pendant l'été (en JL) se traduit, paradoxalement, par une stimulation de l'activité sexuelle similaire à celle observée après traitement avec de la mélatonine (Wayne et al 1990). L'absence de mélatonine circulante peut être reproduite sur animaux non pinéalectomisés, en les éclairant en continu 24 h/24 h.

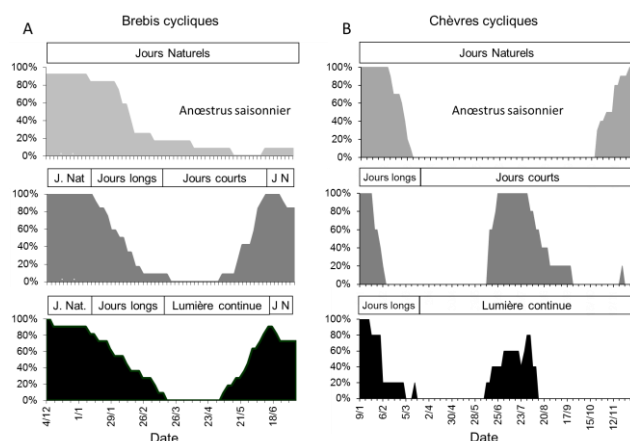


Figure 5 Pourcentage de brebis (A, n=12) et de chèvres (B, n=6) cycliques lors d'une alternance de JL (16 h de lumière/24 h) et de JC (8 h de lumière/24 h) ou de lumière continue 24 h/24 h (Pellicer-Rubio et al, résultats non publiés)

Un traitement lumineux basé sur une alternance de JL et de lumière continue se traduit par une stimulation de l'activité sexuelle à contre-saison chez les ovins et les caprins mâles (Delgadillo et al 2016, Chesneau et al 2017) et femelles (Figure 5). Toutefois, cette pratique peut s'accompagner de perturbations des rythmes biologiques de différentes fonctions (i.e. la fonction immunitaire, Campo et al 2007). Les normes minimales de protection des animaux en élevage n'autorisent

pas l'éclairage en continu des animaux (Directive communautaire 95/58/CE).

2.3.3 La réussite de l'effet mâle en été sans utilisation de mélatonine est possible grâce à l'induction préalable d'un état réfractaire à l'effet inhibiteur des jours longs

Lorsque le traitement de jours longs (inhibiteurs de la reproduction) est appliqué pendant une longue durée (au-delà de 150 jours environ chez les ovins, 210 jours chez la chèvre), l'activité sexuelle des animaux se voit réactivé, on parle alors de l'acquisition d'un état réfractaire aux jours longs (Malpaux et al 1988, Ahmadpour et al 2018b).

Cette stratégie a été étudiée chez la chèvre Alpine pour une mise à la reproduction en été. Il s'agit de soumettre les animaux (boucs et chèvres) à une alternance de 6 mois de jours longs (16h de lumière/jour, à démarrer en hiver) et 6 mois de photopériode naturelle. Lors d'un effret bouc fin juillet, une bonne réponse œstrale et ovulatoire des chèvres a été obtenue, similaire de celle observé en appliquant le traitement classique utilisé en élevage (avec mélatonine). La stimulation des chèvres non traités (sous photopériode naturelle) s'est avéré significativement inférieure (Tableau 3, Pellicer-Rubio et al, résultats non publiés). Des études complémentaires sont nécessaires pour ajuster le moment d'exposition des chèvres aux boucs selon la date de démarrage du traitement des jours longs.

Tableau 3 Réponse à l'effret bouc selon le traitement photopériodique préalable (JN = jours naturels)

Réponse à l'effret bouc (J0 à J13)	JN (n=9)	JN puis mélatonine (n=10)	180 puis JN (n=7)	JL P
Chèvres en chaleurs	22 % a	100 % b	100 % b	P<0.05
Chèvres ovulantes	44 % a	100 % b	100 % ab	P<0.05
Chèvres avec cycle normal	25 % a	100 % b	100 % b	P<0.05
Jour début 1 ^{ère} phase lutéale	5,5 ± 2,7	4,5 ± 1,0	4,0 ± 1,0	P<0.05

J0 : jour d'introduction des boucs (30 juillet). n : nombre de chèvres non cycliques avant exposition aux boucs. Valeurs exprimées en pourcentage (%) ou en Médiane ± IQ. P : probabilité après test de Fisher (variables binaires) ou ANOVA avec test par permutations (variables quantitatives). a versus b : différences significatives entre traitements avec p<0,05.

3. COMMENT PRATIQUER L'IA APRES EFFET MALE, ET AVEC QUELS RESULTATS ?

L'IA en élevage ne nécessite pas obligatoirement une synchronisation de l'œstrus et de l'ovulation car, grâce à la détection des chaleurs, il est possible d'identifier les femelles à inséminer et de déterminer le moment de l'insémination. Lorsque les femelles sont naturellement cycliques (saison sexuelle) et en absence de synchronisation des chaleurs, les inséminations doivent être réalisées sur plusieurs jours (sur une durée équivalente à la durée d'un cycle sexuel), au fur et à mesure que les femelles viennent en chaleurs. La pratique de l'IA sur chaleurs naturelles est habituelle chez les bovins (espèce à reproduction non saisonnée), notamment en troupeaux laitiers. Toutefois, il s'agit d'une solution qui ne s'est pas développée en élevages des petits ruminants, essentiellement en raison de contraintes associées à la saisonnalité de la reproduction, de difficultés liées à la conservation et au transport de la semence (notamment en filière ovine), et de particularités de conduite des troupeaux dans ces filières.

Chez les petits ruminants, ce sont les traitements hormonaux d'induction et synchronisation des chaleurs qui ont permis le développement de l'IA, avec l'avantage de pouvoir inséminer

un lot de femelles à un moment prédéterminé, sans détection préalable de chaleurs, et ce quel que soit le moment de l'année, sur femelle cyclique et non cyclique (Figure 6).

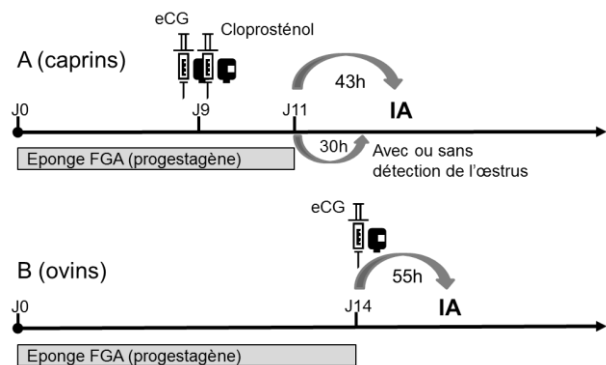


Figure 6 Représentation schématique des protocoles d'induction et de synchronisation de l'œstrus et de l'ovulation utilisés en France chez les petits ruminants (eCG : gonadotrophine chorionique équine. FGA : acétate de fluorogéstone) (d'après Fatet et al 2008)

Les premiers essais d'IA après effet mâle ont été réalisés chez les ovins (Corke, 1982) et les caprins (Restall 1988, Moore et Hall, 1991) sur la base d'une détection des chaleurs préalable à l'IA. Les ovulations fertiles induites et synchronisées par effet mâle s'étalent sur une ou deux semaines. De ce fait, un seul moment d'IA ne suffit pas pour féconder l'ensemble des femelles stimulées. La détection des chaleurs constitue donc un passage obligé, afin de déterminer à quel moment et quelles femelles inséminer.

Chez les caprins, le 1^{er} protocole d'IA sans hormones qui a été proposé en France consiste à réaliser une détection des chaleurs (grâce à l'utilisation de mâles munis de harnais marqueurs) deux fois par jour à partir du jour 5 après l'introduction des boucs et jusqu'au jour 9. Les chèvres sont inséminées au fur et à mesure qu'elles viennent en chaleurs, environ 12 h après avoir été détectées (Figure 7 et Tableau 4 : protocole A) (GRC 2014b, Pellicer-Rubio et al 2016). Ce protocole peut mettre en œuvre jusqu'à 9 moments d'IA à 12 h d'intervalle sur une période de 5 jours consécutifs, pour inséminer la totalité des chèvres stimulées.

De nouveaux protocoles d'IA après effet mâle (présentés dans les sections suivantes) ont été étudiés chez les caprins, dans l'objectif de réduire le nombre d'inséminations nécessaires pour féconder un maximum des femelles stimulées. La complexité de la réponse à l'effet mâle et la variabilité observée en élevage ont conduit, tout d'abord, à l'étude de protocoles limitant, sans exclure complètement, le recours aux hormones. Ils proposent des stratégies basées sur **l'association de l'effet bouc avec des progestagènes et/ou des prostaglandines** pour s'affranchir de la problématique des cycles courts, afin de pratiquer **une seule IA à un moment prédéterminé** (Figure 7 et Tableau 4 : protocoles B, C et D). Ces protocoles utilisent certes des hormones mais ils ont l'avantage d'exclure l'eCG, une hormone d'origine animale. Quant aux protocoles basés sur **l'effet bouc seul (sans hormone)**, trois stratégies ont été développées. Deux protocoles proposent **deux moments d'IA prédéterminés, avec ou sans détection des chaleurs** préalable (Figure 7 et Tableau 4 : protocoles E et F). Le dernier protocole fait appel à la détection des chaleurs dans l'objectif de réaliser **une IA unique à un moment non prédéterminé** (Figure 7 et Tableau 4 : protocole G, Tableau 4).

Le succès de la pratique de l'IA après effet bouc repose sur une bonne stimulation de l'activité œstrale et ovulatoire des chèvres qui se trouvent au repos sexuel. C'est grâce aux traitements lumineux qu'il sera possible de stimuler l'activité sexuelle des boucs et de maîtriser l'état de cyclicité des chèvres ainsi que leur réceptivité pour réussir l'effet bouc. Tous

les protocoles qui sont décrits ci-dessous requièrent donc l'association des traitements lumineux décrits dans la section 2 de cet article. Le choix du traitement lumineux dépendra du moment de l'année souhaité par l'éleveur pour la reproduction du troupeau. Tous ces protocoles exigent une grande rigueur dans leur application et le respect de l'ensemble des recommandations concernant la préparation des mâles et le choix des femelles pour l'IA (GRC 2013, 2014a).

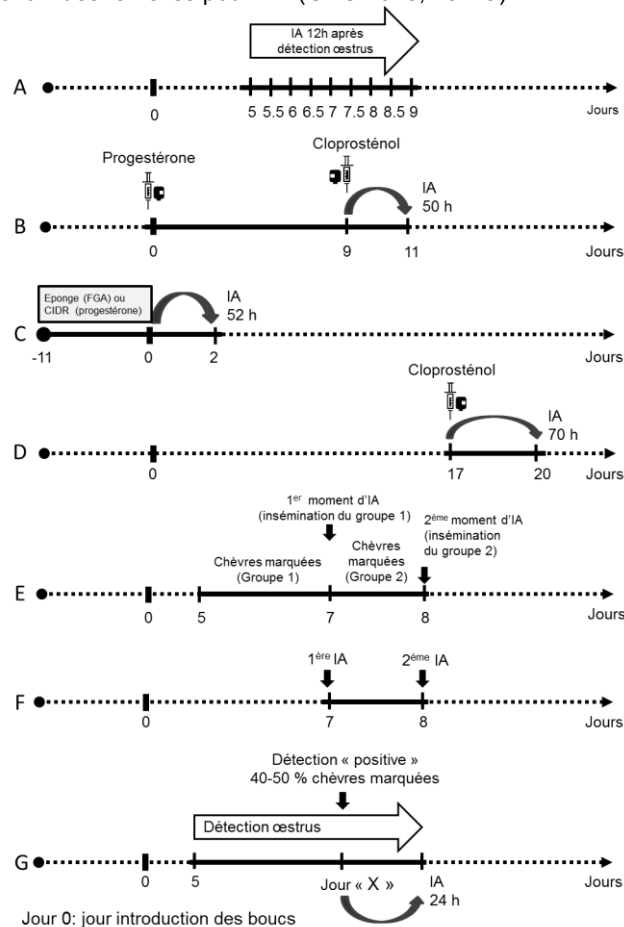


Figure 7 Protocoles d'IA après effet mâle étudiés chez les caprins.

3.1. L'IA APRES « EFFET BOUC » EN ASSOCIANT DES PROGESTATIFS ET DES PROSTAGLANDINES

Ce protocole (sous la marque IMA-PRO®, López-Sebastian et al 2007, Figure 7B), consiste à injecter une dose i.m. unique de 25 mg de progestérone le jour de l'introduction des boucs (J0), suivi par l'injection i.m. d'une dose unique de 75 µg de cloprosténol (un analogue de synthèse de la PGF2α) le 9^{ème} jour d'exposition aux boucs. Une seule IA est faite 50 h après l'injection de cloprosténol sur l'ensemble du lot de chèvres sans détection des chaleurs préalable. Il s'agit d'un protocole validé en élevage chez la chèvre Murciano-Granadina. Les résultats de fertilité obtenus par IA intra-cervicale avec de la semence réfrigérée sont très satisfaisants (65 % de mises bas) et supérieurs de ceux obtenus après le traitement hormonal classique (47 %), (Tableau 4 protocole B).

Cette stratégie a été étudiée chez les ovins dans le cadre d'une lutte naturelle hors saison sexuelle. L'association de l'effet bélier à des prostaglandines et à des progestatifs améliore la fertilité comparée à celle obtenue après effet bélier seul. Les meilleurs résultats de fertilité ont été obtenus chez les brebis recevant une injection de 25 mg de progestérone le jour de l'introduction des béliers (comparées à des brebis non traitées), suivie par une injection de 100 µg de cloprosténol le jour 16 (comparées à des brebis traitées le jour 12 ou 14). Le taux de gestation obtenu était d'environ 70 % au 1^{er} service lors d'une lutte naturelle pendant 3 jours après l'injection de cloprosténol (López-Sebastian et Inskeep 1988). Ces résultats

prouvent que cette stratégie pourrait être associée à l'IA avec succès chez les ovins.

3.2. L'IA APRES « EFFET BOUC » CHEZ DES CHEVRES PRETRAITEES AVEC DES PROGESTATIFS

Ce protocole (Figure 7C) consiste à prétraiter les chèvres avec des progestatifs pendant 11 jours à l'aide de dispositifs vaginaux qui libèrent en continu soit des progestagènes (éponges vaginales imprégnées d'acétate de fluorogestone, FGA), soit de la progestérone (dispositifs vaginaux, CIDR®). L'introduction des boucs (J0) a lieu le jour du retrait du dispositif vaginal, puis l'IA est réalisée 52 h après sur l'ensemble du lot de chèvres sans détection des chaleurs préalable (Pellicer-Rubio et al 2008). Ce protocole a été validé en élevages Alpin et Saanen. Les résultats de fertilité par IA intra-cervicale avec de la semence congelée étaient très satisfaisants (71 % de mises bas) et similaires à ceux obtenus après traitement hormonal classique (72 %) (Tableau 4 protocole C).

Cette stratégie aurait un grand intérêt pour l'IA chez les ovins, car la 1^{ère} ovulation fertile aurait lieu sur l'ensemble du lot dans les 3 jours après l'introduction des béliers (Cognie et al 1982), ce qui permettrait de réduire à un seul le nombre de moments d'insémination.

3.3. L'IA APRES « EFFET BOUC » EN ASSOCIANT DES PROSTAGLANDINES

Ce protocole (sous la marque communautaire FLOCK-REPROD®, Fatet et Tuauden 2013, Lopez-Sebastian et al 2014, Bruni et al 2016, Figure 7D), comporte une injection i.m. unique de 75 µg de cloprosténol 17 jours après l'introduction des boucs (J0). Une seule IA a lieu 70 h après l'injection de cloprosténol sur l'ensemble du lot de chèvres, sans détection des chaleurs préalable. Il a été testé dans 33 élevages caprins de 7 pays européens (Italie, Croatie, France Grèce Portugal, Roumanie et Espagne), chez les races Alpine, Saanen, Murciano-Granadina, Malagueña, Serrana, Capra prisca, Damascus et Carpathian. La fertilité obtenue par IA intra-cervicale avec de la semence réfrigérée ou congelée reste acceptable (taux de gestation de 45 %). Toutefois cette fertilité est 10 à 30 % (selon les élevages) inférieure à celle obtenue après IA des chèvres ayant reçu le traitement hormonal classique (63 % en moyenne) (Tableau 4 : protocole D).

En races alpine et saanen, une proportion importante des chèvres développe une phase lutéale courte (cycle court) après l'injection de prostaglandines, lorsqu'elle a lieu 17 jours après l'exposition aux boucs. Ceci pourrait expliquer la faible fertilité observée après IA dans ces races (Boissard et al, résultats non publiés). En revanche, chez les ovins il est possible d'obtenir une bonne fertilité en lutte naturelle dans les 3 jours après l'injection de prostaglandines, lorsque celle-ci a lieu 14 ou 16 jours après l'exposition aux béliers (López-Sebastian et Inskeep 1988). Ces résultats incitent à penser que cette stratégie serait intéressante pour l'IA ovine à contre-saison.

A ce jour, chez les ovins, l'association de l'effet mâle et des prostaglandines dans le cadre de l'IA a seulement été étudiée chez des brebis cycliques en régions tropicales (Contreras-Solis et al 2009). Le protocole consiste à traiter les brebis avec 2 injections de prostaglandines à 7 jours d'intervalle, les béliers étant introduits avec les femelles le jour de la 2^{ème} injection. Le taux de gestation a été de l'ordre de 60 % après IA intra-vaginale 48 h après l'introduction des béliers.

3.4. L'IA APRES « EFFET BOUC » SEUL (SANS HORMONES)

Chez les caprins, une bonne maîtrise du traitement photopériodique combiné à l'effet mâle permet de grouper les chaleurs fertiles à partir du 6^{ème} jour d'exposition aux boucs et jusqu'au 9^{ème} jour (Pellicer-Rubio et al 2016). Les inséminations doivent avoir lieu sur ces chaleurs fertiles (Figure 8).

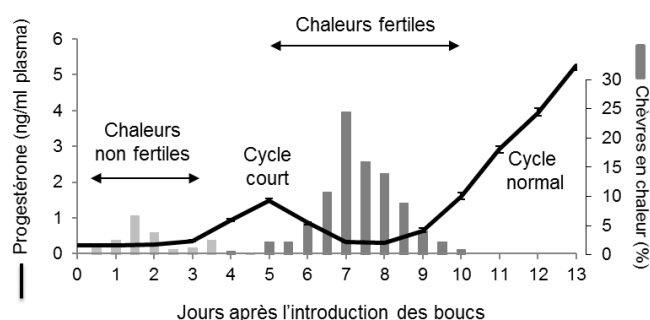


Figure 8 Réponse œstrale et ovulatoire à l'effet bouc des chèvres qui développent une 1^{ère} phase lutéale courte (cycle court, non fertile) suivi d'une phase lutéale normale (cycle normal, fertile) : Il s'agit de la réponse la plus fréquente chez les caprins (d'après Pellicer-Rubio et al 2016).

3.4.1. L'IA à des moments prédéterminés

Deux moments d'IA ont été fixés le jour 7 et le jour 8 après l'introduction des boucs. Deux protocoles d'IA ont été étudiés. Le 1^{er} protocole (Figure 7E) nécessite une détection des chaleurs à partir de J5 et jusqu'à J8. La détection des chaleurs a lieu 2 fois par jour, le matin et le soir, grâce à l'utilisation de boucs munis d'un tablier marqueur. Seules les chèvres en chaleur sont inséminées et une seule fois. A J7 sont inséminées les chèvres venant en chaleur entre J5 et J7. A J8 sont inséminées les chèvres venant en chaleur dès J7 et jusqu'à J8.

Le 2^{ème} protocole (Figure 7F) consiste à inséminer 2 fois toutes les chèvres mises à la reproduction (en chaleurs ou non). Une 1^{ère} IA aura lieu à J7 et une 2^{ème} à J8, sans détection des chaleurs préalable.

Ces deux protocoles ont été validés en élevages Alpin et Saanen, avec des résultats de fertilité par IA intra-cervicale avec de la semence congelée très satisfaisants (61 % et 58% de mises bas avec les protocoles E et F, respectivement) et similaires à ceux obtenus après traitement hormonal classique (65 %) (Tableau 4 : protocoles E et F).

3.4.2. L'IA à un moment non prédéterminé

Ce protocole (sous la marque communautaire FLOCK-REPROD®, Figure 7G) consiste à réaliser une seule insémination et au même moment chez un groupe de chèvres détectées en chaleur (marquées par le bouc) à partir de J5. La détection des chaleurs a lieu 2 fois par jour, le matin et le soir, et jusqu'à J8 au soir au plus tard. Le jour de l'IA (non prédéterminé à l'avance) se situe entre J5 et J10, et est déterminé à partir du moment où le seuil de 40-50 % de chèvres en chaleur est atteint (détection dite « positive » : Jour « X »). L'IA est ensuite programmée 24 h après la détection « positive » et toutes les chèvres marquées jusqu'au moment de l'IA sont inséminées (Tableau 4 protocole G).

Ce protocole a été évalué dans 21 élevages caprins de 5 pays européens (France, Italie, Espagne, Grèce et Roumanie) chez les races Alpine, Saanen, Murciano-Granadina, Capra prisca, Damascus et Carpathian. La fertilité obtenue par IA intra-cervicale avec de la semence réfrigérée ou congelée est satisfaisante (taux de gestation de 58 %), et similaire à celle obtenue chez des chèvres ayant reçu le traitement hormonal classique (60 %) (Tableau 4 : protocole G). Lors d'une stimulation par effet bouc efficace, plus de 50 % des chèvres pourront être inséminées au même moment.

Chez la brebis, les venues en chaleurs s'étalent sur 2-3 semaines et surviennent en deux vagues autour des 19^{ème} et 25^{ème} jours après l'introduction des béliers. L'IA sans hormones nécessite obligatoirement une détection préalable des chaleurs pour savoir à quel moment et quelles femelles inséminer. Des outils d'aide à la détection des chaleurs seraient un atout pour l'IA sans hormone, notamment en filière ovine. Le détecteur de chevauchements Alpha® (Wallace Group) qui est porté par un « bélier détecteur » permet d'automatiser la détection des brebis venant en chaleurs

(Alhamada et al 2016). Des études menées sur des brebis de races Lacaune (laitière) et Mérinos (allaitante) ont notamment permis de réaliser des IA sur chaleurs naturelles à contre-saison après effet mâle. Les résultats de fertilité (taux d'agnelage) obtenus ont été compris entre 50 % et 75 % selon la race et le lot d'IA, avec de la semence réfrigérée. Les meilleurs résultats de fertilité sont observés lorsque les brebis sont inséminées entre 0 et 35 h après la détection des chaleurs (Maton et al 2014, Debus et al 2016, Fréret et al 2018). Ces travaux sont poursuivis actuellement, notamment pour ajuster

le moment d'IA par rapport au moment de la détection des chaleurs, et tester la possibilité d'inséminer les brebis avec de la semence congelée.

Des travaux sur la détection automatisée des chaleurs sont également menés chez les caprins. Les colliers-activimètres Heatime® (SCR Engineers Ltd.), portés par les chèvres, permettent de détecter un pic d'activité au moment des chaleurs induites par traitement hormonal (Fréret et al 2015). Ils sont actuellement testés en race Alpine dans le cadre de protocoles d'IA après effet mâle en contre-saison.

Tableau 4 Protocoles d'IA après effet mâle étudiés chez les caprins (n : nombre de chèvres. ND : non disponible, TH : traitement hormonal)

EFFET BOUC											RACES	SOURCE
Protocole	Ovulation ciblée pour l'IA			Détection d'œstrus avant IA	Nb IA par chèvre	Nb moments d'IA par lot	type de semence	% gestation ou mise bas	TH			
	Chèvres en œstrus	Jour œstrus moy ± ET	Jour pic LH moy ± ET						% gestation ou mise bas	% gestation ou mise bas		
A	Effet mâle seul	60 % (n=650)	Jours 6-10 (n=390)	ND	OUI	1	5	fraîche, non diluée	82% (n=390)	ND	Chèvre sauvage (Australie)	Restall 1988
		90 % (n=330)	Jours 5-9 (n=296)	ND	OUI	1	9	congelée	56% (n=296)	60% (n=81)	Cachemire	Moore et Hall 1991
		72 % (n=79)	Jours 5-9 (n=57)	7,4 ± 1,0 j (n=53)	OUI	1	9	congelée	49% (n=57)	ND	Alpine Saanen	Pellicer-Rubio et al 2016
B	Effet mâle, progestérone et cloprosténol	88 % (n=24)	37 ± 6 h après cloprosténol (n=21)	41 ± 5 h après le cloprosténol (n=10)	NON	1	1	réfrigérée	65% (n=1584)	47 % (n=600)	Murciano-Granadina	Lopez-Sebastian et al 2007
C	Effet mâle et progestatifs	97 % (n=305)	42 ± 12 h (n=297)	50 ± 10 h (n=542)	NON	1	1	congelée	71% (n=136)	72 % (n=817)	Alpine Saanen	Pellicer-Rubio et al 2008
D	Effet mâle et cloprosténol	92 % (n=54)	52 ± 10 h après cloprosténol (n=50)	54 ± 6 h après le cloprosténol (n=39)	NON	1	1	réfrigérée ou congelée	45 % (n=721)	63 % (n=666)	Alpine Saanen Murciano-Granadina Malagueña Serrana Capra prisca Damascus Carpathian	Lopez-Sebastian et al (résultats non publiés) Bruni et al 2016
E	Effet mâle seul	94% (n=317)	7,2 ± 0,9 j (n=297)	7,4 ± 0,8 j (n=228)	OUI	1	2	congelée	61% (n=89)	65 % (n=319)	Alpine Saanen	Pellicer-Rubio et al 2016
NON					2							
G	Effet mâle seul	42 % (n=791) de J5 au jour de détection positive	jour détection "positive" 7,8 ± 0,4 j (n=357)	ND	OUI	1	1	réfrigérée ou congelée	58% (n=145)	60 % (n=325)	Alpine Saanen Murciano-Granadina Capra prisca Damascus Carpathian	Lopez-Sebastian et al (résultats non publiés) Bruni et al 2016

CONCLUSION

La saisonnalité de la reproduction est une contrainte majeure dans les filières ovines et caprines. L'effet mâle est une pratique d'élevage d'un grand intérêt pour limiter l'utilisation d'hormones lors d'une reproduction hors saison sexuelle, et notamment pour la mise en œuvre de l'IA chez les petits ruminants. La réussite de l'effet mâle repose sur une bonne maîtrise de la saisonnalité de l'activité sexuelle des mâles et des femelles. C'est grâce aux traitements photopériodiques que nous pourrions stimuler l'activité sexuelle des mâles et maîtriser l'état de cyclicité ainsi que la réceptivité des femelles, afin que la réponse à l'effet mâle soit efficace.

Les dernières avancées sur les traitements lumineux permettent aujourd'hui la mise en œuvre de l'effet mâle sur femelle non cyclique en toute saison, pour une reproduction en lutte naturelle, en monte en main ou par IA. Certains de ces traitements lumineux nécessitent l'utilisation de mélatonine à certaines périodes de l'année (notamment pour une reproduction en période estivale). Un nouveau traitement lumineux basé sur l'induction d'un état réfractaire aux jours longs apparaît comme une alternative à l'utilisation de mélatonine pour une reproduction en été.

Des protocoles d'IA après effet mâle ont été développés chez les caprins. Parmi eux, certains proposent des stratégies

basées sur l'association de l'effet bouc avec des progestatifs et/ou des prostaglandines, et permettent de pratiquer une seule IA à un moment prédéterminé. Ces protocoles mériteraient d'être adaptés à l'espèce ovine.

Des protocoles d'IA après effet bouc seul (sans hormones) sont également disponibles. Ils comportent 1 ou 2 moments d'IA, avec ou sans détection des chaleurs préalable. Chez les ovins, la détection des chaleurs est obligatoire pour la pratique de l'IA après un effet bélier seul. Dans les deux espèces, le développement de la détection automatisée des chaleurs facilitera le déploiement des protocoles d'IA sans utilisation d'hormones (Fréret et al 2018).

Néanmoins, la variabilité de la réponse à l'effet mâle en élevage reste un frein à la généralisation de cette pratique. L'identification des molécules olfactives émises par le mâle qui sont responsables de la stimulation de l'activité sexuelle des femelles (Lurette et al 2016), la caractérisation de biomarqueurs de la réceptivité de la femelle aux signaux stimulateurs du mâle, le développement de stratégies nutritionnelles pouvant améliorer la croissance et maturation des follicules ovariens (Fréret et al 2013) et/ou le recours à des plantes contenant des principes actifs pouvant moduler la fonction de reproduction, par exemple, offrent des perspectives de recherche d'intérêt pour améliorer, standardiser et faciliter la mise en œuvre de l'effet mâle. Ces

avancés en maîtrise de la reproduction sans hormones seront profitables en élevages conventionnels et biologiques, et contribueront à la gestion durable de l'agriculture.

Les recherches chez les caprins menant au développement des traitements lumineux sans mélatonine et des protocoles d'IA sous la marque communautaire FLOCK-REPROD® ont été cofinancées par l'Union Européenne (FP7 - Grant agreement n° 243520) et par la région Centre-Val de Loire (APR IR 2016, projet MALEFIC). Un grand merci aux consortiums de ces deux projets.

Abecia J.A., Chemineau P., Flores J.A., Keller M., Duarte G., Forcada F., Delgadillo J.A., 2015. Continuous exposure to sexually active rams extends estrous activity in ewes in spring. *Theriogenology*, 84, 1549-1555.

Abecia J.A., Chemineau P., Gómez A., Keller M., Forcada F., Delgadillo J.A., 2016. Presence of photoperiod-melatonin-induced sexually activated rams in spring advances puberty in autumn-born ewe lambs. *Anim. Reprod. Sci.*, 170, 114-120.

Adib A., Fréret S., Touze J.L., Lomet D., Lardic L., Chesneau D., Estienne A., Papillier P., Monniaux D., Pellicer-Rubio M.T., 2014. Progesterone improves the maturation of male-induced preovulatory follicles in anoestrous ewes. *Reprod.*, 148, 403-416.

Ahmadpour D., Lainé A.L., Fréret S., Pellicer-Rubio M.T., 2018a. Nouveau traitement photopériodique pour synchroniser les ovulations par effet mâle en saison sexuelle sans utilisation d'hormones. *Renc. Rech. Rumin.*, à paraître.

Ahmadpour D., Lainé A.L., Fréret S., Pellicer-Rubio M.T., 2018b. Les traitements lumineux basés sur des jours « très longs » sont-ils une alternative à l'utilisation de mélatonine chez la chèvre ? *Renc. Rech. Rumin.*, à paraître.

Alhamada M., Debus N., Lurette A., Bocquier F., 2016. Validation of automated electronic oestrus detection in sheep as an alternative to visual observation. *Small Rumin. Res.*, 134: 97-104.

Atkinson S., Williamson P., 1985. Ram-induced growth of ovarian follicles and gonadotrophin inhibition in anoestrous ewes. *J. Reprod. Fertil.*, 73, 185-189.

Baril G., Chemineau P., Cognié Y., Guérin Y., Leboeuf B., Orgeur P., 1993. Manuel de formation pour l'insémination artificielle chez les ovins et caprins. FAO Editions, Rome, Italie, 231p.

Bartlewski P.M., Beard A.P., Cook S.J., Rawlings N.C., 1998. Ovarian follicular dynamics during anoestrus in ewes. *J. Reprod. Fertil.*, 113, 275-285.

Bedos M., Portillo W., Dubois J.P., Duarte G., Flores J.A., Chemineau P., Keller M., Paredes R.G., Delgadillo J.A., 2016. A high level of male sexual activity is necessary for the activation of the medial preoptic area and the arcuate nucleus during the 'male effect' in anoestrous goats. *Physiol. Behav.*, 165, 173-178.

Boissard K., Forgerit Y., Bruneteau E., Borderes F., Weyers E., Pognard J.L., Fatet A., Pellicer-Rubio M.T., 2018. Synchroniser les ovulations en saison sexuelle grâce à un nouveau traitement photopériodique combiné à l'effet mâle chez les caprins. *Renc. Rech. Rumin.*, à paraître.

Bruni G., Grizelj J., Vince S., Boué P., Tauden M., Johnson L., Boissard K., Fréret S., Fatet A., Melpomeni A., Marantidis A., Zanatta G., Floris B., Branca A., Epifani G.P., Villa M., Pereira F., Pintor F., Cavaco-Gonçalves S., Barbas J.P., Baptista M., Mascarenhas R., Zamfirescu S., Sogorescu E., Hortase A., Anghelescu C., Durbalau D., López-Sebastián A., Coloma M.A., Santiago J., Toledano A., Carrizosa J.A., Urrutia B., Castillo J., Pellicer M.T., 2016. Large-scale technical and economical validation of the FLOCK-REPROD AI protocols. In: Sustainable Goat Breeding and Goat Farming in the Central and Eastern European Countries. Kukovics S. (Ed). European Regional Conference on Goats, Devrezen, Hungary, 271-275.

Caillat H., Bouvier F., Pellicer M.T., Leboeuf B., Baril, G., Malpoux B., Bodin L., 2011. Etude de la saisonnalité de

chèvres de race Alpine et Créole maintenues hors reproduction. *Renc. Rech. Rumin.*, 18, 418.

Campo J.L., Gil M.G., Da Silva S.G., Muñoz I., 2007. Effect of lighting stress on fluctuating asymmetry, heterophil- to lymphocyte ratio, and tonic immobility duration in eleven breeds of Chickens. *Poultry Sci.*, 86, 37-45.

Chanvallon A., Sagot L., Pottier E., Debus N., François D., Fassier T., Scaramuzzi R.J., Fabre-Nys C., 2011. New insights into the influence of breed and time of the year on the response of ewes to the 'ram effect'. *Animal*, 5, 1594-1604.

Chasles M., Chesneau D., Moussu C., Delgadillo J.A., Chemineau P., Keller M., 2016. Sexual active bucks are efficient to stimulate female ovulatory activity during the anoestrous season also under temperate latitudes. *Anim. Reprod. Sci.*, 168, 86-91.

Chasles M., Chesneau D., Moussu C., Delgadillo J.A., Chemineau P., Keller M., 2017. Advancement of puberty in autumn-born goat kids by exposure to sexually active bucks. *Reprod. Domest. Anim.*, 52 S3, 58.

Chemineau P., 1983. Effect on oestrus and ovulation of exposing Creole goats to the male at three times of the year. *J. Reprod. Fertil.*, 67, 65-72.

Chemineau P., 1985. Effects of a progestagen on buck-induced short ovarian cycles in the Creole meat goat. *Anim. Reprod. Sci.*, 9, 87-94.

Chemineau P., 1989. L'effet bouc: mode d'action et efficacité pour stimuler la reproduction des chèvres en anoestrus. *INRA Prod. Anim.*, 2, 97-104.

Chemineau P., Poulin N., Cognié Y., 1984. Sécrétion de progestérone au cours du cycle induit par l'introduction du mâle chez la chèvre créole en anoestrus: effet de la saison. *Reprod. Nutr. Dév.*, 24, 557-561.

Chemineau P., Normant E., Ravault J.P., Thimonier J., 1986. Induction and persistence of pituitary and ovarian activity in the out-of-season lactating goats after a treatment combining a skeleton photoperiod, melatonin and the male effect. *J. Reprod. Fertil.*, 78, 497-504.

Chemineau P., Malpoux B., Pelletier, J., Leboeuf, B., Delgadillo, J.A., Deletang, F., Pobel, T., Brice, G., 1996. Emploi des implants de mélatonine et des traitements photopériodiques pour maîtriser la reproduction saisonnière chez les ovins et les caprins. *INRA Prod. Anim.*, 9, 45-60.

Chemineau P., Pellicer-Rubio M.T., Lassoued N., Khaldi G., Monniaux D., 2006. Male-induced short oestrus and ovarian cycles in sheep and goats: a working hypothesis. *Reprod. Nutr. Dev.* 46, 417-429.

Chesneau D., Guillaume D., Chemineau P., Malpoux B., 2017. Continuous light after 2 month of long days stimulates ram testis volume and increases fertility in spring. *Animal*, 11, 1189-1195.

CIIRPO 2015. Des agnelles de renouvellement fertiles dès la première mise en lutte naturelle. Fiches techniques, CIIRPO - Institut de l'élevage - Inn'ovin, 2p.

Claus R., Over R., Dehnhard M., 1990. Effect of male odour on LH secretion and the induction of ovulation in seasonally anoestrous goats. *Anim. Reprod. Sci.*, 22, 27-38.

Cohen-Tannoudji J., Signoret J.P., 1987. Effect of short exposure to the ram on later reactivity of anoestrous ewes to the male effect. *Anim. Reprod. Sci.* 13, 263-268.

Contreras-Solis I., Vasquez B., Diaz T., Letelier C., Lopez-Sebastian A., Gonzalez-Bulnes A., 2009. Efficiency of estrus synchronization in tropical sheep by combining short-interval cloprostenol-based protocols and male effect. *Theriogenology* 71, 1018-1025.

Gognie Y., Gray S.J., Lindsay D.R., Oldham C.M., Pearce D.T., Signoret J.P., 1982. A new approach to controlled breeding in sheep using the 'ram effect'. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 14, 519-522.

Corke D.G., 1982. Use of teasing in an A.I. programme. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 13, 81-82.

De Bond J.A., Li Q., Millar R.P., Clardke I.J., Smith J.T., 2013. Kisspeptin signaling is required for the luteinizing

- hormone response in anoestrus ewes following the introduction of males. *Plos one*, 8, e57972.
- De Santiago-Miramontes M.A., Rivas-Muñoz R., Muñoz-Gutierrez M., Malpoux B., Scaramuzzi R.J., Delgadillo J.A., 2008.** The ovulation rate in anoestrous female goats managed under grazing conditions and exposed to the male effect is increased by nutritional supplementation. *Anim. Reprod. Sci.*, 105, 409-416.
- Debus N., Maton C., Lurette A., Guyonneau J-D., Viudes G., Tesniere A., Alhamada M., Menassol J-B., Bocquier F., 2016.** Artificial insemination of ewes grouped by a ram effect is feasible with the use of automated oestrus detector. In: *Proceedings Workshop "The male effect yesterday, today and tomorrow"*, Nouzilly, France, 8.
- Delgadillo J.A., Ungerfeld R., Flores J.A., Hernandez H., Fitz-Rodríguez G., 2011.** The ovulatory response of anoestrous goats exposed to the male effect in the subtropics is unrelated to their follicular diameter at male exposure. *Reprod. Domest. Anim.*, 46, 687-691.
- Delgadillo J.A., Vélez L.I., Flores J.A., 2016.** Continuous light after a long-day treatment is equivalent to melatonin implants to stimulate testosterone secretion in Alpine male goats. *Animal*, 10, 649-654.
- Fabre-Nys C., Kendrick K.M., Scaramuzzi R.J., 2015a.** The "ram effect": new insights into neural modulation of the gonadotropic axis by male odors and socio-sexual interactions. *Front. Neurosci.*, 9:111, 1-16.
- Fabre-Nys C., Chanvallon A., Debus N., François D., Bouvier F., Dupont J., Lardic L., Lomet D., Ramé C., Scaramuzzi R.J., 2015b.** Plasma and ovarian oestradiol and the variability in the LH surge induced in ewes by the ram effect. *Reprod.*, 149, 511-521.
- Fabre-Nys C., Chanvallon A., Dupont J., Lardic L., Lomet D., Martinet S., Scaramuzzi R.J., 2016.** The "ram effect": A "non-classical" mechanism for inducing LH surges in sheep. *Plos one*, 11, 1-22.
- Fatet A., Leboeuf B., Fréret S., Druart X., Bodin L., Caillat H., David I., Palhière I., Boué P., Lagriffoul G., 2008.** L'insémination dans les filières ovines et caprines. *Renc. Rech. Rumin.*, 15, 355-358.
- Fatet A., Tuauden M., 2013.** Reproduction des chèvres en toute saison: FLOCK-REPROD, une solution durable. Guide pratique FLOCK-REPROD, version française, 22p.
- Flores J.A., Véliz F.G., Pérez-Villanueva J.A., Martínez De La Escalera G., Chemineau P., Poindron P., Malpoux B., Delgadillo J.A., 2000.** Malereproductive condition is the limiting factor of efficiency in the male effect during seasonal anoestrus in female goats. *Biol. Reprod.*, 62, 1409-1414.
- Fitz-Rodríguez G., De Santiago-Miramontes M.A., Scaramuzzi R.J., Malpoux B., Delgadillo J.A., 2009.** Nutritional supplementation improves ovulation and pregnancy rates in female goats managed under natural grazing conditions and exposed to the male effect. *Anim. Reprod. Sci.*, 116, 85-94.
- Fréret S., Fassier T., Bouvier F., Caillat H., Pellicer-Rubio M.T., 2013.** Effet d'une supplémentation énergétique sur la réponse de chèvres alpines à l'effet mâle. *Renc. Rech. Rumin.*, 20, 363-366.
- Fréret S., Talbot J., Fatet A., Boissard K., Ranger B., Bruneteau E., Boisseau C., Laine A.-L., Borderes F., Desmarchais A., Caillat H., Dewez J., Johnson L., Pellicer-Rubio M.-T., 2015.** Evaluation d'un collier accéléromètre pour la détection automatisée des chaleurs induites par traitement hormonal chez des chèvres Alpines désaisonnées et en bâtiment. *Renc. Rech. Rumin.*, 22, 207-210.
- Fréret S., Fatet A., Debus N., Pellicer-Rubio M.T., 2018.** L'effet mâle, une méthode alternative pour la synchronisation en vue de l'insémination des petits ruminants. *Bull. GTV*, 90, 25-32.
- Gaunand A., Chemineau P., Dufourny L., Fatet A., Pellicer Rubio M., Vignon X., 2014.** Control of animal reproduction in small ruminants: seasonality - photoperiod. In : *Analyse Socio-économique des Impacts de la Recherche Publique Agronomique (ASIRPA)*. Département PHASE, INRA, Paris, France, 15p.
- Gonzalez-Bulnes A., Carrizosa J.A., Urrutia B., Lopez-Sebastian A., 2006.** Oestrous behaviour and development of preovulatory follicles in goats induced to ovulate using the male effect with and without progesterone priming. *Reprod. Fertil. Dev.*, 18, 745-50.
- Groupe Reproduction Caprine, 2012a.** Physiologie de la reproduction caprine. Institut de l'élevage, Collection l'Essentiel, Réf n° 0012 38 029, 8p.
- Groupe Reproduction Caprine, 2012b.** Les traitements photopériodiques et la reproduction caprine. Institut de l'élevage, Collection l'Essentiel, Réf n° 0012 38 080, 6p.
- Groupe Reproduction Caprine, 2013.** Le choix des chèvres et l'organisation du chantier d'IA. Institut de l'élevage, Collection l'Essentiel, Réf n°0013 31 019, 4p.
- Groupe Reproduction Caprine, 2014a.** L'effet mâle. Institut de l'élevage, Collection l'Essentiel, Réf n°0014 302 042, 6p.
- Groupe Reproduction Caprine, 2014b.** L'insémination sans hormones. Institut de l'élevage, Collection l'Essentiel, Réf n°0014302043, 3p.
- Idele, CNE 2017.** Chiffres clés du GEB. Caprins 2017 Productions lait et viande. Institut de l'Élevage et Confédération Nationale de l'Élevage (CR n°0017 501 038), 10 p.
- López-Sebastian A., Inskeep E.K., 1988.** Effects of progesterone pretreatment and duration of ram exposure on synchronization of estrus, conception and pregnancy by prostaglandin during seasonal anoestrus. *Anim. Reprod. Sci.*, 17, 185-195.
- López-Sebastian A., González-Bulnes A., Carrizosa J.A., Urrutia B., Díaz-Delfa C., Santiago-Moreno J., Gómez-Brunet A., 2007.** New estrus synchronization and artificial insemination protocol for goats based on male exposure, progesterone and cloprostenol during the non-breeding season. *Theriogenology* 68,1081-1087.
- López-Sebastian A., Coloma M.A., Toledano A., Santiago-Moreno J., 2014.** Hormone-free protocols for the control of reproduction and artificial insemination in goats. *Reprod. Domest. Anim.*, 49, 22-29.
- Loywyck V., Lagriffoul G., 2017.** Compte-rendu annuel sur l'insémination artificielle ovine – campagne 2016. Institut de l'Élevage Collection Résultats (CR n°0017 200 015), 32 p.
- Lurette A., Fréret S., Chanvallon A., Experton C., Frappat B., Gatien J., Dartois S., Martineau C., Le Danvic C., Ribaud D., Fatet A., Pellicer-Rubio M.T., 2016.** La gestion de la reproduction en élevages ovins et caprins, conventionnels et biologiques : états des lieux, intérêt et acceptabilité de nouveaux outils dans six bassins de production en France. *INRA Prod. Anim.*, 29, 163-184.
- Malpoux B., Moenter S.M., Wayne N.L., Woodfill C.J.I., Karsch F.J., 1988.** Reproductive refractoriness of the ewe to inhibitory photoperiod is not caused by alteration of the circadian secretion of melatonin. *Neuroendocrinol.*, 48, 264-270.
- Maton C., Debus N., Lurette A., Guyonneau J.D., Viudes G., Tesniere A., Bocquier F., 2014.** Insémination animale sans hormone après détection automatisée des chevauchements chez la brebis. *Renc. Rech. Rumin.* 21, 281-284.
- Martin G.B., Oldham C.M., Lindsay D.R., 1980.** Increased plasma LH levels in seasonally anovular Merino ewes following the introduction of rams. *Anim. Reprod. Sci.*, 3, 125-132.
- Moore R.W., Hall D.R.H., 1991.** Artificial insemination using the buck effect to partially synchronise cashemire does. *Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod.*, 51, 143-146.
- Pellicer-Rubio M.T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougard J.L., Bonne J.L., Senty E., Chemineau P., 2007.** Highly synchronous and fertile reproductive activity induced by the male effect during deep anoestrus in lactating goats subjected to treatment with artificially long days followed by a natural photoperiod. *Anim. Reprod. Sci.*, 98, 241-258.
- Pellicer-Rubio M.T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougard J.L., Bonne J.L., Senty E., Breton S., Brun F.,**

- Chemineau P., 2008.** High fertility using artificial insemination during deep anoestrus after induction and synchronisation of ovulatory activity by the "male effect" in lactating goats subjected to treatment with artificial long days and progestagens. *Anim. Reprod. Sci.*, 109, 172-188.
- Pellicer-Rubio M.T., Ferchaud S., Fréret S., Tournadre H., Fatet A., Boulot S., Pavie J., Leboeuf B., Bocquier F., 2009.** Les méthodes de maîtrise de la reproduction disponibles chez les mammifères d'élevage et leur intérêt en agriculture biologique. *INRA Prod. Anim.*, 22, 255-270.
- Pellicer-Rubio M.T., Touzé J.L., Baril G., Malpaux B., 2013.** The luteal outcome of anoestrus ewes induced to ovulate by the male effect is not related to the population of ovarian antral follicles before male exposure. *Anim. Reprod. Sci.*, 137, 23-30.
- Pellicer-Rubio M.T., Boissard K., Forgerit Y., Pougnaud J.L., Bonné J.L., Leboeuf B., 2016.** Evaluation of hormone-free protocols based on the "male effect" for artificial insemination in lactating goats during seasonal anoestrus. *Theriogenology*, 85, 960-969.
- Perkins A., Fitzgerald J.A., 1994.** The behavioural component of the ram effect: the influence of ram sexual behaviour on the induction of estrus in anovulatory ewes. *J. Anim. Sci.*, 72, 51-55.
- Piedhault F., Lazard K., Proust M., Foisnon B., Lictévout V., Lhériaux J.Y., Bossis N., 2014.** Réussir l'élevage des chevrettes, de la naissance à la mise-bas. Institut de l'élevage, Collection Théma, 20p.
- Pointron P., Cognie Y., Gayerie F., Orgeur P., Oldham M., Ravault J.P., 1980.** Changes in gonadotrophins and prolactin levels in isolates (seasonally or lactationally) anovular ewes associates with ovulation caused by the introduction of rams. *Physiol. Behav.*, 25, 227-236.
- Restall., 1988.** The artificial insemination of Australian goats stimulated by the "buck effect". *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 17, 302-305.
- Thimonier J., 1989.** Contrôle photopériodique de l'activité ovulatoire chez la brebis. Existence de rythmes endogènes. Thèse de doctorat, Université François-Rabelais de Tours, 112p.
- Thimonier J., Cognié Y., Lassoued N., Khaldi G., 2000.** L'effet mâle chez les ovins: une technique actuelle de maîtrise de la reproduction. *INRA Prod. Anim.*, 13, 223-231.
- Tournadre H., Pellicer M.T., Bocquier F., 2009.** Maîtriser la reproduction en élevage ovin biologique: influence de facteurs d'élevage sur l'efficacité de l'effet bélier. *Innov. Agron.*, 4, 85-90.
- Ungerfeld R., Pinczak A., Forsberg M., Rubianes E., 2002.** Ovarian responses of anoestrus ewes to the "ram effect". *J. Anim. Sci.*, 82, 599-602.
- Ungerfeld R., Carbajal B., Rubianes E., Forsberg M., 2005.** Endocrine and ovarian changes in response to the ram effect in medroxyprogesterone acetate-primed Corriedale ewes during the breeding and nonbreeding season. *Acta vet. scand.*, 46, 33-44.
- Walkden-Brown S.W., Restall B.J., Henniawati, 1993.** The male effect in the Australian cashmere goat. 3. Enhancement with buck nutrition and use of oestrus females. *Anim. Reprod. Sci.*, 32, 69-84.
- Walkden-Brown S.W., Martin G.B., Restall B.J., 1999.** Role of male-female interaction in regulating reproduction in sheep and goats. *J. Reprod. Fertil., Suppl.* 52, 243-257.
- Wayne N.L., Malpaux B., Karch F.J., 1990.** Photoperiodic requirements for timing onset and duration of the breeding season of the ewe: synchronisation of an endogenous rhythm of reproduction. *J. Comp. Physiol. Anim.*, 166, 835-842