



Cirad
Campus de Baillarguet

34 398 MONTPELLIER Cedex 5
France

Note bibliographique

La photopériode et la mélatonine chez les herbivores domestiques

Par ***Christian Meyer***

UR18 Systèmes d'élevage et produits animaux, Dep. Environnement et Société, Cirad, TA
C18/A, BP 5035, 34 398 Montpellier Cedex 5, France

Avril 2009

RESUME

Comme les animaux sauvages, les herbivores domestiques présentent des saisons sexuelles plus ou moins marquées ou des variations dans l'efficacité de la reproduction au cours de l'année. Ces variations sont liées à la gestion des troupeaux, aux disponibilités alimentaires, aux températures et aussi à la photopériode, c'est-à-dire à la durée relative entre le jour et la nuit au cours du nyctémère. Ces variations sont différentes avec l'espèce, la race et le lieu. Certaines espèces ont une saison sexuelle en jours courts (photopériode décroissante : ovins, caprins, camelins), d'autres en jours longs (bovins, équins).

Le mécanisme de l'action de la photopériode se fait par les voies nerveuse et hormonale, avec un temps de retard (40 à 60 jours chez la brebis). L'information lumineuse reçue par la rétine est transmise à l'épiphyse ou glande pinéale qui sécrète de la mélatonine la nuit. La durée de sécrétion de la mélatonine agit sur l'hypothalamus pour synchroniser l'horloge circadienne principale et réguler les pulses de LH par l'intermédiaire du GnRH.

Pour régulariser les variations d'activité sexuelle des différentes espèces des deux sexes, des traitements photopériodiques ou de l'administration de mélatonine (qui mime l'effet des jours courts) pouvant être associés à l'effet mâle pour les femelles peuvent être utilisés. Ainsi, par exemple la production annuelle de semence est fortement augmentée chez les boucs utilisés en insémination artificielle traités et leur puberté avancée. Les femelles peuvent aussi être mises à la reproduction avant la période d'activité sexuelle annuelle. Ces traitements agissent aussi sur la production laitière, la croissance des poils et sur la défense de l'organisme par exemple. Pour bénéficier de leurs effets sur la reproduction, ils doivent être adaptés aux conditions locales et aux races pour chaque espèce.

Mots-clés : Reproduction - Saison – Photopériode – Mélatonine – Ovin – Caprin – Bovin – Camélidés - Equidés

Photoperiod and melatonin in domestic herbivorous animals

SUMMARY

As the wild animals, the domestic herbivores follow sexual seasons more or less visible or variations on reproduction results all around the year. These variations are linked with the herd management, the feed availability, the temperatures and also the photoperiod, which is the relative length of day and night during the nycthemere (day-night cycle). These variations are different among species, breeds and the place in the world.

The mechanism involves nervous and hormonal pathways with a delay of effect (40 to 60 days in the ewe). The light information is received by the retina and transmitted to the pineal gland which secretes melatonin during the night. The length of melatonin secretion is effective on hypothalamus to synchronize the main circadian clock and regulate the LH pulses through the GnRH.

Photoperiodic treatments or melatonin administration (which simulate short days) alone or associated to the male effect for females can be used to regularise the sexual activity of different species of both sexes. So, the annual semen production of goats utilised in artificial insemination can be elevated and the age of puberty shortened. The females can be mated before the normal usual sexual activity period. These treatments have some effects also on the milk production, the hair growth and the immunology for example. To use them for their reproduction effect, these methods must be adapted to the local conditions and to the breeds for each species.

Keywords : Reproduction – Season – Photoperiod – Melatonin – Sheep – Goat – Cattle – Camels - Equidae

INTRODUCTION

Les variations saisonnières de la reproduction ont souvent des effets néfastes sur la production animale. La production de lait peut présenter des niveaux de variation élevés selon la saison, posant des difficultés à l'approvisionnement en laits et produits laitiers des consommateurs et aux industries de transformation du lait. Par ailleurs, les jeunes peuvent naître à une période de l'année qui n'est pas la plus favorable à leur commercialisation quand ils atteignent l'âge marchand. Il peut être plus économique de chercher à étaler la reproduction sur une plus grande partie de l'année ou sur toute l'année, ou de décaler la saison de reproduction.

Aussi, le but de cet article est de passer en revue l'action de la photopériode, son mécanisme et l'utilisation de la photopériode et de la mélatonine pour atténuer ou supprimer les effets saisonniers sur la reproduction, en pays tempérés et tropicaux.

I. DESCRIPTION DE LA PHOTOPERIODE ET DE SES EFFETS SUR LA REPRODUCTION CHEZ LES HERBIVORES

D'une manière générale, tous les animaux ont souvent à affronter des périodes climatiques difficiles au cours de l'année, pendant lesquelles les ressources alimentaires sont faibles ou nulles ou/et les températures éprouvantes.

Beaucoup d'animaux naissent surtout à la fin de l'hiver ou au printemps, lorsque les températures redeviennent clémentes et que l'herbe pousse, assurant une bonne alimentation de la mère. C'est le cas en pays tempérés des ovins, des caprins, des cervidés et des équins. La reproduction est alors nettement saisonnée. Les mises bas fin hiver – début du printemps permettent une meilleure survie et croissance des jeunes. Pour cela, lorsque la gestation est proche de 5 mois (ovins, caprins, cervidés), l'activité sexuelle a lieu surtout pendant l'automne ; lorsqu'elle est proche d'un an (équins) l'activité sexuelle a lieu surtout au printemps (47). Par contre, chez les bovins, la reproduction a lieu toute l'année, mais il existe des variations saisonnières de la fertilité (69). Ainsi, beaucoup d'herbivores connaissent une période de reproduction et une période de repos sexuel chaque année. La fonction sexuelle peut être complètement ou partiellement stoppée.

En pays tropicaux la reproduction des petits ruminants se produit toute l'année, mais là aussi, il y a des variations saisonnières de la fertilité et de la prolificité (50).

A) Chez les ovins

La saison sexuelle se tient pendant les jours décroissants et courts en zone tempérée, c'est-à-dire en automne permettant des agnelages au printemps (20). Selon la race, la saison sexuelle est plus ou moins longue : en pays tempérée elle est de 5 mois pour les brebis Ile-de-France et de 7 mois pour les brebis Préalpes du Sud (68). Ainsi Picard-Hagen *et al.* (57) distinguent en France : la saison sexuelle du 18 septembre au 15 décembre, l'avance de saison du 15 juin au 15 septembre et la contre-saison avant le 15 juin.

Dans les Caraïbes, de manière naturelle, les adultes ne présentent pas d'effet saisonnier alors que les jeunes brebis Créoles (à la Martinique) ou Black-belly (à la Barbade) présentent un effet saisonnier léger (42). Au Niger, la brebis Peule connaît des variations saisonnières d'activité sexuelle. La concentration de LH est réduite en février-mars et en septembre-octobre et nulle en mars (77).

Sachant que le cycle ovarien est de 17 jours en absence de fécondation, on peut calculer le nombre d'oestrus théoriques pendant un temps donné et exprimer le nombre d'oestrus observés en pourcentage du nombre théorique. Ce pourcentage varie avec le long de l'année, d'une manière peu variable pour une même race en un lieu donné. Les ovulations peuvent être étudiées par endoscopie et leur nombre observé rapporté au nombre théorique. En France, on constate qu'il existe une saison d'activité sexuelle et une période d'anoestrus et d'anovulation dont les dates diffèrent avec la race.

Chez les béliers, la taille du testicule varie selon la saison. En France, chez le bélier Ile-de-France, le poids moyen passe de 200 g de fin janvier à fin mai à 284 g de fin juin à fin octobre soit 42 % de plus. Il augmente brusquement en juin et il diminue progressivement à partir de novembre. Les poids des vésicules séminales varient aussi, avec un décalage de un mois. L'activité sexuelle est maximale en même temps que chez les brebis et elle diminue ensuite sans s'annuler. L'activité de spermatogenèse du bélier est maximale de juillet à novembre (20).

B) Chez les caprins

La chèvre est considérée comme polyoestrienne saisonnée (46). La saison sexuelle se tient aussi pendant les jours décroissants et courts en zone tempérée.

Chez les mâles, la taille du testicule varie aussi selon la saison. Chez le bouc, les mensurations testiculaires sont importantes pour la sélection (8). Chez le bouc, en Grèce, le sperme est de meilleure qualité pendant la saison sexuelle, fin été et en automne (37).

C) Chez les bovins

La saison intervient non seulement chez les vaches, mais aussi chez les génisses. Elle influe sur l'apparition de la puberté des génisses. Elle participe à l'anoestrus postpartum des vaches allaitantes tenues en stabulation entravée en hiver. Mais en France, la photopériode joue un rôle secondaire par rapport à la conduite du troupeau chez les bovins (9).

La photopériode agit sur la production et la composition du lait : la longueur des jours avant la mise bas influence la quantité de lait produite et les taux de matières grasses, de protéines du lait et l'équilibre en minéraux. (4, 5, 11) Les jours longs (16 heures de jour pour 8 heures d'obscurité) améliorent ces critères (22).

La photopériode agit aussi sur la croissance et sur l'immunité des jeunes bovins (29).

D) Chez les camelins

Les camelins ont une activité sexuelle saisonnière. Cette activité est stimulée par les jours décroissants comme chez les petits ruminants. Ainsi, la saison sexuelle est :

- en Arabie de novembre à avril,
- en Israël de décembre à mars,
- en Inde, de novembre à mars (75).

E) Chez les équins

Contrairement aux petits ruminants et aux camelins, la fécondation se produit surtout en période de jours longs et croissants, au printemps et en été en régions tempérées. Beaucoup de juments n'ovulent pas en hiver. La gestation étant longue (environ 11 mois), les naissances sont plus nombreuses à la fin du printemps. (36).

Comment s'expliquent ces variations saisonnières ? Quels sont les facteurs de régulation de l'activité sexuelle ?

II. MECANISMES DE L'ACTION DE LA SAISON

Pour régler l'activité sexuelle de la même manière chaque année, les facteurs en cause doivent se reproduire de la même manière d'une année à l'autre. C'est le cas de la photopériode, la durée d'éclairement journalière qui varie chaque jour en passant par un maximum et par un minimum chaque année. Elle suit une courbe sinusoïdale dont la longueur d'onde est de un an (20) (Figure 1).

A) La photopériode

L'importance de la lumière a d'abord été démontrée chez les oiseaux à partir de 1933. Le rôle de la photopériode a été mis en évidence **chez les petits ruminants** dès 1947 par Yeates : la saison sexuelle est liée au jour le plus long (solstice d'été) et au plus court (solstice d'hiver). Des essais ont montré que lorsque des petits ruminants sont transférés d'un hémisphère à l'autre, la saison de reproduction est décalée de 6 mois. De plus, en modifiant artificiellement la photopériode, si on inverse le rythme de la photopériode, le résultat est le même. Par contre, si on réduit le cycle photopériodique à 6 mois, 2 saisons sexuelles par an sont observées. Ces expériences démontrent que **la photopériode est le facteur déterminant** de la variation saisonnière de l'activité sexuelle chez la brebis (20).

Plus précisément, en rythme lumineux annuel normal, la phase d'activité sexuelle des brebis commence en jours courts, lorsque l'éclairement dure 8 à 12 heures, au milieu de la phase des jours décroissants (vers mi-août) et se termine au milieu de la phase des jours croissants (vers mi-février). Les limites de la saison d'activité sexuelle sont décalées d'environ 50 jours par rapport aux solstices (Figure 1). Par

contre, en rythme lumineux semestriel artificiel, il y a 2 saisons sexuelles beaucoup plus courtes par an, chaque phase d'activité sexuelle coïncidant avec la phase des jours croissants (20).

Chez le **bélier**, en France, l'augmentation de la photopériode journalière diminue les réserves spermatiques et inversement avec 48 jours de retard, la durée de la spermatogenèse. La multiplication spermatogoniale est maximale lorsque la photopériode claire décroissante est de 8 à 12 heures, avec un maximum pour 10 heures (53). La croissance du testicule dépend de la lumière de façon différente selon la race (19). En France, chez les béliers Texel et Vendéens, la reprise de la croissance des testicules se fait en juin, en jours longs (18).

Des facteurs secondaires interviennent aussi, telle **la température**, liée aussi aux saisons : les hautes températures tendent à inhiber les manifestations d'oestrus alors que les faibles températures tendent à les stimuler (20).

Le rôle de la lumière sur la reproduction des juments a été mis en évidence en 1947.

Les espèces à reproduction saisonnées ont été classées en :

- type jours courts (photopériode décroissante) : ovins, caprins, camelins
- type jours longs (photopériode croissante) : bovins, équins (9, 69).

Chez la brebis, lorsque la phase claire est fractionnée, plus que la durée totale d'éclairage, c'est le moment de l'éclairage au cours du nyctémère qui est important. Il existe des états réfractaires sous photopériode constante qui seraient liés à un rythme endogène de reproduction. Les jours longs faciliteraient la levée de l'état réfractaire (68).

Mais même en l'absence de photopériode, il existe un rythme de la reproduction dit endogène d'une durée de 8 à 10 mois. Le rôle de la photopériode serait de synchroniser ce rythme endogène sur 12 mois et sur 24 heures (47). Ainsi, la photopériode ne génère pas de cycles sexuels, mais elle les contrôle (30). Chez les ovins, les jours longs de printemps suivis par les jours courts synchronisent un mécanisme interne qui déclenche la saison sexuelle, maintenu par les jours courts (47).

B) La mélatonine

Comment la photopériode intervient-elle sur la sécrétion d'hormones gonadotropes ?

Chez les mammifères, c'est **la rétine** qui reçoit l'information lumineuse. Elle la transmet par voie nerveuse à **l'épiphyse ou glande pinéale**. De la rétine, l'information passe par les nerfs optiques jusqu'aux noyaux supra-chiasmatiques et au noyau paraventriculaire de l'hypothalamus, puis elle passe par voie nerveuse (dans la moelle épinière et des nerfs) jusqu'aux ganglions cervicaux supérieurs et ensuite à la glande pinéale. Celle-ci traduit cette information en sécrétant de la mélatonine (48). Ce sont les cellules ganglionnaires de la rétine qui contiennent un photopigment, la mélanopsine, et qui transmettent l'information concernant la photopériode (1) (Figures 3 et 4).

La **mélatonine** (N-acetyl-5-methoxytryptamine), sécrétée surtout par l'épiphyse, est produite aussi par les cellules du système immunitaire et par d'autres cellules, mais en petite quantité. Elle a un rôle sur la régulation de la reproduction et elle est antioxydante, anti-inflammatoire et agit sur la croissance des tumeurs (41).

Chez les **petits ruminants**, les taux plasmatiques de mélatonine sont faibles le jour (< 5 pg/ml) et élevés la nuit (100-500 pg/ml chez les ovins, 50-150 pg/ml chez les caprins). Lorsque la durée de la nuit augmente, la mélatonine a un taux plasmatique élevé plus longtemps (Figure 2). Chez les petits ruminants, le taux de mélatonine augmente rapidement la nuit, puis varie, sa sécrétion étant rythmique. Chez d'autres espèces (hamster doré, homme), la sécrétion, commençant plus lentement est maximale au milieu de la nuit.

Les taux de mélatonine dans le liquide céphalo-rachidien du 3^e ventricule sont près de 100 fois plus élevés que dans le plasma sanguin périphérique. Le liquide céphalo-rachidien semble la source principale de mélatonine pour les tissus du cerveau (43).

Chez les **bovins**, il en est de même.

Chez les veaux, les taux sanguins de mélatonine sont 6 fois plus élevés la nuit que le jour (9). Mais cela commence après l'âge d'une semaine (73). La concentration sanguine en mélatonine a été trouvée moins élevée chez le veau que chez la vache (65).

Chez les génisses, la pulsativité de la sécrétion a été montrée : pics durant environ 40 minutes toutes les 60 minutes environ (9). La mélatonine stimule la sécrétion d'hormone de croissance par l'hypothalamus (38).

Chez la vache adulte cyclée et non gravide, la sécrétion commence quand l'intensité lumineuse devient inférieure à 10-20 lux. Pendant la nuit le niveau de base devient 20-30 pg/ml et l'amplitude moyenne des pics est de 50-70 pg/ml (9).

Chez les **dromadaires**, un rythme nyctéméral de sécrétion de la mélatonine a été aussi mis en évidence. La sécrétion a lieu pendant la nuit, avec des variations individuelles de la concentration en mélatonine qui semble moins élevée que chez les ovins (100 à 600 pg/ml chez les ovins) : pics de 50, 50 et 233 pg/ml (75). Chez les dromadaires, au Maroc, la saison de reproduction a lieu de novembre à avril, en jours longs décroissants et pendant la saison des pluies. La concentration plasmatique de mélatonine augmente 1/2 heure avant le coucher du soleil, est maximale vers minuit, commence à diminuer 3 heures avant le lever du soleil atteint le niveau de base 1 heure après. Les pics peuvent être larges (en plateau) ou fins. Le niveau maximum du pic varie de 20 à 200 pg/ml. Le niveau de mélatonine est plus élevé chez les jeunes que chez les adultes. Il y a aussi des variations saisonnières significatives, avec des niveaux de pics plutôt plus élevés au solstice d'hiver qu'au solstice d'été. Dans cette espèce aussi, la durée des valeurs élevées de mélatonine dépend de la durée de la nuit (31).

Nous verrons plus loin que **l'administration de mélatonine** peut donner les mêmes résultats que la présence de jours courts chez les ovins. Ce qui compte alors est surtout **la durée des taux élevés de mélatonine**, plus que l'amplitude ou la phase (moment par rapport au nyctémère). L'administration peut se faire par ingestion, injection ou systèmes à libération constante : implants, éponges vaginales, dispositifs

intra-ruminaux, etc. C'est la durée de sécrétion de la mélatonine qui reflète la photopériode (48, 69).

Comment la mélatonine agit-elle ?

C) Autres facteurs

La mélatonine agit en modifiant la fréquence de la libération de l'**hormone LH**. Mais l'action de la mélatonine est indirecte. Elle agirait sur l'hypothalamus médiobasal en mettant en jeu des interneurons, aboutissant à la sécrétion de **GnRH** (Figures 3 et 4). Ce mécanisme complexe entraîne un temps de retard : il se passe environ 40 à 60 jours avant que la sécrétion de LH soit modifiée chez les ovins (48).

La **dopamine** a un effet inhibiteur sur la sécrétion de LH. Inversement l'administration d'un antagoniste dopaminergique (la pimozide) stimule la sécrétion de LH. La dopamine est mise en jeu surtout au niveau de l'**éminence médiane** à la base de l'hypothalamus (qui secrète le GnRH). L'exposition à des jours courts ou l'application d'un implant de mélatonine diminuent la concentration de dopamine à ce niveau. La mélatonine agirait au niveau de l'**hypothalamus médiobasal** et de l'éminence médiane (les neurones dopaminergiques se projettent sur l'éminence médiane) en modulant l'activité dopaminergique (47, 48).

Le noyau dopaminergique A15 de l'**aire rétrochiasmatisique latérale** (en arrière du chiasma optique) de l'hypothalamus est impliqué dans le contrôle photopériodique de la reproduction chez la brebis. C'est le site d'action de l'oestradiol qui inhibe la sécrétion de LH en jours longs chez la brebis. Il se projette vers l'éminence médiane et dans la neurohypophyse (33)

Ainsi, la mélatonine agit sur des récepteurs du noyau suprachiasmatisique de l'hypothalamus qui est aussi le site de l'**horloge circadienne principale** des mammifères. Notons aussi que le système hypothalamique arqué génère aussi les rythmes à long terme de l'ingestion volontaire, le poids vif et la balance énergétique chez le mouton (45). La mélatonine a pour rôle principal de **synchroniser les rythmes biologiques** : rythmes saisonniers, rythme veille/sommeil, rythme de température (17). L'horloge biologique est un système composé et hétérogène constitué de sous-ensembles et de compartiments. Les noyaux suprachiasmatisiques de l'hypothalamus sont l'oscillateur principal de ce système complexe et contrôlent les autres oscillateurs du système circadien (24).

La **noradrénaline** semble aussi inhiber la sécrétion pulsatile de LH en saison d'anoestrus. Inversement l'administration d'un antagoniste noradrénergique (la phénoxybenzamine) stimule la sécrétion de LH. La noradrénaline pourrait être impliquée dans le rétrocontrôle négatif exercé par l'oestradiol sur la sécrétion de LH pendant les jours longs (48).

La **sérotonine** semble aussi inhiber la sécrétion pulsatile de LH en saison d'anoestrus. L'administration d'un antagoniste (la cryptoheptadine) stimule la sécrétion de LH en période d'anoestrus. La sérotonine pourrait avoir un rôle important dans l'état réfractaire des brebis en jours courts (48).

Chez la brebis, il existe aussi un rythme circannuel de la **prolactine**, régulé par la longueur du jour et par l'hormone LH (78 au Niger).

Chez la chèvre, le taux de **cortisol** du sérum varie avec les saisons, mais pas journalièrement. Il est plus élevé en hiver (6).

Chez la brebis, en jours longs, l'anoestrus saisonnier résulte d'une réponse de l'hypothalamus au feedback négatif de l'**oestradiol** sur l'axe hypothalamique. Il a été montré que la concentration en oestradiol dans le fluide cérébrospinal est réglée par un mécanisme qui fait intervenir l'épiphyse. La concentration d'oestradiol est plus importante en jours longs qu'en jours courts dans le fluide cérébro-spinal, d'où une rétro-action négative sur l'hypothalamus et l'hypophyse entraînant l'anoestrus saisonnier (67)

III. UTILISATIONS DE LA PHOTOPERIODE OU/ET DE LA MELATONINE POUR LA REPRODUCTION

Il convient en premier lieu d'utiliser des bâtiments d'élevage suffisamment lumineux pour une bonne gestion du troupeau (10).

Selon les cas un traitement photopériodique ou l'emploi de mélatonine (en implants par exemple) peut être utilisé seul ou associés entre eux ou même associés à l'effet mâle afin de modifier le moment de la puberté ou de l'activité sexuelle des animaux domestiques.

Chez les mammifères domestiques, ces traitements sont utilisés en France surtout chez les mâles, dans les centres de production de sperme, pour avancer la puberté des mâles et pour produire plus de semence pendant l'année en maintenant une forte production en contre-saison (58). Ils sont moins utilisés chez les femelles par les éleveurs : brebis, chèvres et juments. Par contre l'usage est très répandu chez les volailles (69).

La notation 16L :8N par exemple signifie que pendant un nycthémère (24 heures) il y a 16 heures de lumière (L) pour 8 heures de nuit (N), ce qui correspond à un jour long.

A) Chez les mâles

1. Béliers

La **puberté** peut être avancée en injectant un implant de mélatonine ou en mimant 3 mois de jours décroissants en France. En race Lacaune, des jeunes mâles sont traités ainsi. Le développement des testicules est plus rapide lors d'exposition précoce à de longues journées de lumière puis à des jours plus courts (19). La

qualité de la viande des agneaux mâles est modifiée par le traitement photopériodique : les taux de graisse et de protéines sont modifiés (40).

Dans les centres d'insémination artificielle, une **activité spermatique intense** est recherchée en toutes saisons, même en contre-saison. Pour cela, une période de jours longs (réels ou mimés par un éclairage nocturne) précède la pose de l'implant. La croissance testiculaire est augmentée, le comportement sexuel, la production spermatique et la fertilité après IA améliorés (15). Une alternance de mois de jours longs et de mois de jours courts maintient aussi une activité spermatique élevée pendant plusieurs années (15). Enfin, le traitement photopériodique suivi d'implant de mélatonine permet d'obtenir des mâles très actifs, très efficaces pour bénéficier de l'**effet mâle** (63).

2. Boucs

Comme chez le bélier, une alternance de mois de jours longs et de mois de jours courts maintient aussi une activité spermatique élevée pendant au moins 3 ans des **boucs utilisés en insémination artificielle** au lieu d'avoir 6 mois d'activité sexuelle par an. Le nombre de semences produites par an augmente ainsi de 41 à 61 % par rapport aux mâles non traités. La fertilité des chèvres inséminées avec cette semence est normale (15).

En France, actuellement, 2 mois de jours courts (8 heures de lumière sur 24 heures) sont suivis de 2 mois de jours longs (16 heures de lumière sur 24 heures) pendant 18 mois. Les jeunes boucs sont collectés en continu 2 fois par semaine avant leur testage puis 3 à 4 fois par semaine pendant leur testage pour produire 2500 à 3000 doses par mâle. Les boucs sont renouvelés avant que les résultats du contrôle de testage sur descendance soient connus. Cela permet d'obtenir un intervalle entre génération court et de limiter la consanguinité (Capri-IA, 2008). La technique permet donc d'**augmenter fortement la production de doses** de semence dans le même temps. Les variations saisonnières du poids des testicules et de la production de sperme peuvent être abolies (16).

Au Mexique (latitude proche de 19°N à Mexico), les essais ont montré que l'exposition des boucs Alpine et Saanen alternée rapidement entre jours longs (16L :8N pendant 1 à 2 mois) et jours courts (8L :16N pendant 1 à 2 mois) diminuait aussi la saisonnalité de l'activité sexuelle, permettant une plus grande production annuelle de semence. Les variations du poids des testicules sont atténuées (25). Cette augmentation de la grande production annuelle de semence a atteint 69,0 % avec des jours longs ou courts tous les mois et 54,7 % avec des jours longs ou courts tous les 2 mois (26).

Comme chez le bélier, le traitement photopériodique (2,5 mois de jours longs) suivi d'implant de mélatonine permet d'obtenir des mâles très actifs, très efficaces pour bénéficier de l'**effet mâle** en période d'anoestrus des chèvres locales, de mars à août au Mexique. La réponse à l'effet mâle dans cette période de l'année est meilleure si les mâles sont traités ainsi (27, 28, 74).

Chez les jeunes boucs de 6 mois environ, l'injection de mélatonine (3 mg) ou de GnRH (0,8 microg) a permis d'augmenter la production (concentration) de sperme au Mexique. La dose de 6 mg de mélatonine a eu un effet opposé (71).

B) Chez les femelles

1. Brebis

Nous avons vu que les jours courts stimulent l'activité sexuelle des brebis et que les jours longs l'inhibent. Mais les jours à durée constante entraînent un état réfractaire. Pour contrôler l'activité sexuelle, il faut **que les jours courts et les jours longs soient alternés**. Les jours courts ou décroissants peuvent être mimés par la mise à l'obscurité en bâtiment contrôlé ou par l'administration de mélatonine (pendant 70 jours environ). Pour reproduire des jours longs, les brebis peuvent être éclairées pendant 16 heures sur 24 heures, ou pendant une phase dite « photosensible », 15 à 18 heures après l'aube. En pratique, l'hiver en France, le bâtiment est éclairé artificiellement à la fin de la nuit (par exemple à partir de 6 heures du matin), jusqu'à l'aube naturelle, puis de 15 heures à 18 heures après (par exemple entre 22 et 24 heures) (58).

Avance de la saison sexuelle

Chez les races saisonnées ou en contre-saison pour les races peu saisonnées, la **mélatonine seule** peut être utilisée. Cela a été fait en France, en Angleterre, en Australie et en Nouvelle-Zélande. Le plus souvent, non seulement la saison sexuelle est avancée, mais aussi la période de lutte est raccourcie et fertilité et prolificité augmentées, ce qui se traduit finalement par un nombre plus grand d'agneaux nés par brebis mises à la monte (Tableau I) (58).

En contre-saison

Le traitement photopériodique seul donne de moins bons résultats de fertilité chez les races de brebis très saisonnées en contre-saison. En effet, les femelles qui n'ont pas été fécondées à l'oestrus induit ne reviennent pas en chaleur après un cycle, mais après plusieurs semaines ou quelques mois. Par contre, la fertilité et la fécondité sont augmentés par rapport aux témoins si le **traitement photopériodique** est **accompagné** d'un traitement hormonal d'induction/synchronisation des chaleurs au moyen d'une **éponge vaginale** imprégnée de progestagène et d'injection de PMSG (Tableau II) (14, 58).

Ainsi, déjà en 1975, Robinson et al., en Ecosse avaient augmenté brusquement la longueur des jours à 18 heures après le 60^e jour de gestation, puis réduit cette durée progressivement de 3,5 minutes par jour à partir du 90^e jour de gestation et utilisé des éponges vaginales pour augmenter les performances de reproduction. Les brebis croisées ont eu un taux de conception de 87,8 % avec 2,1 agneaux par portée en moyenne.

Si le traitement photopériodique est **combiné à l'effet mâle**, la fertilité (64,5 % au lieu de 51,3 % ; Gomez-Brunet et al, 1995) et le taux de mise bas peuvent être aussi augmentés (1,94 ou lieu de 1,55 agneau par brebis) (3). Par contre, Abecia *et al.* (2) n'ont pas observé ces différences mais un avancement des mises bas avec 71 brebis Aragonesa.

Par ailleurs, le traitement photopériodique appliqué pendant le tarissement avant la mise bas (jours courts) et pendant la lactation (jours longs) augmente la concentration en prolactine et la **production de lait** chez des brebis laitières (50).

2. Chèvres

Chez les chèvres, le traitement à la mélatonine seul permet d'avancer seulement de 1,5 mois la saison sexuelle en France (Chemineau et al 1999). L'effet mâle seul aussi, surtout avec des races qui sont en anoestrus profond en contre-saison (53). Les éleveurs voudraient l'avancer plus, en contre-saison, en période d'anoestrus profond. C'est possible en faisant précéder d'**un traitement photopériodique** (au moins 2 mois de jours longs réels) **et en utilisant l'effet mâle** avec ou sans la mélatonine. Si la mélatonine est employée, les dates sont plus tardives. Les boucs traités sont introduits entre 35 et 70 jours après la fin du traitement lumineux (Tableaux III et IV). Il est recommandé d'éviter de traiter des femelles en gestation : les chevrettes qui en naissent pourraient être pubères 4 mois après les autres.

Les traitements « jours longs » + mélatonine et l'effet bouc avec des mâles traités aussi aux jours longs est satisfaisant avec des chèvres Alpines laitières tenues en chèvrerie ouverte (16).

En Afrique du Sud, le traitement complémentaire de mélatonine a aussi amélioré les résultats du contrôle photopériodique (Preez et al, 2001). Au Mexique, dans l'Etat de Coahuila, en conditions subtropicales où la différence entre la longueur des jours entre le solstice d'hiver et l'équinoxe de printemps est de 1 heure 40 minutes environ, l'utilisation de traitements lumineux de jours longs (16L 8N pendant 2,5 mois, du 1^{er} novembre au 15 janvier) sur des caprins locaux mâles Créole a permis aussi de **stimuler l'activité sexuelle de boucs** et d'utiliser ceux-ci **pour stimuler des chèvres en anoestrus** par effet mâle. Mais l'utilisation complémentaire de mélatonine ne s'est pas révélée nécessaire dans ces conditions (28).

Au Brésil, la période sexuelle commence en mars et finit en hiver. Il existe donc des variations annuelles dans la production de lait de chèvres. Le jour le plus long dure 13 heures 30 minutes le 21 décembre et le plus court 11 heures 4 minutes le 21 juin. Des chèvres Saanen (n = 77) exposées pendant 2 mois (de 20 mai au 20 juillet) à des jours longs 16L : 8D en éclairant le matin de 5 heures à 7 heures et le soir de 18 à 21 heures ont répondu à l'effet mâle au printemps. La méthode a permis d'avancer la saison sexuelle de 5 mois mais avec une fertilité plus ou moins réduite : le taux de mise bas a été de 53,8 % avec insémination artificielle et de 88,9 % en saillie naturelle alors qu'il était de 91,7 % dans le lot témoin sailli pendant la saison sexuelle (70).

En résumé, chez la chèvre l'association du traitement photopériodique à l'effet mâle est très bénéfique.

3. Vaches

Chez les bovins, le traitement photopériodique est rarement utilisé pour modifier la saison sexuelle. Après une photopériode courte, l'anoestrus post-partum est raccourci, ainsi que l'intervalle vêlage-fécondation. Malgré cela les jours longs (printemps, été) restent favorables à l'activité de reproduction si l'on respecte une bonne luminosité des bâtiments d'élevage. Les **conditions d'élevage** ont une action plus importante sur la reproduction que la photopériode (10).

Par contre, la photopériode a montré des effets positifs :

- sur le moment de la puberté des génisses (61),
- sur la **production laitière**, par exemple avec des jours longs 16L et 8N qui agissent par l'intermédiaire du facteur de croissance apparenté à l'insuline IGF1 et avec des jours courts en période de tarissement (22, 76), ou avec des jours longs avant la puberté (61),
- sur le taux de protéines du lait (11)
- sur la croissance des génisses et des bouvillons (39),
- sur le développement in vitro d'embryons (72),
- sur l'ingestion d'aliments (23),
- sur l'immunité (les jours courts).

L'action de la photopériode sur la production laitière s'explique par un niveau élevé prolongé de mélatonine en jours courts entraînant une diminution de la prolactine (Auld et al, 2007). Rappelons que les fortes chaleurs sont nuisibles aux manifestations d'oestrus et aux performances de reproduction.

4. Autres espèces

Pour les **équidés**, un traitement photopériodique 14,5L 9,5N pendant 35 jours à partir du solstice d'hiver est efficace en France pour avancer la saison de reproduction (35). Le traitement à la mélatonine a un effet inverse (13).

Enfin, signalons que chez **l'homme**, la mélatonine aurait montré des effets divers :

- contre l'insomnie et les troubles liés au décalage horaire (17, 44),
- en anesthésie : hypnotique, antinociceptif et anticonvulsivant (44, 52),
- contre les dépressions (35) ; le faible éclaircissement hivernal en zones de hautes latitudes l'hiver est à l'origine d'une chute du moral,
- contre les troubles de l'immunité (17, 44) ; elle induit l'activation de leucocytes neutrophiles et mononucléaires in vitro et doit avoir un rôle important pendant l'inflammation et la réponse immunitaire (55),
- antioxydant contre les radicaux libres (44),
- en traitement de l'hypertension (64),
- en protection contre les maladies cardio-vasculaires (66),
- sur la régulation de la croissance des poils et cheveux et de la pigmentation de la peau (33),

- contre le diabète (56), etc.

En effet, cette hormone renforcerait les fonctions physiologiques liées à l'obscurité (44).

CONCLUSION

Beaucoup d'études sur la photopériode et la mélatonine ont été faites en pays tempérés où les saisons sexuelles sont très tranchées chez les petits ruminants par exemple. Mais même en pays tropicaux, le traitement périodique ou l'utilisation de mélatonine peuvent s'avérer utiles, par exemple en complément de l'effet mâle. En effet, le traitement photopériodique appliqué aux mâles renforce l'effet mâle. Or c'est surtout du niveau de stimulation du mâle que dépend la réponse des femelles.

Une autre utilisation pratique importante est de faire produire un maximum de semence par an par des boucs utilisés en insémination artificielle, en avançant la puberté et en atténuant les variations saisonnières de production de sperme.

Les méthodes employées doivent être adaptées au lieu, à l'espèce et à la race considérés.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abadie J., Adrien J., Maquet P., 2008. Le sommeil. *La Recherche*, (416): 75-78.
2. Abecia J.A., Palacín I., Forcada F., Valaresa A., 2006. The effect of melatonin treatment on the ovarian response of ewes to the ram effect. *Domestic Animal Endocrinology*, **31** (1): 52-62.
3. Abi Salloum B., Claus R., 2004. Interaction between lactation, photoperiodism and male effect in German Merino ewes. *Theriogenology*, **63** (8): 2181-2193.
4. Aharoni Y., Brosh A., Ezra E., 2000. Short communication: prepartum photoperiod effect on milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **83** (12): 2779-2781.
5. Aharoni Y., Ravagnolo O., Misztal I., 2002. Comparison of lactational responses of dairy cows in Georgia and Israel to heat load and photoperiod. *Animal Science*, **75** (3): 469-476.
6. Alila-Johansson A., Eriksson L., Soveri T., Laakso Maija L., 2003. Serum cortisol levels in goats exhibit seasonal but not daily rhythmicity. *Chronobiology international*, **20** (1): 65-79.
7. Auldrist M.J., Turner S.A., McMahan C.D., Prosser C.G., 2007. Effects of melatonin on the yield and composition of milk from grazing dairy cows in New Zealand. *Journal of Dairy Research*, **74** (1): 52-57.

8. Azevedo D.M.M., Martins Filho R., Araujo A., Lobo R.N., Nunes J., 2006. Características seminais e biometria testicular de ovinos deslanados e caprinos: uma revisão. [Hair sheep and goat's seminal traits and testicular biometry: a review]. *Revista Científica Rural*, **11** (1): 133-142.
9. Berthelot X., Neuhart L., Gart F., 1991. Photopériode, mélatonine et reproduction chez la vache. *Rec. Med. Véter.*, **167** (n° spécial Reproduction des ruminants, 3-4): 219-225.
10. Bouilhol M., 1992. Mélatonine pour maîtriser la reproduction. *BTIA*, **65** (sept): 40-42.
11. Calamari L., Maianti M.G., Azzoni A., 2002. Effetti del fotoperiodo sulla quantità e qualità del latte e sulle condizioni metaboliche di bovine Frisone. [Effect of photoperiod on milk production and metabolic conditions of Italian Friesian dairy cows]. *Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia*, **53** (3): 189-206.
12. Capri-IA, 2008. Conduite sous traitement photopériodique. www.capri-ia.com [08.02.04].
13. Chemineau P., Vandaele E., Brice G., Jardon C., 1991. Utilisation des implants de mélatonine pour l'amélioration des performances de reproduction chez la brebis. *Rec. Med. Véter.*, (n° spécial « Reproduction des ruminants », mars-avril): 227-240.
14. Chemineau P., Berthelot X., Malpoux B., Guerin Y., Guillaume D., Pelletier J., 1991. Photopériode, mélatonine et maîtrise de la reproduction des mammifères d'élevage. *Bulletin des G.T.V.*, (1): 21-31.
15. Chemineau P., Malpoux B., Pelletier J., Leboeuf B., Delgadillo J.A., Deletang F., Tobel T., Brice G., 1996. Emploi des implants de mélatonine et des traitements photopériodiques pour maîtriser la reproduction saisonnière chez les ovins et les caprins. *NRA, Prod. Anim.*, **9** (1): 45-60.
16. Chemineau P., Baril G., Leboeuf B., Maurel M.C., Roy F., Pellicer-Rubio M., Malpoux B., Cognie Y., 1999. Implications des progrès récents en physiologie de la reproduction pour la conduite de la reproduction dans l'espèce caprine. *Productions Animales*, **12** (2): 135-146.
17. Claustrat B., Geoffriau M., Brun J., Chazot G., 1996. La mélatonine : de l'hormone au médicament ? : Rythmes biologiques et santé. *Patho. et Biol.*, **44** (7): 645-653.
18. Colas G., Guerin Y., Lemaire Y., Montassier Y., Despierres J., 1986. Variations saisonnières du diamètre testiculaire et de la morphologie des spermatozoïdes chez le bélier vendéen et chez le bélier Texel. *Repr. Nutr. Develop.*, **26** (3): 863-875.
19. Colas G., Guérin Y., Briois M., Ortavant R., 1987. Photoperiodic control of testicular growth in the ram lamb. *Anim. Reprod. Sci.*, **13** (4): 255-262.
20. Corde P.Y., 1973. Photopériodisme et activité sexuelle dans l'espèce ovine.

Thèse de méd. vét., ENVA, Créteil, 70 p.

21. D'Occhio M.J., Suttie J.M., 1992. The role of the pineal gland and melatonin in reproduction in male domestic ruminants. *Animal Reproduction Science*, **30**: 135-155.
22. Dahl G.E., Buchanan B.A., Tucker H.A., 2000. Photoperiodic Effects on Dairy Cattle: A Review. *J. Dairy Sci.*, (83): 885-893.
23. Dahl G.E., 2006. Effect of photoperiod on feed intake and animal performance. *In: Proceedings of the 2006 Tri-State Dairy Nutrition Conference, Fort Wayne, Ohio State University, Ohio, USA., Indiana, USA, 25-26 April, 2006, ML Eastridge. p. 33-36.*
24. Dardente H., Cermakian N., 2005. Les noyaux suprachiasmatiques : une horloge circadienne composée. [How many pieces to build a circadian clock?]. *Médecine Sciences*, **21** (1): 66-72.
25. Delgadillo J. A., Leboeuf B., Chemineau P., 1991. Decrease in the seasonality of sexual behavior and sperm production in bucks by exposure to short photoperiodic cycles. *Theriogenology*, **36** (5): 755-770.
26. Delgadillo J.A., Leboeuf B., Chemineau P., 1992. Abolition of seasonal variations in semen quality and maintenance of sperm fertilizing ability by photoperiodic cycles in goat bucks. *Small Ruminant Research*, **9** (1): 47-59.
27. Delgadillo J.A., Flores J.A., Veliz F.G., Perez-Villanueva J.A., Martinez De La Escalera G., 2000. Photoperiodic treatment of bucks markedly improves the response of seasonally anovulatory goats to the "male effect". *In: 7th International conference on goats, Tours et Poitiers, France, 15-21 mai 2000, IGA INRA, Institut de l'Elevage. INRA, IGA, Institut de l'Elevage, p. 396.*
28. Delgadillo J. A., Flores J.A., Véliz F.G., Hernández H.F., Duarte G., Vielma J., Poindront P., Chemineau P., Malpoux B., 2002. Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *J. Anim. Sci.*, (80): 2780-2786.
29. Dipanjali Konwar, Barman K., 2007. Impact of photoperiod on dairy cattle production - an awareness to dairy farmers. *Indian Dairyman*, **59** (3): 29-35.
30. D'Occhio M., Suttie J., 1992. The role of the pineal gland and melatonin in reproduction in male domestic ruminants. *Animal Reproduction Science*, **30**: 135-155.
31. El Allali K., Achaaban M.R., Vivien Roels B., Bothorel B., Tligui N.S., Pevet P., 2005. Seasonal variations in the nycthemeral rhythm of plasma melatonin in the camel (*Camelus dromedarius*). *Journal of Pineal Research*, **39** (2): 121-128.
32. Fischer T.W., Slominski A., Tobin D.J., Paus R., 2008. Melatonin and the hair follicle. Mini review. *J. Pineal Res.*, **44**: 1-15.

33. Gayrard V., Picard-Hagen N., Chemineau P., Malpoux B., Thiéry J.C., 1998. Neuroendocrine control of seasonal reproduction in the ewe. [Contrôle neuroendocrinien de la saisonnalité de la reproduction de la brebis]. *Revue Méd. Vét.*, **149** (4): 283-288.
34. Gómez Brunet A., López Sebastian A., Picazo R.A., Cabellos B., Goddard S., 1995. Reproductive response and LH secretion in ewes treated with melatonin implants and induced to ovulate with the ram effect. *Animal Reproduction Science*, **39** (1): 23-34.
35. Guardiola-Lemaitre B., 2005. Agonistes et antagonistes des récepteurs mélatoninergiques : effets pharmacologiques et perspectives thérapeutiques. *Ann. Pharm. Fr.*, **63** (6): 385-400.
36. Guillaume D., 1996. Action de la photopériode sur la reproduction des équidés. *INRA Prod. Anim.*, **9** (1): 61-69.
37. Karagiannidis A., Varsakeli S., Karatzas G., 2000. Characteristics and seasonal variations in the semen of Alpine, Saanen and Damascus goat bucks born and raised in Greece. *Theriogenology*, **53** (6): 1285-1293.
38. Kasuya E., Kushibik S., Sutoh M., Saito T., Ito S., Yayou K., Sakumoto R., Hodate K., 2006. Effect of melatonin injected into the third ventricle on growth hormone secretion in Holstein steers. *Journal of Veterinary Medical Science*, **68** (10): 1075-1080.
39. Kennedy A.D., Bergen R.D., Lawson T.J., Small J.A., Veira D.M., 2004. Effects of evening feeding and extended photoperiod on growth, feed efficiency, live animal carcass traits and plasma prolactin of beef heifers housed outdoors during two Manitoba winters. *Canadian Journal of Animal Science*, **84** (3): 491-500.
40. Klein Junior M.H., Siqueira E.R., Roca R. de O., 2006. Qualidade da carne de cordeiros castrados e nao-castrados confinados sob dois fotoperíodos. [Meat quality of feedlot castrated or intact male lambs exposed to two photoperiod lengths]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **35** (4, Supplément): 1872-1879.
41. Korkmaz A., Reiter R. J., 2008. Epigenetic regulation: a new research area for melatonin ? *J. Pineal Res.*, **44**: 41-44.
42. Le Gal O., 1987. Variations saisonnières du comportement d'oestrus et de l'activité ovulatoire chez les brebis créoles (de la Martinique) et Black-Belly (de la Barbade). Mémoire (DESS Productions Animales en Régions Chaudes), CIRAD-IEMVT, Maisons-Alfort (FRA), 39 p.
43. Legros C., Bernard S., Chesneau D., Malpoux B., 2006. The cerebrospinal fluid contributes to the presence of melatonin in the sheep brain. *Frontiers in Neuroendocrinology*, **27** (1): p. 130.
44. Lepineux D., Lahlou A., Tissandier O., Piette F., 2001. La mélatonine soigne-t-

elle le vieillissement ou seulement l'insomnie ? *Rev. Gériatr.*, **26** (1): 41-44.

45. Lincoln G.A., Rhind S.M. , Pompolo S. , Clarke I.J., 2001. Hypothalamic control of photoperiod-induced cycles in food intake, body weight, and metabolic hormones in rams. *American journal of physiology*, **281** (2): R76-R90.

46. Lopes Junior E.S., Rondina D., Simplicio A.A., Freitas V.J., 2001. Atividade estral e ovulatoria em caprinos. [Estrous and ovulatory activity in goats]. *Ciencia Veterinaria nos Tropicós*, **4**: 199-210.

47. Malpaux B., Viguie C., Thiery J.C., Chemineau P., 1996. Contrôle photopériodique de la reproduction. *INRA, Prod. Anim.*, **9** (1): 9-23.

48. Malpaux B., Vigié C., Skinner D.C., Thiéry J.C., Pelletier J. , Chemineau P., 1996. Seasonal breeding in sheep: Mechanism of action of melatonin. *Animal Reproduction Science*, **42** (1-4): 109-117.

49. Malpaux B., Vigié C., Skinner D.C., Thiéry J.C., Chemineau P., 1997. Control of the Circannual Rhythm of Reproduction by Melatonin in the Ewe. *Brain Research Bulletin*, **44** (4): 431-438.

50. Meyer C., Djoko-Teinkam D., à paraître. L'effet mâle chez les petits ruminants. *Soumis pour publication* en 2008.

51. Mikolayunas C.M., Thomas D.L. , Dahl G.E., Gressley T.F. , Berger Y.M., 2008. Effect of Prepartum Photoperiod on Milk Production and Prolactin Concentration of Dairy Ewes. *Journal of dairy science*, **91** (1): 85-90.

52. Naguib M., Gottumukkala V., Goldstein P., 2007. Melatonin and anesthesia: a clinical perspective. *J. Pineal Res.*, **42**: 12-21.

53. Ortavant R., Thibault C., 1956. Influence de la durée d'éclaircissement sur les processus spermatiques du bélier. *C. R. Soc. Biol.*, (150): 471-474.

54. Pellicer-Rubio M.-T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougard J.L., Bonné 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. *Animal Reproduction Science*, **98** (3-4): 241-258.

55. Pena C., Rincon J., Pedreanez A., Viera N., Mosquera J., 2007. Chemotactic effect of melatonin on leucocytes. *J. Pineal Res.*, (43): 263-269.

56. Peschke E., 2008. Melatonin, endocrine pancreas and diabetes. Mini review. *J. Pineal Res.*, **44**: 26-40.

57. Picard-Hagen N., Chemineau P., Berthelot X., 1996. Maîtrise des cycles sexuels chez les petits ruminants. *Le Point vét.*, **28** (N° spécial "Reproduction des ruminants"): 953-960.

58. Picard-Hagen N., Gayrard V., Chemineau P., Malpoux B., Berthelot X., 1996. Photopériode et reproduction chez les petits ruminants : rôle de la mélatonine. *Le Point vét.*, **28** (N° spécial "Reproduction des ruminants"): 927-932.
59. Preez E., Donkin E., Boyazoglu P., Rautenbach G., Barry D., Schoeman H., 2001. Out-of-season breeding of milk goats - the effect of light treatment, melatonin and breed. *Journal of the South African Veterinary Association*, **72** (4): 228-231.
60. Rius A.G., Connor E.E., Capuco A.V., Kendall P.E., Auchtung-Montgomery T.L., Dahl G.E., 2005. Long-day photoperiod that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, **88** (12): 4356-4365.
61. Rius A.G., Dahl G.E., 2006. Exposure to long-day photoperiod prepubertally may increase milk yield in first-lactation cows. *Journal of Dairy Science*, **89** (6): 2080-2083.
62. Robinson J.J., Fraser C., McHattie I., 1975. The use of progestagens and photoperiodism in improving the reproductive rate in the ewe. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **15** (2): 345-352.
63. Rosa H.J.D., Juniper D.T., Bryant M.J., 2000. Effects of recent sexual experience and melatonin treatment of rams on plasma testosterone concentration, sexual behaviour and ability to induce ovulation in seasonally anoestrous ewes. *J. Reprod. Fert.*, **120**: 169-176.
64. Simko F., Paulis L., 2007. Melatonin as a potential antihypertensive treatment. Mini review. *J. Pineal Res.*, **42**: 319-322.
65. Skrzypczak W.F., 1998. Circadian changes of the melatonin concentration in the blood of pregnant cows and calves. *Acta Veterinaria Brno*, **67** (3): 153-158.
66. Tengattini S., Reiter R. J., Tan D.X., Terron P., Rodella L.F., Reszzani R., 2008. Cardiovascular diseases: protective effects of melatonin. Mini review. *J. Pineal Res.*, **44**: 16-25.
67. Thiery J.C., Lomet D., Schumacher M., Liere P., Tricoire H., Locatelli A., Delagrangé P., Malpoux B., 2006. Concentrations of estradiol in ewe cerebrospinal fluid are modulated by photoperiod through pineal-dependent mechanisms. *Journal of Pineal Research*, **41** (4): 306-312.
68. Thimonier J., 1989. Contrôle photopériodique de l'activité ovulatoire chez la brebis. Existence de rythmes endogènes. Thèse de doctorat es sciences de la vie, Univ. de Tours, Tours, 112 p.
69. Thimonier J., 1996. Photopériode et reproduction. *INRA, Prod. Anim.*, **9** (1): 3-8.
70. Traldi A.S., Piolli L.M., Piolli F.J., 2000. Oestrus induction with artificial photoperiod in Saanen goats in Brazil. In: 7th International conference on goats (7me conférence internationale sur les caprins), Tours et Poitiers, France, 15-21 mai 2000, IGA INRA, Institut de l'Élevage. p. 406-407.

71. Trejo G.A., Ponce L.C., Vidal G.M.A., 2000. Effect of melatonin and GnRH treatments on semen quality in young male goats. *In: 7th International conference on goats, Tours et Poitiers, France, 15-21 mai 2000, IGA INRA, Institut de l'Elevage. p. 444-445.*
72. Tsantarliotou M.P., Attanasio L., Rosa A. de, Boccia L., Pellerano G., Gasparrini B., 2007. The effect of melatonin on bovine in vitro embryo development. *In : Macciotta N. PP, Battacone G., Enne G., Marongiu L., Pais A., Pulina G., Rassu P. ed. Meeting Proceedings of the ASPA 17th Congress, Alghero, 29 May-1 June 2007. Italian Journal of Animal Science, 6 (Supplement 1): 488-489.*
73. Valtonen M., Kangas A.P., Voutilainen M., Eriksson L., 2003. Diurnal rhythm of melatonin in young calves and intake of melatonin in milk. *Animal Science, 77 (1): 149-154.*
74. Véliz F.G., Moreno S., Duarte G., Vielma J., Chemineau P., Poindron P., Malpaux B., Delgadillo J.A., 2002. Male effect in seasonally anovulatory lactating goats depends on the presence of sexually active bucks, but not estrous females. *Animal Reproduction Science, 72 (3-4): 197-207.*
75. Vyas S., Ravault J.P., Faye B., Chemineau P., 1997. The nyctohemeral rythm of melatonin secretion in camel (*Camelus dromedarius*) [Rythme nyctéméral de la sécrétion de mélatonine chez le dromadaire (*Camelus dromedarius*)]. *Revue Elev. Méd vét. Pays trop., 50 (3): 261-263.*
76. Wall E.H., Auchtung-Montgomery T.L., Dahl G.E., McFadden T.B., 2005. Short-day photoperiod during the dry period decreases expression of suppressors of cytokine signaling in mammary gland of dairy cows. *Journal of Dairy Science, 88 (9): 3145-3148.*
77. Yenikoye A., 1984. Variations saisonnières de la sécrétion de LH chez la brebis ovariectomisée de race Peuhl bicolore. *In: Reproduction des ruminants en zone tropicale. Colloques de l'INRA n° 20, 8-10 juin 1983, INRA. p. 213-223.*
78. Yenikoye A., 1989. Seasonal variations in plasmatic PRL, FSH and LH feed back in Peul sheep in Niger [Variations saisonnières des teneurs plasmatiques de PRL, FSH et LH et du rétrocontrôle de FSH et LH chez la brebis peuhl au Niger]. *In: African small rum. res. and develop. Addis-Ababa, Wilson et Azeb édit., ILCA. ed., 1 vol., p. 287-302.*

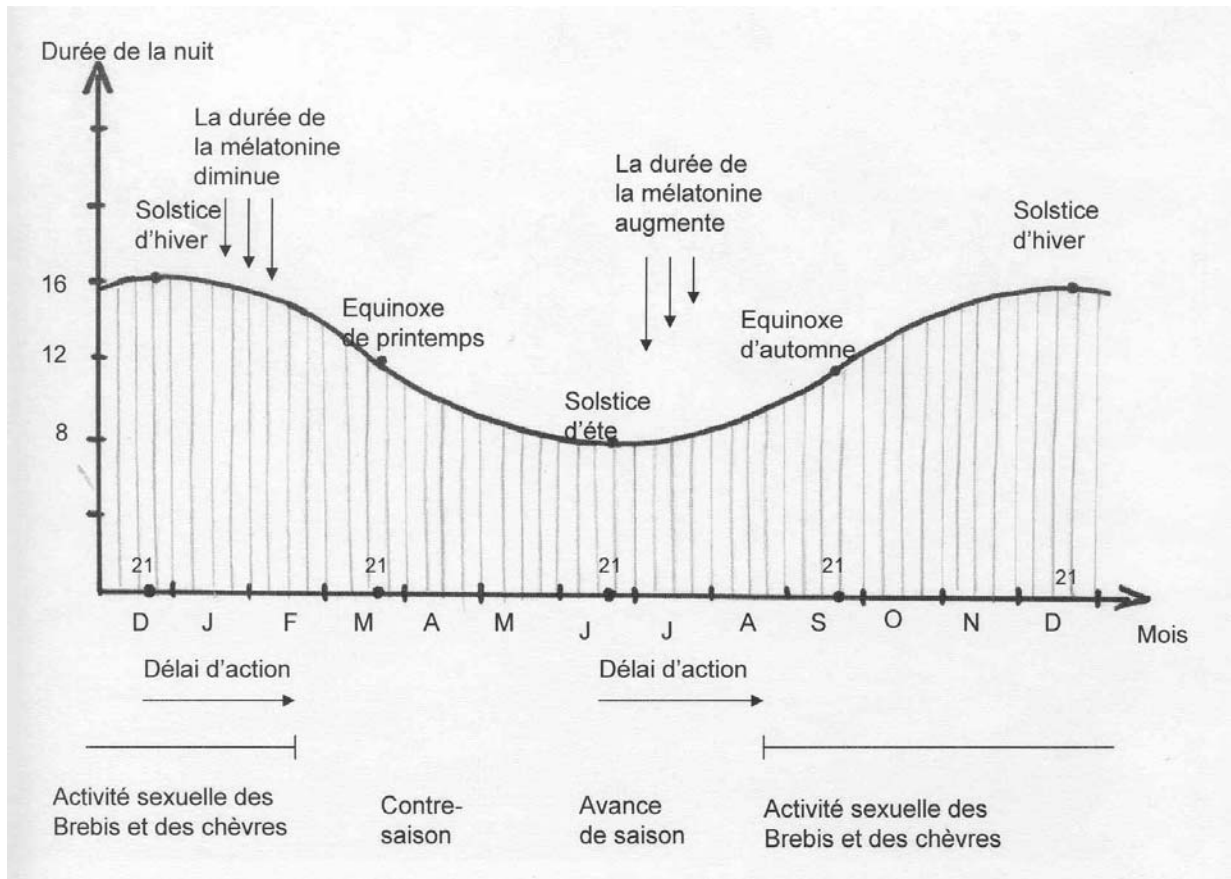


Figure 1 : En France, l'activité sexuelle des brebis Ile-de-France et des chèvres Alpine dépend des variations annuelles de la photopériode par le biais de la durée de sécrétion de la mélatonine

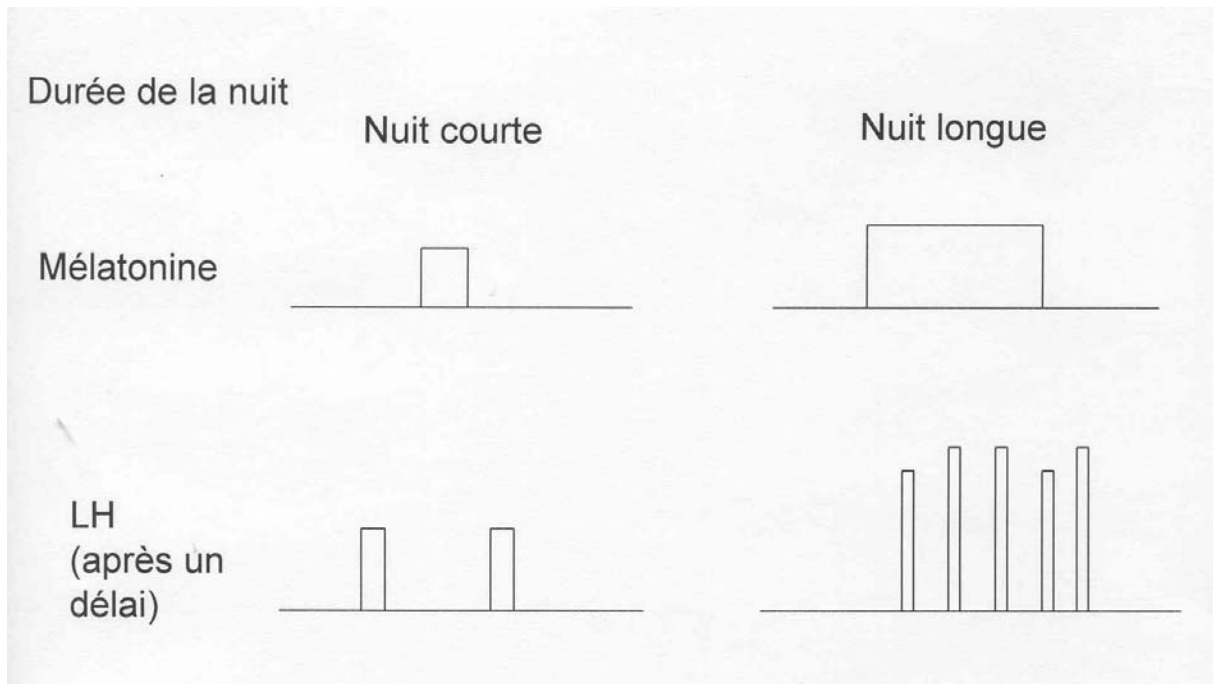


Figure 2 : Taux de mélatonine plasmatique et pulses de LH chez la brebis (d'après Gayraud *et al.*, 1998)

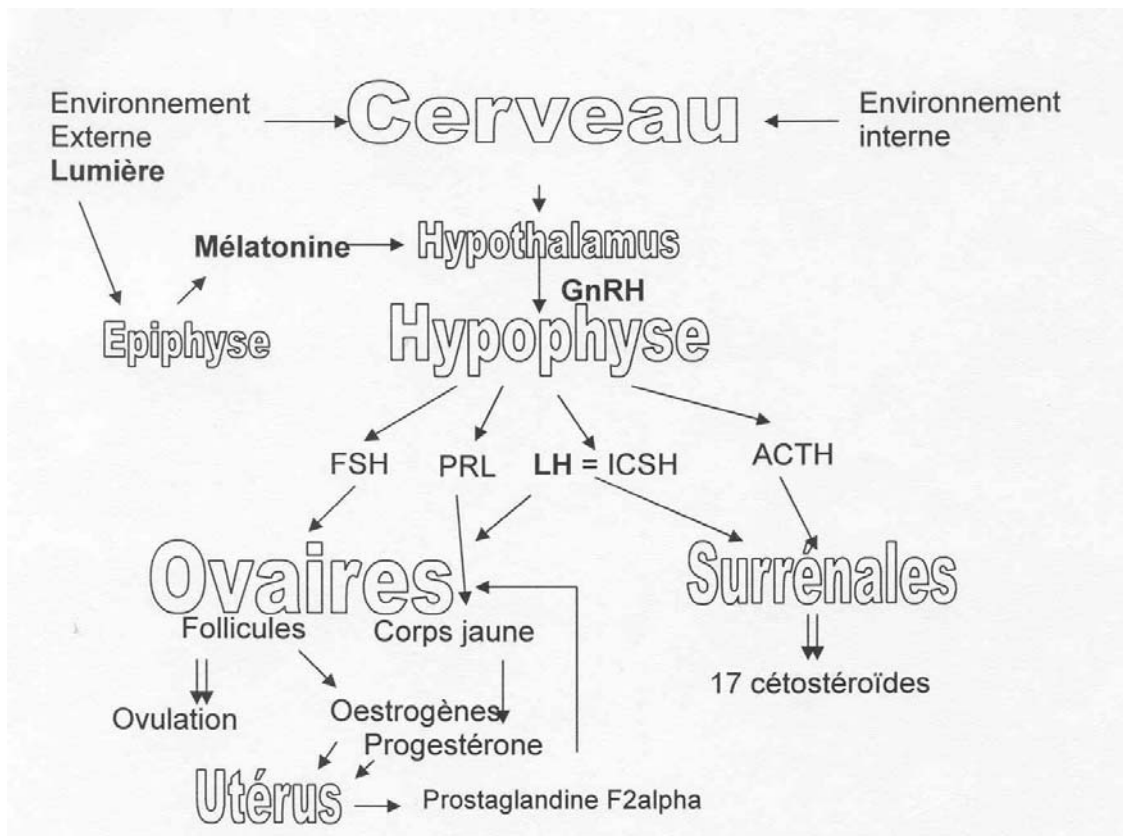


Figure 3 : Lumière et régulation hormonale de la reproduction chez la femelle

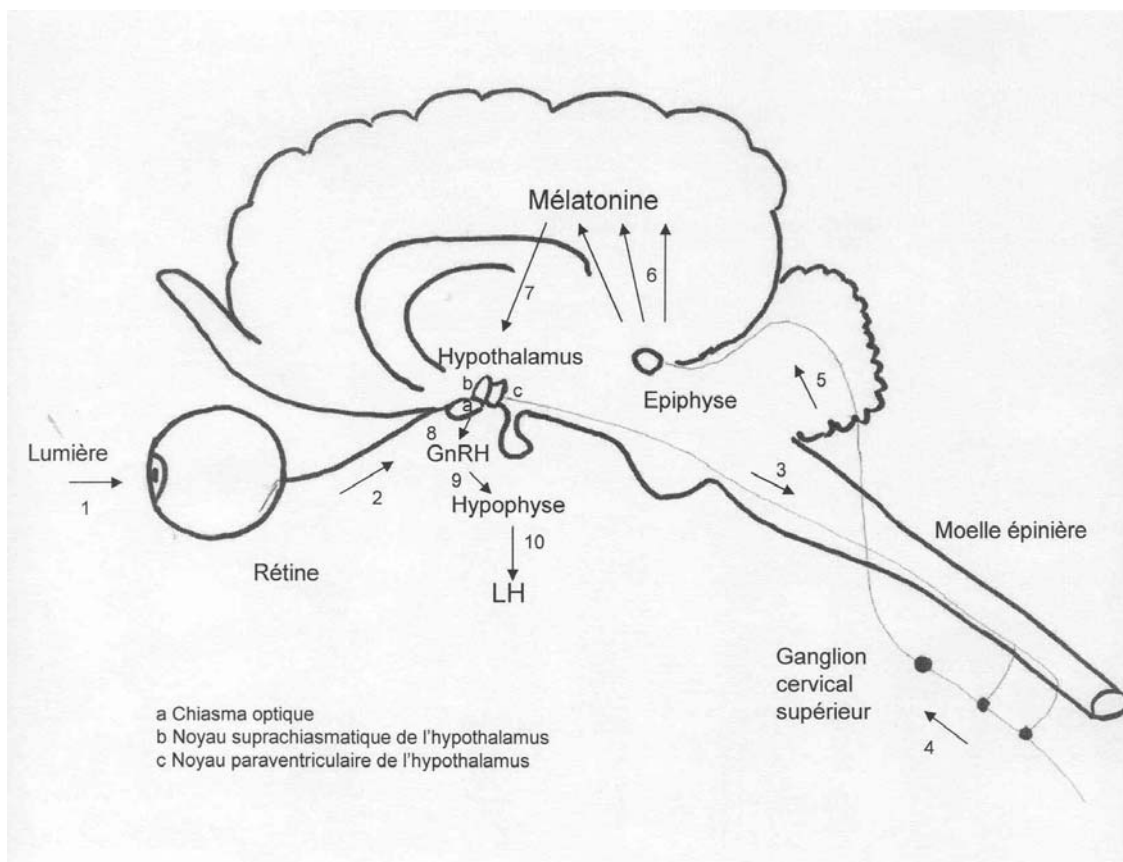


Figure 4 : Mécanisme d'action de la photopériode lumineuse sur la reproduction des mammifères