



HAL
open science

Saisonnalité de la reproduction et de la production chez les poissons, oiseaux et mammifères d'élevage

Philippe Chemineau, Benoit Malpaux, Jean-Pierre Brillard, Alexis Fostier

► To cite this version:

Philippe Chemineau, Benoit Malpaux, Jean-Pierre Brillard, Alexis Fostier. Saisonnalité de la reproduction et de la production chez les poissons, oiseaux et mammifères d'élevage. INRA Productions Animales, 2009, 22 (2), pp.77-90. 10.20870/productions-animales.2009.22.2.3336 . hal-02654721

HAL Id: hal-02654721

<https://hal.inrae.fr/hal-02654721v1>

Submitted on 29 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Saisonnalité de la reproduction et de la production chez les poissons, oiseaux et mammifères d'élevage*

P. CHEMINEAU^{1, 2, 3, 4}, B. MALPAUX^{1, 2, 3, 4}, J.-P. BRILLARD^{1, 2, 3, 4}, A. FOSTIER⁵

¹ INRA, UMR85 Physiologie de la Reproduction et des Comportements, F-37380 Nouzilly, France

² CNRS, UMR6175 Physiologie de la Reproduction et des Comportements, F-37380 Nouzilly, France

³ Université François Rabelais de Tours, F-37041 Tours, France

⁴ Haras Nationaux, F-37380 Nouzilly, France

⁵ INRA, UR1037 SCRIBE, F-35042 Rennes, France

Courriel : Philippe.Chemineau@tours.inra.fr

Les productions issues d'animaux d'élevage sont fréquemment saisonnières. Elles sont souvent la conséquence d'une saison de reproduction plus ou moins marquée. Des traitements photopériodiques artificiels sont utilisés largement pour ajuster la période de reproduction aux souhaits de l'éleveur et/ou pour abolir complètement les variations saisonnières de la production spermatique dans les centres producteurs de semence destinée à l'insémination artificielle (mammifères) et dans les élevages (volailles, poissons).

1 / Variations saisonnières¹ de la disponibilité des produits animaux

La disponibilité saisonnière des produits animaux pour la consommation humaine est une vieille histoire, commençant bien avant la domestication. Puis, chez une partie des espèces d'intérêt, l'éleveur a voulu développer des populations animales capables de fournir des produits tout au long de l'année. Mais, en dépit des processus de domestication, qui conduisent à réduire la dépendance des animaux d'élevage vis-à-vis des contraintes naturelles et qui aboutissent généralement à une réduction de leur saisonnement par rapport à celui de leurs «cousins» sauvages, un nombre important de produits animaux ne peuvent encore être mis sur le marché que de manière saisonnière, notamment ceux les plus liés au «terroir» (AOC, Agriculture Biologique...). Ceci est la conséquence de cycles de reproduction et de production qui sont eux-mêmes saisonniers, les populations

domestiques actuelles ayant hérité ces caractères des populations naturelles d'origine (cf. ci-dessous et Ortavant *et al* 1985). La saisonnalité des cycles de production est surtout le résultat des disponibilités alimentaires qui sont saisonnées. Les plantes sont, en effet, très dépendantes des facteurs climatiques qui sont eux-mêmes saisonnés. La saisonnalité des ressources alimentaires, essentiellement végétales, est donc également le résultat de facteurs saisonniers. On peut donc séparer, chez les animaux, les effets directs de la saison (à alimentation constante) des effets indirects (*via* les changements alimentaires).

D'un point de vue économique, la grande distribution contrôle de larges parts du marché des produits animaux avec des évolutions progressives mais constantes, comme chez les volailles, qui s'orientent vers la vente de produits transformés plutôt que de produits frais. Cela a accru la demande, maintenant partagée par les distributeurs et les consommateurs, en produits standards, pour lesquels des processus de conser-

vation ont été mis en place pour faciliter cette répartition. En effet la majorité des consommateurs, citoyens, culturellement plus éloignés du monde agricole et des ses contraintes, souhaitent avoir accès à la plupart des produits animaux, en quantité et en qualité, tout au long de l'année. De fait, les produits tels que le fromage de chèvre, la viande d'agneau, les œufs de poule et les filets de poissons sont désormais devenus disponibles toute l'année sur les étals des marchés.

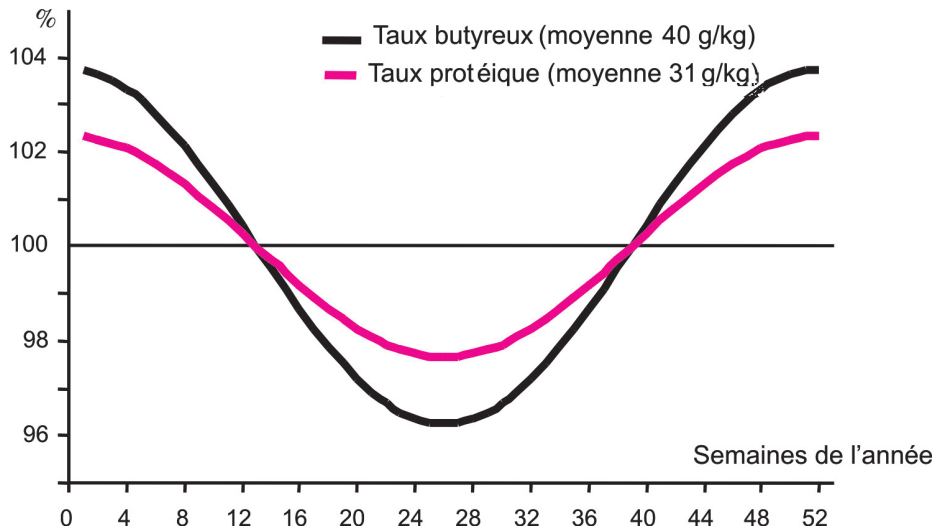
Ces dernières années, les systèmes d'élevage² européens ont profondément évolués et il existe, aujourd'hui, deux possibilités extrêmes pouvant être schématiquement définies comme : *a*) soit des systèmes intensifs dans lesquels les animaux sont supposés être moins exposés aux variations de leur environnement ; *b*) soit des systèmes extensifs dans lesquels les animaux sont exposés aux variations naturelles de l'environnement d'élevage. Dans tous les cas, ces changements rapides ont réactualisé la nécessité d'un contrôle de la reproduction en toutes saisons.

* Une version anglaise de ce texte a été publiée dans la revue *Animal* en 2007 (Chemineau *et al* 2007).

¹ La «saison» est définie ici comme les variations régulières de la durée d'éclaircissement quotidienne (photopériode) associées aux variations climatiques (température, humidité, vents) qui sont plus aléatoires.

² Les systèmes d'élevage se définissent comme une organisation cohérente des capacités adaptatives des animaux, des contraintes alimentaires assurée par les décisions de l'éleveur qui met en œuvre des pratiques d'élevage adaptées aux variations saisonnières qu'il s'agisse des ressources ou des prix de vente.

Figure 1. Variations saisonnières de la composition du lait de vache en France, en % de la moyenne annuelle (adapté de Coulon 1991).

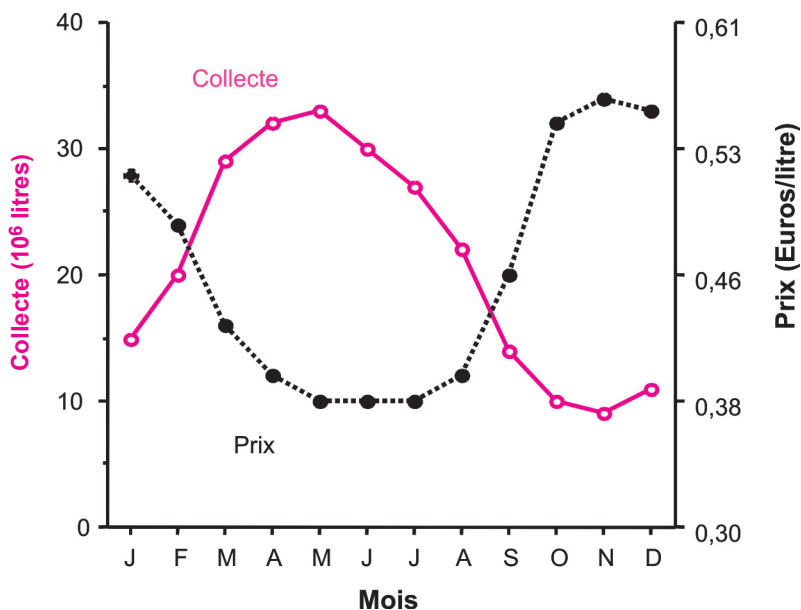


De plus, le développement des connaissances, physiologiques et génomiques, sur le contrôle de ces caractères doit faciliter les comparaisons entre espèces quant à leurs stratégies adaptatives. Ceci aidera la Recherche à choisir les meilleures périodes de reproduction, et aussi à développer de nouvelles techniques de maîtrise de la reproduction (Malpaux 2006).

En climat tempéré, une grande majorité de produits animaux exprime des variations saisonnières quantitatives et qualitatives. Ceci inclut les nombres d'agneaux et chevreaux produits, et la qualité des laits bovin, ovin et caprin collectés qui varient grandement au

cours de l'année. Cette saisonnalité induit des fluctuations importantes de l'aptitude de ces produits à être transformés par l'industrie agro-alimentaire et/ou du prix payé au producteur. Ainsi, le lait de vache contient des taux de matière grasse et de protéine bas au printemps et en été, mais élevés en automne et en hiver (figure 1). Ou encore, la production de lait de chèvre, très saisonnière, passe, en France, de plus de 30 millions de litres au mois de mai à environ 10 millions en novembre (figure 2), ce qui entraîne une augmentation importante du prix payé au producteur (+ 53%). De la même façon, la production moyenne d'agneaux est faible en octobre et élevée en avril, indui-

Figure 2. Variations saisonnières de la collecte et du prix du lait de chèvre en France (année 1992 ; adapté de Chemineau et al 1996).



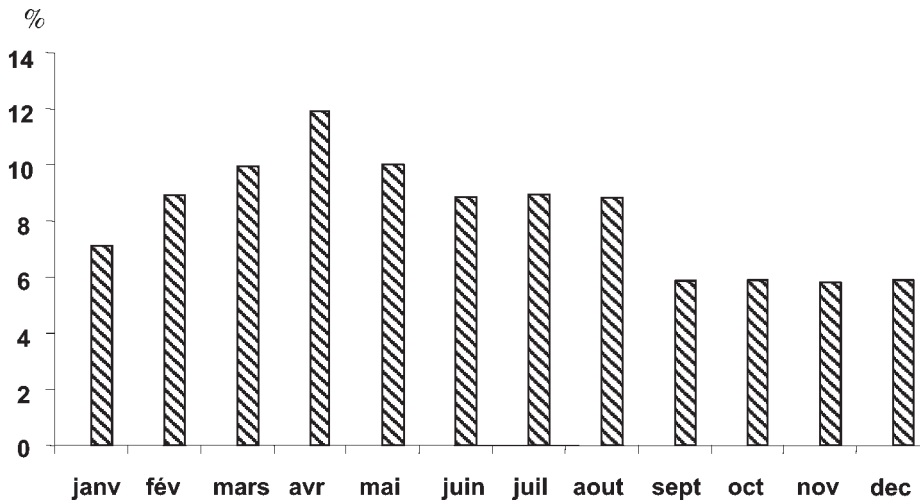
sant des changements significatifs du prix de commercialisation de leur viande dans cette espèce (figure 3). Dans les systèmes extensifs de production de volailles, qui restent minoritaires en Europe et dans les autres pays développés, la disponibilité en viande et œufs est également saisonnière, avec de grandes différences entre espèces. Ainsi, la période de ponte «naturelle» de poules en élevage sur parcours s'étend de début mai à mi-octobre, alors qu'elle va de fin avril à mi-septembre chez la pintade. De la même façon, les produits piscicoles peuvent avoir une commercialisation saisonnière en fonction des espèces et les systèmes de production.

Les raisons de ces variations seront discutées plus loin. L'industrie laitière a été, depuis longtemps, capable de s'adapter techniquement pour remédier à ces variations et fournir régulièrement des produits standardisés au consommateur, mais ceci requiert des procédés technologiques coûteux. Aussi, ces dernières années, l'industrie agroalimentaire fait davantage pression sur les producteurs pour qu'ils adaptent leurs systèmes de production et assurent la fourniture régulière d'un produit plus constant dans ses caractéristiques (cf. partie 5).

Cependant, une bonne partie des variations de la production quantitative et qualitative de lait, est, pour diverses raisons, due à des ajustements prédéterminés, par le producteur lui-même, de la période de lactation. De tels ajustements peuvent avoir des conséquences significatives sur la qualité du lait, en particulier chez les vaches laitières pour lesquelles les éleveurs programment les fécondations pour que les mises bas synchronisées, déclenchant les lactations, coïncident avec la période de plus grande disponibilité alimentaire ou avec des prix plus élevés. Chez les vaches laitières, où les ovulations peuvent se produire tout au long de l'année, c'est plutôt la décision de l'éleveur que l'existence d'une saison sexuelle qui détermine la date des fécondations. En revanche, dans la majorité des espèces et races saisonnières incluant les ovins et caprins, l'induction des ovulations devient nécessaire quand les éleveurs veulent faire reproduire leurs femelles à une saison se situant en dehors de la saison naturelle de reproduction.

Ainsi, le saisonnement de la disponibilité en produits animaux est le résultat de plusieurs facteurs combinant les

Figure 3. Variations saisonnières de la production de viande ovine en France en 2004, en % de la production totale annuelle ($4,4 \times 10^6$ têtes) (Source Geb 2006).



choix et contraintes des éleveurs aux mécanismes physiologiques impliqués dans l'adaptation des animaux d'élevage aux conditions de milieu. Nous nous attacherons ici aux mécanismes mis en jeu dans les variations saisonnières de l'activité sexuelle, une des contraintes principales de la gestion des animaux de ferme. Du fait que ces animaux sont, à l'exception de certaines nouvelles espèces de poissons récemment mises en élevage, le résultat d'un très long processus de domestication à partir de populations sauvages, il est intéressant de savoir si leurs ancêtres et leurs «cousins» sauvages actuels montrent aussi des variations saisonnières de leur activité sexuelle.

2 / La saisonnalité de l'activité reproductrice est une vieille histoire, d'abord présente dans les espèces sauvages

L'existence d'une saison de mise bas spécifique chez les ovins de la fin de l'âge de pierre (fin du second millénaire avant J.C.) a pu être mise en évidence dans la région de l'Afrique du Sud actuelle, en mesurant les contenus en plusieurs isotopes stables de l'oxygène de l'émail des dents (Balasse *et al* 2003). Plus récemment, en utilisant la même technique pour des dents ovines collectées au Nord de l'Ecosse et à l'Ouest de la Bretagne, Balasse et coll. démontrent l'existence d'une plus grande expression du saisonnement chez les ovins du Nord de l'Ecosse comparés à ceux de Bretagne (Balasse *et al* 2006). Ainsi, en dépit de milliers

de générations de sélection contrôlée par l'Homme, ce résultat indique que le saisonnement n'a pas été éliminé de la plupart de nos races ovines actuelles.

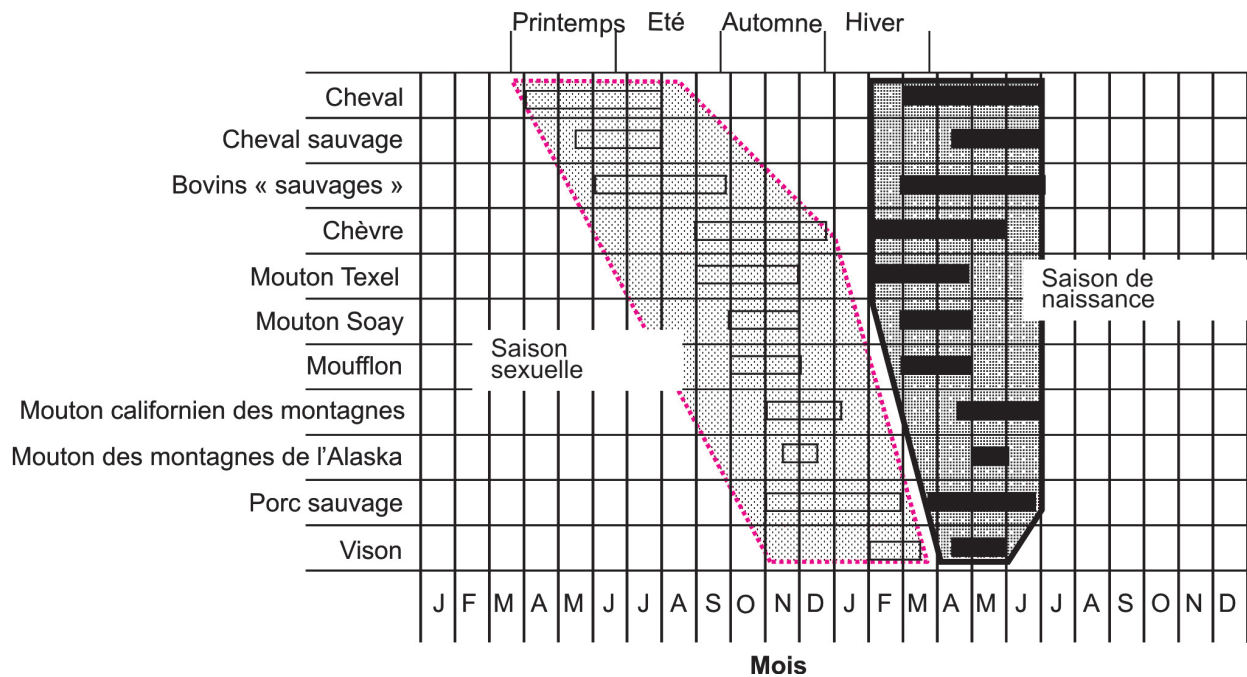
Nombreux sont les auteurs décrivant l'existence de variations saisonnières de reproduction chez des mammifères sauvages vivant aujourd'hui dans les zones tempérées. Presque tous utilisent la date de mise bas comme référence dans leurs analyses. Dans la majorité des cas, la période de mise bas est située en fin d'hiver ou début de printemps. Ceci assure un taux de survie maximal des jeunes mammifères qui profitent indirectement ou directement des disponibilités alimentaires (Ortavant *et al* 1985). De la même façon, chez les oiseaux sauvages (perdrix, caille, granivores) la saison de nidification débute au printemps, période où les disponibilités alimentaires augmentent (début de la saison de reproduction et/ou de ponte des insectes qui sont la source majeure de protéines des jeunes oisillons ; et période où les aliments issus de plantes deviennent disponibles ; Sauveur 1988, 1996). Chez les poissons, qui sont beaucoup plus dépendants de la température de l'eau et, dans une moindre mesure des conditions photopériodiques, le printemps est aussi la période la plus courante de production de jeunes alevins dans les zones tempérées avec une augmentation de la température et de la durée d'éclairement (Bromage *et al* 2001). Les jeunes alevins ont à disposition des quantités croissantes de phytoplancton et de zooplancton pour s'alimenter et les juvéniles vont disposer d'une longue période de croissance pendant le printemps et l'été, leur permettant ainsi d'être plus résistants pour

le premier hiver de leur vie (Conover 1992). C'est le cas des salmonidés, qui sont largement utilisés en aquaculture. Cependant, il existe une très forte variabilité entre les très nombreuses espèces de poissons, puisque des alevins peuvent être produits naturellement en hiver, comme c'est le cas pour le bar et la dorade méditerranéens (Zohar *et al* 1984), ou en été, comme pour les cyprinidés (Billard 1995) ou le turbot (Mugnier *et al* 2000).

Ainsi, cette activité de reproduction, au caractère fortement adaptatif, peut être considérée comme un mécanisme développé depuis des millénaires par chaque espèce pour ajuster la période de naissance aux rythmes climatiques d'une localité géographique donnée. On peut citer, comme exemples de telles stratégies propres à chaque espèce, la très courte saison de reproduction du mouflon (Santiago-Moreno *et al* 2001), l'implantation différée des embryons chez le chevreuil, le furet et le vison (implantation en décembre pour une fécondation en juillet chez le chevreuil, Thimonier et Sempéré 1989), ou l'hibernation chez le hamster et l'ours européens ou le hérisson (Canguilhem *et al* 1988, Saboureau *et al* 1991). Très probablement, de nombreuses stratégies restent encore, au moins en partie, inconnues ; celles exprimées par les mammifères domestiques produisant le lait et la viande étant, bien sûr, parmi les plus apparentes. Un des éléments les plus marquants de ces stratégies est bien l'ajustement de la période d'activité sexuelle (ovulation, production de sperme, comportements) à la durée de la gestation, de telle façon que les parturitions se déroulent au moment le plus propice pour que la descendance dispose des conditions optimales d'alimentation et de climat. Ainsi, le cheval et le mouton mettent bas tous deux au printemps, mais les juments présentent une activité ovulatoire maximale en fin d'hiver et printemps avec une durée de gestation de 11 mois, alors que les brebis sont en activité en fin d'été et automne avec une durée de gestation de 4,5 mois (figure 4).

Chez les poissons, le brochet effectue sa ponte au printemps dans des eaux de surface se réchauffant rapidement dans la journée, alors que les cyprinidés pondront plus tard en saison dans des eaux profondes et déjà chaudes. Il est évident que ces différentes stratégies prédictives, dans lesquelles le moment de la reproduction est, très précisément, ajusté à l'environnement de telle façon que les naissances aient lieu à un

Figure 4. Positionnement dans l'année du cycle de reproduction chez quelques espèces saisonnières (adapté de Ortavant et al 1985).



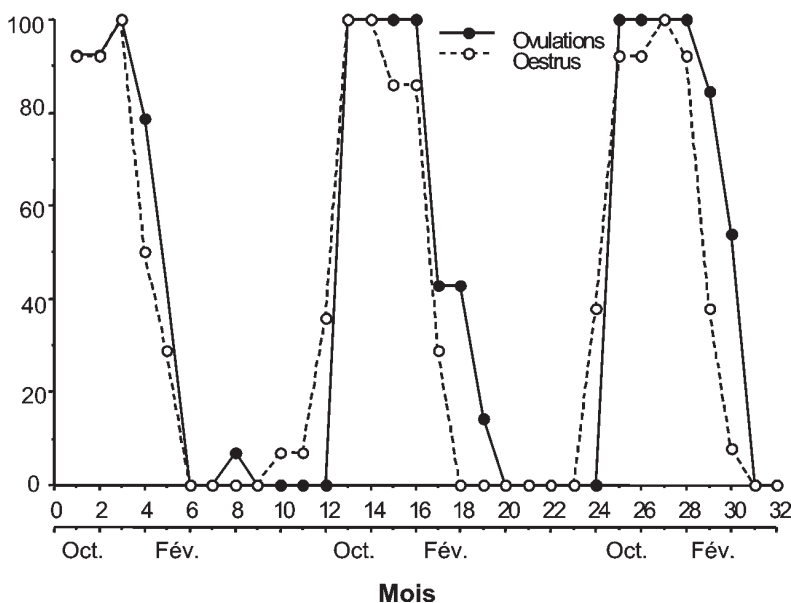
moment propice à la descendance, constituent un élément clé des mécanismes adaptatifs développés au cours de l'évolution et qui permettent aux différentes espèces de survivre et de proliférer dans des conditions difficiles, et en particulier quand les variations climatiques de l'environnement (lumière, température, disponibilité alimentaire) sont très marquées.

Bien que la saisonnalité de la reproduction existe au sein de toutes les classes de vertébrés, certaines de leurs spé-

cificités biologiques vont nécessiter des apports énergétiques saisonniers pour le surcroît d'énergie que nécessite la reproduction. En premier lieu, les mammifères et les oiseaux, homéothermes, nécessitent davantage d'énergie pour leur métabolisme de base que les poissons, poikilothermes. En second lieu, les oiseaux et les poissons téléostéens, ovipares, requièrent plus d'énergie que les mammifères pour la vitellogenèse de l'ovocyte au cours de la gamétogenèse. Ceci est particulièrement vrai chez les poissons qui libèrent

une grande quantité d'œufs, du fait d'une très forte mortalité de leurs jeunes dans le milieu aquatique naturel. Enfin, la gestation et/ou le soin et l'alimentation des jeunes requièrent de l'énergie chez les mammifères et les oiseaux, alors que ce n'est pas le cas chez les poissons d'élevage (sauf chez quelques tilapias). Ces besoins spécifiques ont des conséquences tant du point de vue du moment des besoins énergétiques maximums que de leur mobilisation pour optimiser le succès de la reproduction.

Figure 5. Variations saisonnières de la fréquence des ovulations et du comportement d'oestrus chez la chèvre Alpine (adapté de Chemineau et al 1992).



3 / Variations saisonnières de l'activité gonadique, du comportement sexuel et de la fréquence des mises bas chez les animaux de ferme

Des perturbations de l'activité reproductrice sont généralement associées à des altérations de l'activité gonadique et l'on peut observer de grandes différences entre espèces pour ce qui concerne la période et la durée de l'activité sexuelle. Par exemple, la fréquence des ovulations chez des chèvres laitières Alpine et Saanen maintenues hors reproduction, mais par ailleurs soumises à d'excellentes conditions nutritionnelles, peut varier de 0 (mars à septembre) à 100% (octobre à janvier), ce qui signifie l'existence d'une longue période d'inactivité ovulatoire, «l'anoestrus saisonnier» (figure 5). Le

comportement d'œstrus (acceptation du chevauchement par le mâle) est associé très étroitement à l'activité ovulatoire dans ces deux races (Chemineau *et al* 1992). Des brebis Ile-de-France montrent le même type d'activité à peu près au même moment, mais des ovulations isolées, sans comportement d'œstrus associé, peuvent être observées pendant l'anœstrus saisonnier (Thimonier et Mauléon 1969). Dans ce cas on parle d'ovulations silencieuses. Chez la jument, la majorité des femelles cessent d'ovuler entre décembre et mai (Palmer et Driancourt 1983).

Au contraire des espèces précédemment citées, les vaches laitières et/ou les vaches à viande, lorsqu'elles sont maintenues hors reproduction, ovulent régulièrement et sans arrêt (Mariana *et al* 1970), ce qui indique qu'elles sont capables de se reproduire tout au long de l'année. En dépit de ce potentiel, les interactions entre l'état des réserves corporelles et la nutrition, combinée à la présence d'un veau à l'allaitement et aux variations photopériodiques, induisent une variation saisonnière marquée de l'activité sexuelle post-partum chez la vache allaitante (Agabriel *et al* 2004). La situation est moins claire chez les porcins où il semble exister des variations saisonnières plus discrètes de l'activité sexuelle des truies (Quesnel *et al* 2005).

Chez les mâles des espèces saisonnières que nous venons d'évoquer, l'activité spermatogénétique et le comportement sexuel ne s'arrêtent pas complètement, mais sont également très dépendants de la saison. Ainsi, chez le bélier Soay, une race très primitive du Nord de l'Ecosse, la taille testiculaire (qui reflète l'activité spermatogénétique), la concentration plasmatique en FSH et en testostérone, ainsi que le «*flush*» sexuel et le comportement d'agressivité, atteignent leur maximum entre août et décembre, saison du «*rut*» dans cette race (Lincoln 1979). Chez le bélier Ile-de-France, le poids testiculaire et la production de spermatozoïdes par testicule (mesuré directement à la sortie de celui-ci), varient, respectivement, de moins de 200 g et 1 milliard par jour en mars, jusqu'à plus de 300 g et 5 milliards par jour en septembre (Ortavant *et al* 1985). De la même façon, des boucs de race Alpine manifestent des variations saisonnières très marquées de leur comportement sexuel (0 à 1,5 accouplements en 10 min), de la motilité individuelle de leur sperme (note de 2,5 à 3,5 sur une échelle de 5) et de leur

pouvoir fécondant (de 20 à 70% de mises bas après insémination artificielle : IA), entre le printemps-été et l'automne-hiver (Delgadillo *et al* 1992). Ces variations sont associées à des changements importants du volume de l'éjaculat et de sa concentration en spermatozoïdes, ayant des conséquences importantes en termes de technologie de la semence dans une espèce chez laquelle se manifestent des effets délétères du plasma séminal sur la survie *in vitro* des spermatozoïdes. Les étalons manifestent aussi des variations saisonnières de leur comportement sexuel et de la qualité de leur sperme, la plus basse saison étant l'hiver et la plus haute le printemps et le début d'été (Magistrini *et al* 1987).

Comme nous l'avons déjà mentionné, la saisonnalité de l'activité de reproduction varie beaucoup entre espèces. Ainsi, chez les poissons dont des représentants vivent sous toutes les latitudes, les stratégies opportunistes sont plus fréquentes dans les milieux tropicaux alors que les stratégies périodiques (ou prédictives) sont plus fréquentes en régions tempérées et froides (Vila-Gispert *et al* 2002). Chez les bovidés, les vaches n'arrêtent pas leur activité ovulatoire cyclique au cours de l'année, alors que les chèvres peuvent être en anœstrus pour 250 j par an ou plus (selon leur origine génétique). De la même façon, les truies domestiques ne montrent que de faibles variations saisonnières de leur activité ovulatoire, alors que les laies s'arrêtent complètement en printemps-été.

Au sein d'une même espèce, il est connu depuis longtemps que différentes races peuvent montrer des degrés divers de saisonnalité dans leur reproduction. Par exemple, les brebis Texel et Soay sont très saisonnées, alors que les brebis Mérinos et Manchega présentent un saisonnement moins marqué (Hafez 1952, Santiago-Moreno *et al* 2000). Des races issues d'une région géographique donnée et élevées plus au Sud, en particulier en région tropicale ou subtropicale (Afrique du Nord, Afrique de l'Ouest, Antilles, Asie et Amériques tropicales) montrent généralement une faible saisonnalité ou bien encore ont des ovulations tout au long de l'année sans période anovulatoire (Yenikoye 1984, Chemineau 1986, Mahieu *et al* 1989). C'est une caractéristique intéressante pour les éleveurs de ces zones qui peuvent alors organiser la période de reproduction de leur troupeau sans utiliser de traitements hormonaux. Malheureusement, une sai-

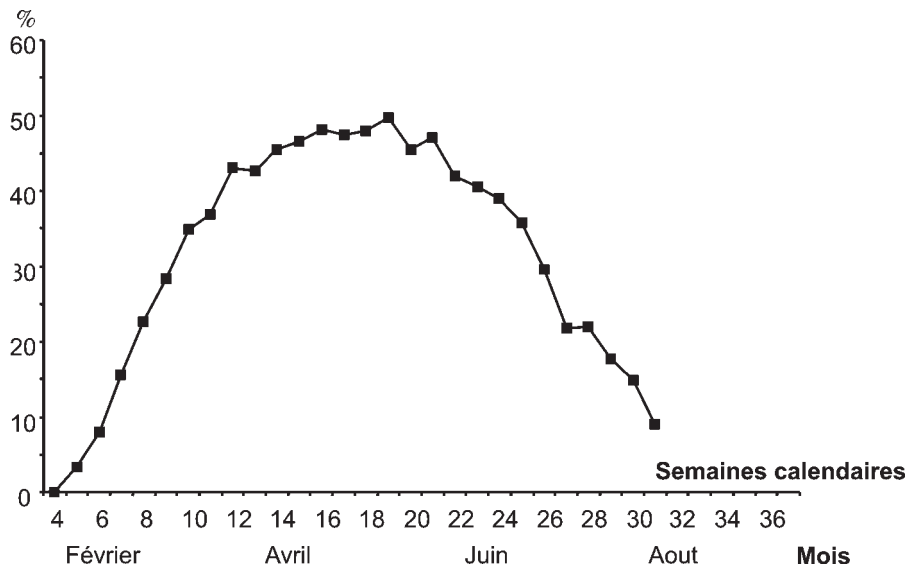
son de reproduction marquée apparaît dans ces races lorsqu'elles sont soumises aux variations photopériodiques plus importantes et aux conditions climatiques des régions plus septentrionales, ce qui limite leur utilisation éventuelle dans les systèmes de production de ces pays (Chemineau *et al* 2004).

Toutefois, chez des races tempérées maintenues dans des conditions environnementales similaires à celles de leur origine géographique, une variabilité intra-race continue d'exister. Dans plusieurs espèces (mouton, chèvre), certaines caractéristiques de saisonnalité, telles que le début, la fin et la durée de la saison sexuelle, ont été démontrées comme étant hérissables et donc susceptibles de faire l'objet d'une sélection (Ricordeau 1982, Quirke *et al* 1986, Al Shorepy *et al* 1997). Cependant, ces caractères sont assez difficiles à mesurer dans des conditions d'élevage du fait de leur forte liaison avec le cycle de production de la femelle. Une approche alternative pourrait être d'utiliser des caractères indirects, tels que la présence ou l'absence d'activité ovulatoire au printemps hérissable chez le Mérinos d'Arles (Hanocq *et al* 1999). Chez l'oie Landaise, l'intensité de ponte (qui se définit comme étant le nombre d'œufs pondus par semaine par 100 femelles) varie de zéro en janvier à 50% en mai (figure 6). Ce caractère peut aussi être sélectionné comme cela a été démontré chez l'oie grise des Landes (Basso *et al* 2006).

L'existence d'une base génétique de la saisonnalité de la reproduction suggère aussi l'existence d'un polymorphisme de gènes spécifiques. L'existence d'une relation étroite entre l'intensité de l'anovulation (présence/absence d'ovulations) et la fréquence relative d'allèles précis du récepteur à la mélatonine MT1 chez la brebis Mérinos d'Arles a été mise en évidence et pourrait être utilisée pour sélectionner des animaux sur la base de la présence d'allèles favorables (Pelletier *et al* 2000). Cependant, la variabilité génétique du caractère saisonnier de la reproduction, au même titre que bien d'autres caractères, ne dépend pas du polymorphisme d'un seul gène mais d'une combinaison de gènes dont la plupart restent à identifier, puis tester, avant toute application possible en sélection.

Les nombreuses espèces de poissons manifestent une grande diversité pour conduire leur reproduction entre elles (Jalabert 2005). Toutefois, du fait

Figure 6. Intensité de ponte (= nombre d'œufs pondus par semaine pour 100 femelles) chez l'oie grise des Landes (adapté de Mialon-Richard et al 2004).



qu'une grande quantité d'énergie est requise pendant la vitellogenèse pour produire les milliers ou millions d'œufs contenant les réserves de l'embryon, ce processus s'étend toujours sur plusieurs mois dans les zones tempérées (Jalabert 2005). Ainsi, les espèces saisonnières de poissons montrent habituellement une seule saison de ponte au cours de l'année. Pendant cette période, le saumon, la truite et la carpe pondent tous leurs œufs en une seule fois. D'autres espèces piscicoles sont multi-pondeuses, comme la perche commune, le turbot, le flétan ou la morue. Dans ce cas, la ponte peut alors s'étaler sur plusieurs semaines (McEvoy et McEvoy 1992). Au contraire de ce qui est observé chez les mammifères domestiques, l'activité spermatogénétique est habituellement complètement arrêtée pendant une grande partie de l'année et reprend à une saison bien précise, produisant des vagues synchrones de cellules germinales (Maise et Breton 1996, Gomez et al 1998). Les reproducteurs mâles produisent du sperme pendant une grande partie de la saison sexuelle et peuvent, par conséquent, être utilisés plusieurs fois pour de la fécondation *in vitro*. La qualité du sperme varie cependant au cours de la saison (Billard 1986). Les caractères sexuels secondaires ne sont pas toujours apparents chez le poisson et ils peuvent n'être distinguables que très peu de temps avant le début de la saison sexuelle. Les phéromones, qui régulent le comportement sexuel, proviennent des hormones (prostaglandines et stéroïdes ; Stacey 2003) impliquées dans la régulation des derniers stades de la gamétogenèse et de la libération des gamètes, et sont, par consé-

quent libérés dans l'eau au moment de la saison sexuelle.

La diversité dans les stratégies reproductives des poissons implique une diversité dans la période de ponte (Webb et McLay 1996). Ainsi, elle se produit depuis la fin de l'automne jusqu'à l'hiver chez les salmonidés (Bromage et al 1992), de la fin d'hiver au début du printemps chez le bar, la dorade royale (Zohar et al 1984) et la morue (Hansen et al 2001), au printemps chez la perche eurasienne (Migaud et al 2002) le pagre rouge (Kokokiris et al 2001) et le flétan atlantique (Björnsson et al 1998), ou à la fin du printemps et en été chez le turbot (Mugnier et al 2000) et la carpe (Billard 1995). La vitesse du développement embryonnaire, de l'œuf jusqu'à l'alevin capable de s'autoalimenter, dépend de la taille des œufs et de la température de l'eau. Habituellement, cette période est plus courte chez les espèces ovulant au printemps-été que celles ovulant en automne-hiver. Ainsi, les œufs se développent sur plusieurs semaines chez les salmonidés et seulement quelques jours chez les cyprinidés. Toutefois, les œufs du bar européen, qui pond pendant la saison froide, se développent en 8 j à 13°C (Saillant et al 2001). Diminuer ou augmenter la vitesse du développement embryonnaire et, ainsi, la croissance des larves en ajustant la température de l'eau, constitue l'un des moyens qui peuvent être utilisés par les éleveurs pour, en partie au moins, programmer leur production. La sélection génétique peut aussi être utilisée dans certains cas pour accroître

la durée de la période de reproduction : une forte héritabilité de la date de ponte a été mise en évidence chez la truite Arc-en-Ciel ($h^2 = 0,65$, Su et al 1997). De fait, des lignées de truites sélectionnées pour pondre à différentes saisons sont aujourd'hui disponibles : elles peuvent être utilisées pour des objectifs expérimentaux ou en aquaculture.

4 / Le saisonnement de la reproduction résulte d'une combinaison entre rythme endogène circannuel et effets d'entraînement lié aux variations de la photopériode et de la thermopériode

Comme nous l'avons vu, de nombreux vertébrés élevés en climat tempéré expriment des variations saisonnières de leur activité gonadique et obéissent à un calendrier précis dans l'année, pendant lequel les femelles pondent des œufs aptes à être fécondés par les spermatozoïdes des mâles. Au sein d'une espèce ou d'une race, cette «saison sexuelle» est très stable d'une année à l'autre, l'activité ovulatoire et la production spermatique quantitative et qualitative apparaissant à dates fixes. Même s'il existe une variabilité intra-espèce et/ou intra-race dans ces dates, la saison sexuelle reste toujours la même d'une année à l'autre, permettant ainsi un ajustement précis aux fluctuations environnementales. Cet ajustement est dû à des mécanismes physiologiques sous-jacents complexes mais très précis qui permettent aux animaux de «fixer» leur saison sexuelle dans l'année et d'exprimer leur activité au bon moment, synchrones entre les sexes et selon les facteurs extérieurs de l'environnement.

Chez plusieurs espèces de mammifères, d'oiseaux et de poissons, et par analogie avec «l'horloge circadienne» (*i.e.* avec une période voisine de 24 h en libre cours) qui génère des rythmes endogènes circadiens, un rythme «circannuel», endogène aux animaux, est supposé générer des alternances de périodes d'activité et d'inactivité sexuelles au cours de l'année. Cette alternance peut être observée quand les animaux sont maintenus sous des régimes photopériodiques constants (jours courts constants par exemple), pendant au moins deux années consécutives (mammifères : Malpoux 2006 ;

oiseaux : Gwinner 2003 ; poissons : Bromage *et al* 2001). Les mécanismes physiologiques sous-jacents de ce système circannuel restent néanmoins largement méconnus. Quelques informations ont été obtenues chez deux modèles expérimentaux : un rongeur (Larkin *et al* 2002) et le mouton (Lehman *et al* 2002). Dans ces espèces, l'essentiel du mécanisme réside dans le système nerveux central et met en jeu, probablement, l'aptitude à faire alterner une inhibition et une stimulation des neurones à LH-RH de l'hypothalamus. L'hormone thyroïdienne T4 doit être présente à concentration faible mais constante dans le plasma sanguin pour qu'il y ait expression du rythme endogène (Billings *et al* 2002). Chez la brebis, elle agit probablement dans la zone pré-mammillaire de l'hypothalamus postérieur. Des modifications de plasticité neuronale, mises en évidence par des changements de molécules d'adhésion neurale (les PSA-NCAM) ont été décrites (Lehman *et al* 2002). De la même façon, des changements de l'expression du gène et de la capacité de liaison du récepteur 5HT_{2A} à la sérotonine ont été observés en association avec des stades opposés du rythme endogène (Chemineau *et al* 2003). Chez la brebis, ce rythme endogène est positionné par des signaux photopériodiques, précis et limités, fournis par des changements externes de la photopériode³ (Barrell *et al* 2000).

Les rôles spécifiques des jours longs (JL) et des jours courts (JC) dans le positionnement calendaire annuel de l'activité sexuelle dépend des espèces. Chez les espèces dites «de jours courts» (c'est-à-dire celles qui sont sexuellement actives pendant les JC), comme les brebis et les chèvres, les JC sont stimulateurs et les JL inhibiteurs de l'activité sexuelle. À l'inverse les JC inhibent et les JL stimulent l'activité des espèces dites «de jours longs» telles que le cheval, la souris et la plupart des volailles. Ces propriétés particulières, liées à la durée de la photopériode et à ses variations de la durée d'éclairage sur l'activité sexuelle des mâles et des femelles, sont en pratique utilisées en élevage (cf. ci-dessous). Cependant, chez les mammifères et les oiseaux soumis à une photopériode constante normalement gonado-stimulante, cet effet spécifique n'est pas permanent. Les animaux «échappent» et deviennent alors «réfractaires» à la photopériode ambiante : les JC ne sont plus sti-

mulateurs chez les ovins ou inhibiteurs chez les juments, les JL ne sont plus inhibiteurs chez les chèvres ou stimulateurs chez la jument, la poule ou la dinde. Dans le cas des poissons chez lesquels la photopériode et la température peuvent interagir pour réguler la saisonnalité de la reproduction, l'existence d'un état réfractaire a aussi été rapporté : par exemple, les gonades du fundulus *F. heteroclitus* ne se développent pas entre le milieu de l'automne et le début de l'hiver même lorsque les conditions de température et de photopériode sont adéquats (Shimizu 2003). Au plan conceptuel, cet état réfractaire peut être considéré comme une expression du rythme endogène circannuel. Il peut être «rompu» en transférant les animaux en photopériode opposée : ainsi l'état réfractaire aux JC, qui s'installe naturellement chez la brebis en fin d'hiver, est rompu par deux mois d'exposition à des JL en décembre-janvier, permettant aux JC de retrouver un effet stimulant.

Ainsi, en soumettant des animaux à des photopériodes opposées, il est possible de contrôler la saisonnalité de la reproduction. Cette propriété est maintenant utilisée dans les traitements lumineux appliqués en ferme ou dans les centres producteurs de semence destinée à l'insémination artificielle. En réalité, la définition de ce que sont réellement les JL et les JC n'est pas univoque. Par exemple, chez les ovins, il est possible de définir un seuil de sensibilité basé sur le nombre d'heures par jour en dessous duquel les JC sont stimulateurs et au-delà duquel les JL sont inhibiteurs (Chemineau *et al* 1996, Malpoux *et al* 1996). Chez le dindon, des observations récentes indiquent que le seuil de sensibilité à la photopériode se situe entre 9 h30 (non stimulant) et 10 h30 (stimulant) de lumière par jour (Noirault *et al* 2006 a et b). Le «passé photopériodique» de chaque individu doit aussi être pris en compte chez les mammifères et les oiseaux. Ainsi, il est maintenant communément accepté que selon les espèces, les JC stimulants doivent avant tout être plus courts que la durée des jours qui précèdent tandis que les JL stimulants doivent en premier lieu avoir une durée plus longue que la durée des jours qui précèdent.

Cette dernière propriété est intéressante en conditions d'élevage : après une période de jours longs artificiels, les animaux perçoivent des jours courts

même si la photopériode naturelle dans laquelle ils sont placés est supérieure à 12 h de lumière par jour. Une autre propriété intéressante peut également être utilisée dans les conditions d'élevage pour appliquer des jours longs : l'éclairage d'une période spécifique de la nuit, appelée «phase photosensible», généralement située entre 14 et 16 h après l'aube. Cette particularité permet aux animaux de «percevoir» la période allant de l'aube à la fin de la période de lumière additionnelle comme un jour long («JL»), même si, de fait, l'éclairage en continu des JL réels n'est pas appliqué (Aupinel et Bonnet 1996 chez l'escargot, Sauveur 1988, 1996 et de Reviers 1996 chez les oiseaux, Maisse et Breton 1996 chez les poissons, Malpoux *et al* 1996, Chemineau *et al* 1996 chez les ovins et caprins, et Guillaume 1996 chez les chevaux).

Plus généralement, la photopériode, qui entraîne le rythme circannuel de la reproduction, exerce ses effets *via* deux mécanismes différents mais complémentaires : a) en synchronisant les saisons sexuelles des individus d'une même espèce entre eux et b) en ajustant les périodes de développement gonadique avec les conditions externes de l'environnement. Il faut remarquer que les rythmes circannuels de la photopériode affectent les migrations des oiseaux en contrôlant la direction de migration de manière saisonnière (Gwinner 2001).

Chez les mammifères, le signal photopériodique est perçu uniquement par les yeux qui transmettent, par voie synaptique, le signal photonique à la glande pinéale, laquelle transforme ce dernier en un signal chimique : la synthèse et la sécrétion de mélatonine. Celle-ci est synthétisée uniquement pendant la nuit et essentiellement par la glande pinéale chez les mammifères, la mélatonine est délivrée au système nerveux central *via* le liquide cébrospinal et aux tissus périphériques *via* la circulation générale. Pour contrôler l'activité de reproduction chez le mouton, la mélatonine agit sur l'hypothalamus pré-mammillaire au sein duquel elle se lie à des récepteurs spécifiques puis stimule, environ 45 j après le début de l'imprégnation, l'activité pulsatile du couple LHRH-LH, lequel, à son tour, pilote l'activité gonadique, puis comportementale (Malpoux 2006). De la mélatonine exogène peut être distribuée pour «mimer» des jours courts ;

³ Photopériode : variations de la phase claire du jour.

elle a été utilisée pratiquement chez les ovins et les caprins pour stimuler la reproduction au printemps. La situation est plus compliquée chez les poissons et les oiseaux qui peuvent percevoir directement la lumière par des photorécepteurs situés dans le cerveau et/ou la glande pinéale, et pour qui le rôle de la mélatonine reste encore peu connu car elle agit sans doute à différents niveaux de l'organisme (Sauveur 1988, 1996, Ekström et Meissl 1997).

Chez les oiseaux, les mécanismes impliqués dans le processus de mesure photopériodique du temps et dans celui de la transmission de la lumière vers le cerveau, restent, en partie, inexpliqués. Depuis les observations initiales de Rowan (1925), plusieurs hypothèses ont été proposées pour rendre compte du mécanisme précis et répétable par lequel les espèces aviaires perçoivent et mesurent la durée du jour et ses variations pour réguler leur activité sexuelle. Alors qu'il existe un nombre conséquent de travaux qui démontrent que la mesure photopériodique du temps chez les mammifères et les oiseaux est réalisée *via* le système circadien (Benoît 1935), des indications plus récentes montrent que l'hypothalamus médiobasalis contient certains éléments majeurs impliqués dans la réponse spécifique à la photopériode (Ball et Balthazart 2003). Dans ces espèces, la lumière atteint les récepteurs encéphaliques *via* divers circuits : œil et nerf optique, glande pinéale et peut-être aussi glande de Harder. De surcroît, la lumière qui pénètre à travers la peau et la boîte crânienne pour atteindre les récepteurs extra-rétiniens, est reçue par un photopigment (peut-être la rhodopsine) avant sa transduction chimique vers l'hypothalamus (Lewis et Perry 1995). Même encore méconnu, le mécanisme impliqué dans la transmission et la traduction du signal photopériodique apparaît très spécifique des oiseaux, peut-être en raison de la nécessité, pour beaucoup d'espèces, d'ajuster leur comportement de migration au début et à la fin de leur saison de reproduction.

Bien que la présence de récepteurs à la mélatonine ait été rapportée dans l'hypophyse de brochet (Gaildrat et Falcon 2000), le rôle de la mélatonine reste, comme chez les oiseaux, encore confus chez les poissons. Cette hormone agit en effet à différents niveaux dans l'organisme de ces espèces. De plus, des photosensibilités particulières existent : ainsi, certains poissons coralliens réagissent non seulement aux changements d'éclairement du soleil

mais aussi à ceux de la lune (Park *et al* 2006). Toujours chez les poissons, d'autres aspects de la biologie de la reproduction comme l'inversion sexuelle peuvent impliquer la mélatonine (Shi 2005). Il est cependant certain qu'une horloge circadienne entraîne le rythme de synthèse de mélatonine chez au moins une grande partie, si ce n'est tous, les vertébrés non-mammaliens (Falcon 1999). Une telle horloge circadienne est, elle-même, soumise à un ajustement par la photopériode (Ceinos *et al* 2005).

En plus de la photopériode, la température peut aussi jouer un rôle important dans la reproduction saisonnière des poissons et des oiseaux et, plus généralement, dans certains autres vertébrés poikilothermes. A titre d'exemple, une carpe commune adulte peut pondre 4 à 5 fois par an si elle est maintenue à 20-22°C (Horvath 1986). A côté de la température elle-même, les interactions entre température et photopériode sont assez fréquentes, même chez des espèces réputées pour être photopériode-dépendantes (poissons : Breton et Billard 1977, Bromage *et al* 2001 ; oiseaux : Kato et Konishi 1968). Dans quelques espèces, comme la Perche eurasiennne, un régime photo-thermopériodique spécifique est nécessaire pour obtenir une gamétogenèse normale (Fontaine *et al* 2006).

Des progrès importants ont été faits ces dernières décennies pour comprendre les principales composantes qui sous-tendent les mécanismes physiologiques contrôlant la reproduction saisonnière chez les vertébrés. La preuve de l'existence d'un mécanisme de rythme endogène circannuel entraîné par la photopériode reste cependant à établir formellement, notamment en ce qui concerne un éventuel support anatomique. En effet, même si l'on sait que les récepteurs photorétiniens sont les «nœuds» communs du système quelle que soit l'espèce, la localisation précise du mécanisme circannuel reste à établir. De la même façon il reste aussi à savoir s'il s'agit ou non d'une «horloge» et comment la mélatonine agit pour entraîner l'activité des neurones à LH-RH.

Néanmoins, de nombreuses expérimentations ont été faites sans pour autant entrer dans la «boîte noire cérébrale», notamment en utilisant uniquement des variations photopériodiques, et ont conduit à proposer aux éleveurs et aux centres producteurs de semence pour l'IA, des schémas spécifiques

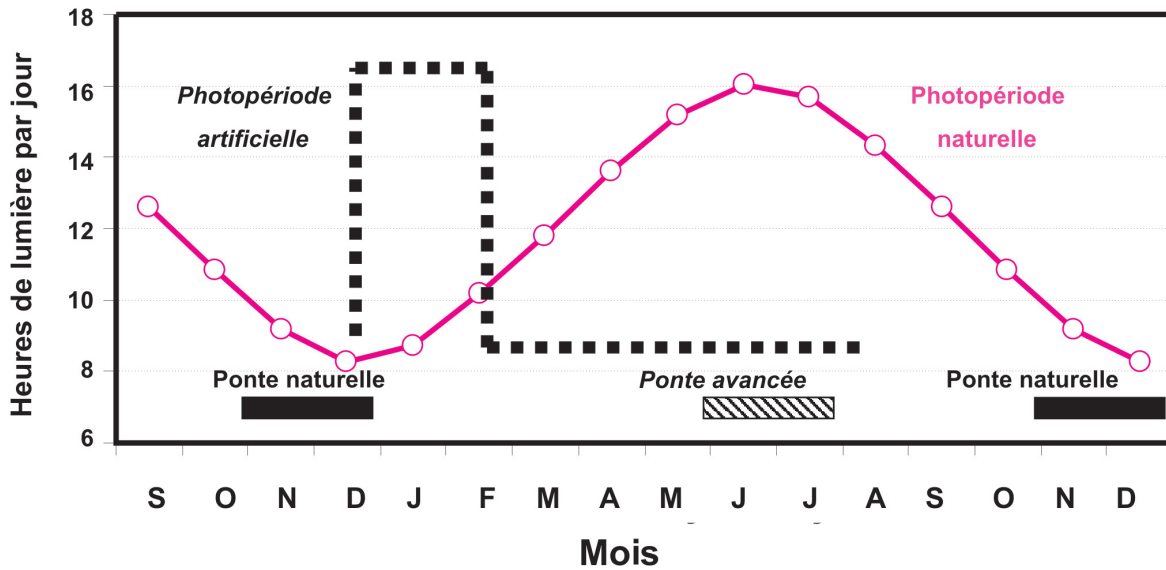
d'éclairement leur permettant de maîtriser la reproduction saisonnière des animaux.

5 / Utilisation de traitements photopériodiques artificiels pour contrôler la saisonnalité de la reproduction et la production de lait chez les animaux d'élevage

Au cours des dernières décennies, les traitements photopériodiques ont été utilisés dans un grand nombre d'espèces d'élevage, allant des volailles de chair et de ponte (Sauveur 1988) aux mammifères (Malpoux *et al* 1996), et des poissons (Maise et Breton 1996) aux escargots (Aupinel et Bonnet 1996), avec l'objectif ultime de fournir aux consommateurs une disponibilité des produits animaux frais toute l'année.

Le développement considérable des productions avicoles intensives dans le monde entier est dû, pour une part, aux conséquences de la mise au point et de l'utilisation de programmes «jours longs définis», applicables à chaque période de la vie des reproducteurs. Ces traitements consistent à adapter pour chaque espèce et même chaque type de production (ex : ponte, chair) des programmes lumineux spécifiques (en durée, variation de durée, intensité lumineuse et même longueur d'onde *via* la source lumineuse) à partir de 2-3 semaines après l'éclosion jusqu'à la fin de saison de reproduction (Sauveur 1996, de Reviers 1996, Noirault *et al* 2006b). Depuis 25 à 30 ans, la majorité des poules pondeuses produisant des œufs de consommation sont soumises à des régimes lumineux «fractionnés» (*i.e.* fournissant plus d'une période claire et obscure par jour), nécessitant l'utilisation de bâtiments obscurs. D'un point de vue zootechnique, de tels régimes, dans lesquels le cycle de 24 h est fractionné en plusieurs périodes obscures et claires, peut, selon le type de programme utilisé (asymétrique, symétrique...), produire une augmentation de la fréquence de ponte, du poids des œufs et/ou de la consommation alimentaire (Lewis et Perry 1995, Sauveur 1996). Chez les poulets de chair, un ajustement spécifique à l'environnement extérieur (lumière, température), pour les reproducteurs mâles et femelles, a aussi été d'un grand intérêt pour développer des programmes d'IA. Ainsi, la fertilité des

Figure 7. Période de ponte chez la truite Arc-en-Ciel exposée à une photopériode naturelle (barres rouges) ou à une photopériode stimulatrice jours longs-jours courts (barres hachurées) (adapté de Maisse et Breton 1996).



œufs dans les troupeaux inséminés artificiellement, dépend du moment de dépôt de la semence par rapport au moment de l'oviposition, lui-même sous le contrôle direct de la photopériode (Brillard 2003). Aujourd'hui cependant, les modifications en cours pour ajuster les systèmes de production d'œufs aux contraintes des règlements européens ainsi que l'évolution rapide des phénotypes chez les poulets de chair, entraînent le nécessaire réajustement des pratiques environnementales et nutritionnelles.

Chez les poissons, où le nombre de reproducteurs est très réduit, différents régimes photopériodiques peuvent être appliqués pour induire une ponte à contre-saison. Les principes utilisés sont ceux décrits ci-dessus, avec une succession de JL et JC. Chez la truite Arc-en-Ciel, par exemple, la succession de 2 mois de jours longs appliqués immédiatement après la période normale de ponte, suivis par 4 mois de jours courts, induit une nouvelle saison sexuelle environ 6 mois après la première (figure 7). Il est aussi possible de retarder la maturation sexuelle, ce qui peut être intéressant pour orienter tout le métabolisme de l'animal vers la croissance et non la reproduction (Maisse et Breton 1996, Bromage *et al* 2001). Quel que soit le traitement photopériodique, la température de l'eau doit être ajustée correctement. Ainsi, une saison de ponte à contre-saison en été, nécessite de conserver la température de l'eau en dessous de 15°C (Maisse et Breton 1983). Finalement, même si les résultats sont globalement satisfaisants, il reste tou-

jours une variabilité inter-individuelle importante en termes de qualité des gamètes, en particulier lorsque l'on regarde attentivement l'apparition de malformations (Bonnet *et al* 2007). Cette variabilité est sans doute liée à l'hétérogénéité des stades gamétiques entre les reproducteurs en début de traitement photopériodique.

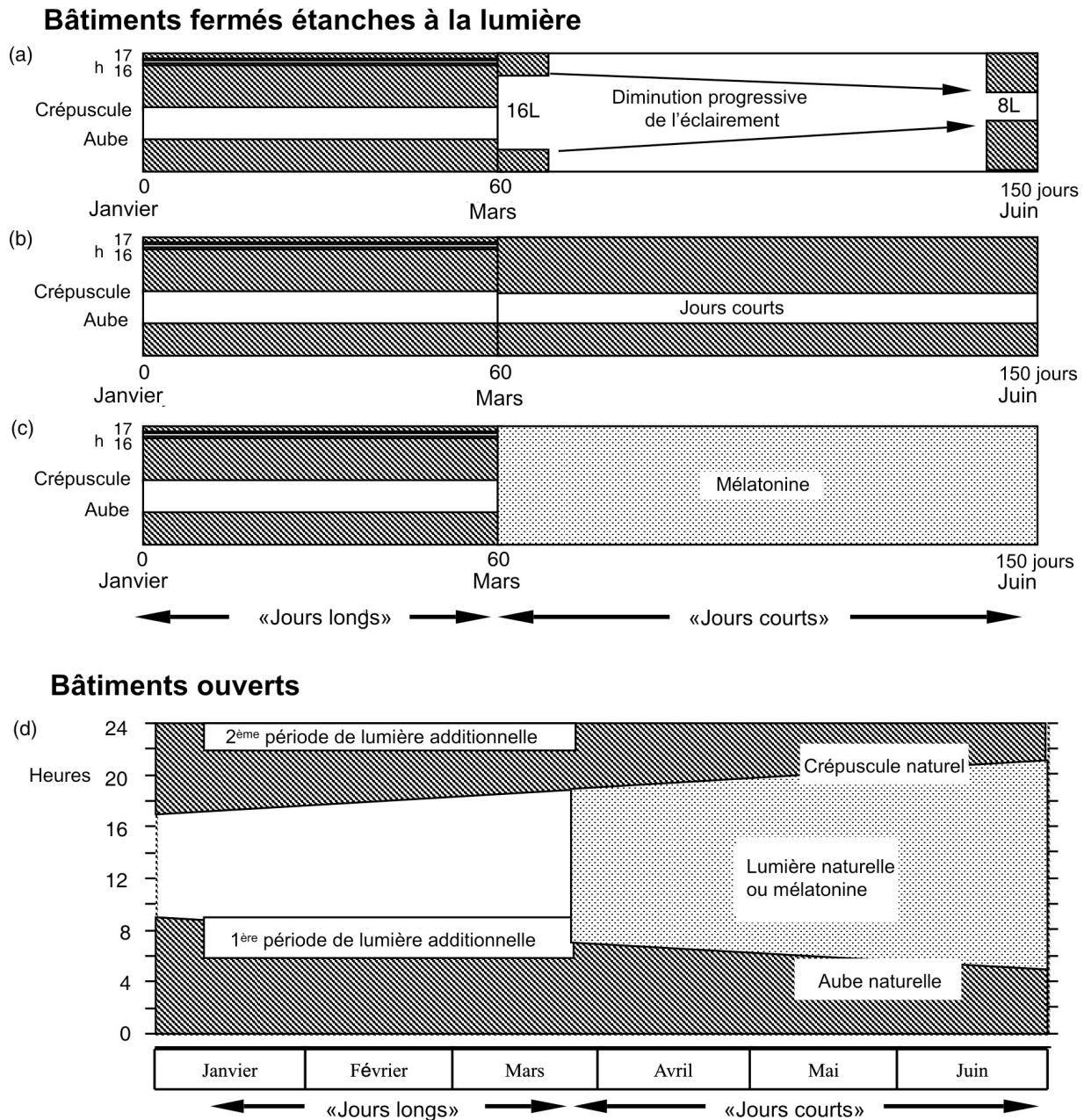
Chez les mammifères, les traitements photopériodiques sont intéressants pour contrôler l'activité saisonnière de reproduction, en particulier chez les ovins, caprins et chevaux. Dans les centres de production de semence pour l'IA des chèvres et des brebis, désormais équipés de bâtiments fermés étanches à la lumière, des régimes photopériodiques «accélérés» faisant alterner en permanence un mois de JL avec un mois de JC permettent le maintien d'une production de semence élevée des boucs et béliers, sans variation saisonnière de qualité de semence. Actuellement, tous les boucs du schéma national d'amélioration génétique français (plus de 70 boucs par an) sont traités avec une alternance rapide JL-JC, ce qui permet une augmentation importante de la production de doses pour l'IA par bouc et par an (+ 40% ; Delgadillo *et al* 1993), tout en réduisant la durée de production par bouc (réforme après 18 mois de production, soit 18 mois plus tôt que ceux maintenus en photopériode naturelle). Dans les autres centres de production de semence pour l'IA, ceux qui ne nécessitent pas une production continue de doses au cours de l'année, les béliers, élevés en bergerie ouverte, sont soumis à 2-3 mois de «JL» (de décembre à février) suivis soit par un retour en

photopériode naturelle, soit par un traitement avec des implants sous-cutanés de mélatonine pour mimer des JC («JC») (figures 8 et 9). Ce traitement «JL»-«JC» stimule la production de semence en quantité et en qualité suffisantes pendant 2-3 mois, mimant ainsi la saison sexuelle normale (Malpoux *et al* 1995).

Dans les exploitations caprines (tousjours en chèvreries ouvertes), les mâles et les femelles sont soumis au deuxième type de traitement utilisé dans les centres de production de semence pour l'IA («JL»-«JC»). Ce traitement est toujours associé à un «effet mâle» (c'est-à-dire l'introduction de boucs, traités de la même manière, entre 35 et 75 j après le début des «JC» et laissé 45 j avec les chèvres), de façon à induire des ovulations et le comportement d'œstrus associé. Dans de telles conditions, les niveaux de fertilité à contre-saison et la prolificité des femelles peuvent être maintenus à un haut niveau (> 75% de taux de mises bas avec environ 2 chevreaux par mise bas ; Chemineau *et al* 1996). En conditions subtropicales et pour les races locales, où le saisonnement est moins marqué que chez celles élevées en zones tempérées, le traitement des femelles n'est pas nécessaire : quand le traitement JL est appliqué seulement aux boucs utilisé pour réaliser «l'effet mâle», le pourcentage de femelles qui ovulent et viennent en œstrus et la fertilité après lutte naturelle sont élevés (Delgadillo *et al* 2002, 2004).

Chez les brebis, une grande majorité des fécondations à contre-saison sont obtenues en utilisant des traitements

Figure 8. Traitements photopériodiques pour maîtriser l'activité sexuelle saisonnière des petits ruminants en bâtiments fermés ou ouverts (adapté de Chemineau et al 1996).



hormonaux «classiques» (éponges FGA + eCG), mais la fréquence d'utilisation des implants de mélatonine augmente, en particulier dans les races méditerranéennes. L'utilisation d'implants accroît aussi la fertilité et la prolificité. D'une manière générale, une augmentation d'environ 0,20 agneau par brebis traitée et par an est obtenue, cet accroissement provenant plutôt d'une augmentation des mises bas doubles plutôt que triples, ce qui est un objectif recherché par les éleveurs (Chemineau *et al* 1996).

Des traitements photopériodiques sont aussi utilisés chez le jument pour

avancer la date de la saison sexuelle et pour donner aux poulains un avantage décisif lié à une naissance précoce, quand ils sont en compétition avec leurs contemporains. Ceci est généralement obtenu en exposant les juments à des JL ou des pseudo JL («JL») pendant l'automne. Ces traitements permettent aux juments d'être fécondées environ 2 mois plus tôt que les femelles maintenues sous photopériode naturelle (Guillaume 1996).

Ces traitements sont donc utilisés maintenant dans les deux sexes chez beaucoup d'espèces d'élevage pour contrôler la reproduction saisonnière.

Quelle que soit l'espèce, ils utilisent les propriétés communes d'alternance entre photopériodes inhibitrices et stimulatrices, dont les durées sont ajustées à l'espèce et au sexe. Lorsque des traitements photopériodiques «purs» (sans mélatonine) sont utilisés, particulièrement en bâtiments ouverts, ils peuvent être considérés comme non invasifs et respectant pleinement le bien-être animal. Il est assez probable que ces traitements seront utilisés plus largement que par le passé dans des systèmes d'élevages où la notion de durabilité entrera plus qu'auparavant en ligne de compte.

Figure 9. Installation ouverte et simple pour le traitement photopériodique des boucs dans les subtropiques mexicains (avec l'amabilité de Delgado J.A., CIRCA Univ. A. Narro, Coahuila, Mexico).



Ainsi qu'il a été indiqué dans la partie 1 (ci-dessus), les variations saisonnières de la quantité et de la qualité (contenu en matières protéiques et grasses, comptage cellulaire) de la production laitière sont dues en partie à l'effet direct de la durée du jour sur la production et la composition du lait, et/ou sur le métabolisme général des femelles laitières. Les jours longs ont été démontrés comme ayant des effets stimulants pendant la lactation, mais ils limitent le contenu en matières grasses chez les bovins (Peters *et al* 1981, Stanisiewsky *et al* 1985, Dahl et Petclerc 2003), les ovins (Bocquier *et al* 1990, 1997) et les caprins (Delouis *et al* 1984). Au contraire, les jours courts, lorsqu'ils sont appliqués pendant la lactation, ont un effet négatif sur la production quantitative de lait, mais ils accroissent les contenus en protéines et en matière grasse. De façon intéressante, les génisses laitières soumises à des jours longs en période prépubère ont tendance à produire plus de lait pendant leur première lactation, lorsqu'elles

sont maintenues pendant celle-ci sous les variations naturelles d'éclaircissement des latitudes tempérées (Rius et Dahl 2006). Au contraire, des vaches soumises à des jours courts pendant leur période de tarissement, produisent plus de lait lors de la lactation suivante, lorsqu'elles sont maintenues ultérieurement sous photopériode normale (Auchtung *et al* 2005). Ces traitements produisent une modulation de la sécrétion lactée au niveau de la glande mammaire probablement *via* des hormones comme la prolactine et ses récepteurs dans le tissu mammaire lui-même (Auchtung *et al* 2005), mais aussi *via* une réorientation générale des voies métaboliques induite par l'entraînement photopériodique (Faulconnier *et al* 2001, Chilliard *et al* 2005).

La photopériode a aussi été démontrée comme ayant un effet modulateur du système immunitaire général chez la vache laitière (Auchtung *et al* 2004). A notre connaissance, ces manipulations photopériodiques visant à moduler la

production laitière bovine sont maintenant largement utilisées aux USA et au Canada, où plus de 30% des producteurs utiliseraient régulièrement des jours longs artificiels dans leurs troupeaux.

Conclusion

La disponibilité saisonnière des produits sur le marché de la vente directe et de la transformation est sans doute davantage la conséquence d'une interaction entre rythmicité endogène naturelle des animaux et contraintes environnementales, qu'un choix délibéré de l'éleveur de produire à une saison bien définie. En effet, chez les espèces fortement saisonnées l'étalement de la saison de reproduction n'est souvent que marginal.

Dans la plupart des espèces et races saisonnées responsables de ces productions, des traitements photopériodiques spécifiques dérivés, pour une grande part, des connaissances cumulées sur les mécanismes physiologiques impliqués dans le contrôle de la fonction de reproduction, ont été progressivement proposés pour atténuer et/ou supprimer les problèmes liés à la saisonnalité de la reproduction. Chez les mammifères, de tels traitements sont des alternatives intéressantes à l'utilisation de traitements hormonaux «classiques», dans le contexte général d'une réduction de l'emploi d'hormones au sein de systèmes de production plus durables.

L'existence de bases génétiques fortes pour le contrôle de l'activité saisonnière de reproduction des animaux d'élevage pourrait être explorée plus avant, ceci afin de proposer des critères de sélection et/ou des marqueurs génétiques accessibles aux éleveurs et à leurs organisations qui souhaiteraient réduire l'incidence des effets saisonniers de la reproduction dans leurs troupeaux et sélectionner des caractères de production permettant une bonne adaptation à de nouveaux systèmes d'élevage.

Références

- Agabriel J., Blanc F., Egal D., Dhour P., 2004. Influences combinées de la saison de mise bas et de l'exposition au taureau sur la venue en cyclicité de vaches Charolaises. *Renc. Rech. Rum.*, 11, 398.
- Al-Shorepy S.R., Notter D.R., 1997. Response to selection for fertility in a fall-lambing sheep flock. *J. Anim. Sci.*, 75, 2033-2040.
- Auchtung T.L., Salak-Johnson J.L., Morin D.E., Mallard C.C., Dahl G.E., 2004. Effect of photoperiod during the dry period on cellular immune function of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87, 3683-3689.
- Auchtung T.L., Rius A.G., Kendall P.E., McFadden T.B., Dahl G.E., 2005. Effect of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 88, 121-127.
- Aupinel P., Bonnet J.C., 1996. Influence de la photopériode sur l'activité saisonnière de l'escargot Petit-gris (*Helix aspersa Müller*). Effet spécifique sur la croissance et la reproduction. *INRA Prod. Anim.*, 9, 79-83.
- Balasse M., Smith A.B., Ambrose S.H., Leigh S.R., 2003. Determining sheep birth seasonality by analysis of tooth enamel oxygen isotope ratios: The Late Stone Age site of Kasteelberg (South Africa). *J. Archaeol. Sci.*, 30, 205-215.
- Balasse M., Tresset A., Ambrose S.H., 2006. Stable isotope evidence ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$) for winter feeding on seaweed by Neolithic sheep of Scotland. *J. Zool.*, 270, 170-176.
- Ball G.F., Balthazard J., 2003. Birds return every spring like clockwork, but where is clock? *Endocrinology*, 144, 3739-3741.
- Barrell G.K., Thrun L.A., Brown M.E., Viguie C., Karsch F.J., 2000. Importance of photoperiodic signal quality to entrainment of the circannual reproductive rhythm of the ewe. *Biol. Reprod.*, 63, 769-774.
- Basso B., Mialon-Richard M.M., Dubos F., Bernadet M.D., Marie-Etancelin C., Guy G., Brun J.M., 2006. Relation génétique entre caractères de reproduction et caractères de gavage chez l'oie landaise en conditions lumineuses contrôlées. 7^{èmes} Journ. Rech. Palmipèdes à Foie Gras, 18-19 octobre, Arcachon, France, 21-24.
- Benoit J., 1935. Activation sexuelle obtenue chez le canard par l'éclairement artificiel pendant la période de repos génital. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, France, 199, 1671-1673.
- Billard R., 1986. Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species. *Reprod. Nutr. Dev.*, 26, 877-920.
- Billard R., 1995. Les carpes, biologie et élevage. INRA Editions, Paris, France, 387p.
- Billings H.J., Viguie C., Karsch F.J., Goodman R.L., Connors J.M., Anderson G.M., 2002. Temporal requirements of thyroid hormones for seasonal changes in LH secretion. *Endocrinology*, 143, 2618-2625.
- Björnsson B.T., Halldórsson O., Haux C., Norberg B., Brown C.L., 1998. Photoperiod control of sexual maturation of the Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): plasma thyroid hormone and calcium levels. *Aquaculture*, 166, 117-140.
- Bocquier F., Kann G., Thériez M., 1990. Relationships between secretory patterns of growth hormone, prolactin and body reserves and milk yield in dairy ewes under different photoperiod and feeding conditions. *Anim. Prod.*, 51, 115-125.
- Bocquier F., Ligios S., Molle G., Casu S., 1997. Effets de la photopériode sur la production, la composition du lait et sur les consommations volontaires chez la brebis laitière. *Ann. Zootech.*, 46, 427-438.
- Bonnet E., Fostier A., Bobe J., 2007. Characterization of rainbow trout egg quality: a case study using four different breeding protocols, with emphasis on the incidence of embryonic malformations. *Theriogenology*, 67, 786-794.
- Breton B., Billard R., 1977. Effects of photoperiod and temperature on plasma gonadotropin and spermatogenesis in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Ann. Biol. Anim. Bioch., Biophys.*, 17, 1-10.
- Brillard J.P., 2003. Practical aspects of fertility in poultry. *World's Poultry Sci. J.*, 59, 441-446.
- Bromage N., Jones J., Randall C., Thrush M., Davies B., Springate J., Duston J., Barker G., 1992. Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout. *Aquaculture*, 100, 141-166.
- Bromage N., Porter M., Randall C., 2001. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture*, 197, 63-98.
- Canguilhem B., Vaultier J.P., Pévet P., Coumaros G., Masson-Pévet M., Bentz I., 1988. Photoperiodic regulation of body mass, food intake, hibernation and reproduction in intact and castrated male European hamsters, *Cricetus cricetus*. *J. Comp. Physiol. A.*, 163, 549-557.
- Ceinos R.M., Rábade S., Soengas J.L., Míguez J.M., 2005. Indoleamines and 5-methoxyindoles in trout pineal organ *in vivo*: Daily changes and influence of photoperiod. *Genet. Comp. Endocrinol.*, 144, 67-77.
- Chemineau P., 1986. Sexual behaviour and gonadal activity during the year in the tropical Creole meat goat. I. Female oestrous behaviour and ovarian activity. *Reprod. Nutr. Dev.*, 26, 441-452.
- Chemineau P., Daveau A., Maurice F., Delgadillo J.A., 1992. Seasonality of oestrus and ovulation is not deeply modified by submitting Alpine goats to a tropical photoperiod. *Small Rum. Res.*, 8, 299-312.
- Chemineau P., Daveau A., Pelletier J., Malpaux B., Karsch F.J., Viguie C., 2003. Changes in the 5-HT_{2A} receptor system in the pre-mammillary hypothalamus of the ewe are related to regulation of LH pulsatile secretion by an endogenous circannual rhythm. *BioMedCentral Neurosci.*, 4, 1. <http://www.biomedcentral.com/1471-2202/4/1>
- Chemineau P., Daveau A., Cogne Y., Aumont G., Chesneau D., 2004. Seasonal ovulatory activity exists in tropical Creole female goats and Black Belly ewes subjected to a temperate photoperiod. *BioMedCentral Physiology* 4, 12. <http://www.biomedcentral.com/1472-6793/4/12>
- Chemineau P., Malpaux B., Brillard J.P., Fostier A., 2007. Seasonality of reproduction and production in farm fishes, birds and mammals. *Animal*, 1, 419-423.
- Chemineau P., Malpaux 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.
- Chilliard Y., Delavaud C., Bonnet M., 2005. Leptin expression in ruminants: nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. *Dom. Anim. Endocrinol.*, 29, 3-22.
- Conover D.O., 1992. Seasonality and the scheduling of life history at different latitudes. *J. Fish Biol.*, 41, Suppl. B, 161-178.
- Coulon J.B., Chilliard Y., Rémond B., 1991. Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et des caractéristiques technologiques. *INRA Prod. Anim.*, 4, 219-228.
- Dahl G.E., Petitclerc D., 2003. Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *J. Anim. Sci.*, 81, Suppl.3, 11-17.
- de Reviers M., 1996. Photopériodisme, développement testiculaire et production de spermatozoïdes chez les oiseaux domestiques. *INRA Prod. Anim.*, 9, 35-44.
- Delgadillo J.A., Leboeuf B., Chemineau P., 1992. Abolition of seasonal variations in semen quality and maintenance of sperm fertilizing ability by short photoperiodic cycles in he-goats. *Small Rum. Res.*, 9, 47-59.
- Delgadillo J.A., Leboeuf B., Chemineau P., 1993. Maintenance of sperm production in bucks during a third year of short photoperiodic cycles. *Reprod. Nutr. Dev.*, 33, 609-617.
- Delgadillo J.A., Flores J.A., Veliz F.G., Hernandez H.F., Duarte G., Vielma J., Poindron P., Chemineau P., Malpaux 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.
- Delgadillo J.A., Fitz-Rodríguez G., Duarte G., Veliz F.G., Carrillo E., Flores J.A., Vielma J., Hernandez H., Malpaux B., 2004. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reprod. Fertil. Dev.*, 16, 471-478.
- Delouis C., Mirman B., 1984. Influence de la durée quotidienne d'éclairement sur la production laitière de la chèvre. 9^{èmes} Journ. Rech. Ovine Caprine, Paris, France, 352-360.
- Ekström P., Meissl H., 1997. The pineal organ of teleost fishes. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 7, 199-284.
- Falcón J., 1999. Cellular circadian clocks in the pineal. *Progr. Neurobiol.*, 58, 121-162.
- Faulconnier Y., Bonnet M., Bocquier F., Leroux C., Chilliard Y., 2001. Effects of photoperiod and feeding level on adipose tissue and muscle lipoprotein lipase activity and mRNA level in dry non-pregnant sheep. *Br. J. Nutr.*, 85, 299-306.
- Fontaine P., Pereira C., Wang N., Marie M., 2006. Influence of pre-inductive photoperiod variations on Eurasian perch *Perca fluviatilis* broodstock response to an inductive photothermal program. *Aquaculture*, 255, 410-416.
- Gaildrat P., Falcón J., 2000. Melatonin receptors in the pituitary of a teleost fish: mRNA expression, 2-[I-125]iodomelatonin binding and cyclic AMP response. *Neuroendocrinol.*, 72, 55-66.

- Groupement d'Economie du Bétail, 2006. Insitut de l'Elevage d'après SCEES. Pâtre, 531, 12-13.
- Gomez J.M., Loir M., Le Gac F. 1998. Growth hormone receptors in testis and liver during the spermatogenic cycle in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Biol. Reprod., 58, 483-491.
- Guillaume D., 1996. Action de la photopériode sur la reproduction des équidés. INRA Prod. Anim., 9, 61-69.
- Gwinner E., 2001. Bird migration: its control by endogenous clocks. In: Frontiers of life, the living world. Baltimore D. (Ed), Academic Press, UK, 4, 193-206.
- Gwinner E., 2003. Circannual rhythms in birds. Current Opinion Neurobiol., 13, 770-778.
- Hafez E.S.E., 1952. Studies on the breeding season and reproduction of the ewe. J. Agric. Sci., 42, 189-265.
- Hanocq E., Bodin L., Thimonier J., Teyssier J., Malpaux B., Chemineau P., 1999. Genetics parameters of spontaneous spring ovulatory activity in Merinos d'Arles sheep. Genet. Sel. Evol., 31, 77-90.
- Hansen T., Karlsen Ø., Taranger G.L., Hemre G.I., Holm J.C., Kjesbu O.S., 2001. Growth, gonadal development and spawning time of Atlantic cod *Gadus morhua* reared under different photoperiods. Aquaculture, 203, 51-67.
- Horvath L., 1986. Carp oogenesis and the environment. In: Aquaculture of Cyprinids. Billard R., Marcel J. (Eds). INRA Edition, Paris, France, 109-117.
- Jalabert B., 2005. Particularities of reproduction and oogenesis in teleost fish compared to mammals. Reprod. Nutr. Dev., 45, 261-279.
- Kato M., Konishi T., 1968. The effect of light and temperature on the testicular growth of the Japanese quail. Poultry Sci., 47, 1052-1056.
- Kokokiris L., Le Menn F., Kentouri M., Kagara M., Fostier A., 2001. Seasonal cycle of gonadal development and plasma levels of vitellogenin of the red porgy, *Pagrus pagrus* (Teleostei, Sparidae). Marine Biol., 139, 549-559.
- Larkin J.E., Jones J., Zucker I., 2002. Temperature dependence of gonadal regression in Syrian hamsters exposed to short day lengths. Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Compared Physiol., 282, R744-R752.
- Lehman M.N., Coolen L.M., Goodman R.L., Viguie C., Billings H.J., Karsch F.J., 2002. Seasonal plasticity in the brain: the use of large animal models for neuroanatomical research. Reproduction, Suppl. 59, 149-165.
- Lewis P.D., Perry G.C., 1995. Effects of lighting on reproduction in poultry. In: Poultry Production, C) Production System approach, World Animal Science, Neimann-Sorensen and Tribe (Eds), 16, 359-385.
- Lincoln G., 1979. Photoperiodic control of seasonal breeding in the ram: participation of the cranial sympathetic nervous system. J. Endocrinol., 82, 135-147.
- Magistrini M., Chanteloube P., Palmer E., 1987. Influence of season and frequency of ejaculation on production of stallion semen for freezing. J. Reprod. Fertil., Suppl., 35, 127-133.
- Mahieu M., Jégo Y., Driancourt M.A., Chemineau P., 1989. Reproductive performances of Creole and Black-Belly ewes in the West Indies. A new major gene controlling ovulation rate? Anim. Reprod. Sci., 19, 235-243.
- Maisse G., Breton B., 1983. Production estivale d'œufs de truite par le contrôle photopériodique de la date de ponte. La Pisciculture Française, 71, 25-30.
- Maisse G., Breton B., 1996. Contrôle photopériodique de la reproduction chez les salmonidés. INRA Prod. Anim., 9, 71-77.
- Malpaux B., 2006. Seasonal regulation of reproduction in mammals. In: Physiology of Reproduction, Knobil and Neill's (Eds), 3rd edition, Elsevier, Amsterdam, 2231-2281.
- Malpaux B., Maurice-Mandon F., Daveau A., Chemineau P., 1995. Utilisation de la lumière et de la mélatonine pour la maîtrise de la reproduction des ovins et des caprins. Renc. Rech. Rum., 2, 379-386.
- Malpaux B., Viguie C., Thiery J.C., Chemineau P., 1996. Contrôle photopériodique de la reproduction. INRA Prod. Anim., 9, 9-23.
- McEvoy A., McEvoy J., 1992. Multiple spawning in several commercial fish species and its consequences for fisheries management, cultivation and experimentation. J. Fish Biol., 41 Suppl. B, 125-136.
- Mariana J.C., Mauléon P., Solari A., 1970. Variations saisonnières de l'oestrus et de l'ovulation chez des génisses de race Française Frisonne Pie Noire et Charolaise. Analyse des séquences d'ovulations. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., 10, 567-573.
- Mialon-Richard M.M., Brun J.M., Dubos F., Guy G., Sellier N., 2004. Caractéristiques de la ponte de l'oe landaise en premier cycle sous programme lumineux. 6^{èmes} Journ. Rech. Palmipèdes à Foie Gras, 7-8 octobre, Arcachon, France, 69-72.
- Migaud H., Fontaine P., Sulistyo I., Kestemont P., Gardeur J.N., 2002. Induction of out-of-season spawning in Eurasian perch *Perca fluviatilis*: effects of rates of cooling and cooling durations on female gametogenesis and spawning. Aquaculture, 205, 253-267.
- Mugnier C., Guennoc M., Lebègue E., Fostier A., Breton B., 2000. Induction and synchronisation of spawning in cultivated turbot (*Scophthalmus maximus* L.) broodstock by implantation of a sustained-release GnRH-a pellet. Aquaculture, 181, 241-255.
- Noirault J., Brillard J.P., Bakst M., 2006a. Spermatogenesis in the turkey (*Meleagris gallopavo*): quantitative approach in immature and adult males subjected to various photoperiods. Theriogenology, 65, 845-859.
- Noirault J., Brillard J.P., Bakst M., 2006b. Effect of various photoperiods on testicular weight, weekly sperm output and plasma levels of LH and testosterone over the reproductive season in male turkeys. Theriogenology, 66, 851-859.
- Ortavant R., Pelletier J., Ravault J.P., Thimonier J., Volland P., 1985. Photoperiod: main proximal and distal factor of the circannual cycle of reproduction in farm mammals. Oxford Rev. Reprod. Biol., 7, 305-345.
- Palmer E., Driancourt M.A., 1983. Some interactions of season of foaling, photoperiod and ovarian activity in the equine. Livest. Prod. Sci., 10, 197-210.
- Park Y.J., Park J.G., Kim S.J., Lee Y.D., Rahman M.S., Takemura A., 2006. Melatonin receptor of a reef fish with lunar-related rhythmicity: cloning and daily variations. J. Pineal Res., 41, 166-174.
- Pelletier J., Bodin L., Hanocq E., Malpaux B., Teyssier J., Thimonier J., Chemineau P., 2000. Association between expression of reproductive seasonality and alleles of the gene for melatonin receptor in the ewe. Biol. Reprod., 62, 1096-1101.
- Peters R.R., Chapin L.T., Emery R.S., Tucker H.A., 1981. Milk yield, feed intake, prolactin, growth hormone, and glucocorticoid response of cow to supplemented light. J. Dairy Sci., 64, 1671-1678.
- Quesnel H., Boulou S., Le Cozler Y., 2005. Les variations saisonnières des performances de reproduction chez la truie. INRA Prod. Anim., 18, 101-110.
- Quirke J.F., Hanrahan J.P., Loughnane W., Triggs R., 1986. Components of the breeding and non-breeding seasons in sheep: breed effects and repeatability. Irish J. Agric. Res., 25, 167-172.
- Ricordeau G., 1982. Selection for reduced seasonality and post-partum anoestrus. 2nd Wld Congr. Gen. Applied Livest. Prod., Madrid, Spain, 5, 338-347.
- Rius A.G., Dahl G.E., 2006. Exposure to long-day photoperiod prepubertally may increase milk yield in first-lactation cows. J. Dairy Sci., 89, 2080-2083.
- Rowan W., 1925. Relation of light to bird migration and developmental changes. Nature, 115, 494-495.
- Saboureau M., Vignault M.-P., Ducamp J.J., 1991. L'hibernation chez le Hérisson (*Erinaceus europaeus* L.) dans son environnement naturel: étude par biotélémétrie des variations de la température corporelle. C. R. Acad. Sci., 313, 93-100.
- Saillant E., Chatain B., Fostier A., Fauvel C., 2001. Parental influence on early development in the european sea bass (*Dicentrarchus labrax*). J. Fish Biol., 58, 1585-1600.
- Santiago-Moreno J., Lopez-Sebastian A., Gonzalez-Bulnes A., Gomez-Brunet A., Tortones D., 2001. The timing of the onset of puberty, extension of the breeding season, and length of postpartum anoestrus in the female mouflon (*Ovis gmelini musimon*). J. Zoo Wildlife Med., 32, 230-235.
- Santiago-Moreno J., Lopez-Sebastian A., Gonzalez-Bulnes A., Gomez-Brunet A., Chemineau P., 2000. Seasonal changes in ovulatory activity, plasma prolactin, and melatonin concentrations, in Mouflon (*Ovis gmelini musimon*) and Manchega (*Ovis aries*) ewes. Reprod. Nutr. Dev., 40, 421-430.
- Sauveur B., 1988. Reproduction des volailles et production d'œufs. INRA Editions, Paris, France, 450p.
- Sauveur B., 1996. Photopériodisme et reproduction des oiseaux domestiques femelles. INRA Prod. Anim., 9, 25-34.
- Shi Q., 2005. Melatonin is involved in sex change of the ricefield eel, *Monopterus albus* Zuiew. Rev. Fish Biol. Fisheries, 15, 23-36.
- Shimizu A., 2003. Effect of photoperiod and temperature on gonadal activity and plasma steroid levels in a reared strain of the mummichog (*Fundulus heteroclitus*) during different phases of its annual reproductive cycle. Genet. Comparative Endocrinol., 131, 310-324.
- Stacey N., 2003. Hormones, pheromones and reproductive behavior. Fish Physiol. Biochem., 28, 229-235.

Stanisiewski E.P., Mellenberge R.W., Anderson C.R., Tucker H.A., 1985. Effect of photoperiod on milk yield and milk fat in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 68, 1134-1140.

Su G.S., Liljedahl L.E., Graham A.E. Gall G.A.E., 1997. Genetic and environmental variation of female reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 154, 115-124.

Thimonier J., Mauléon P., 1969. Variations saisonnières du comportement d'oestrus et des activités ovariennes et hypophysaires chez les ovins. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 9, 233-250.

Thimonier J., Sempere A., 1989. La reproduction chez les cervidés. *INRA Prod. Anim.*, 2, 5-21.

Vila-Gispert A., Moreno-Amich R., Garcia-Berthou E., 2002. Gradients of life-history variation: an intercontinental comparison of fishes. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 12, 417-427.

Webb J.H., McLay H.A., 1996. Variation in the time of spawning of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its relationship in the Aberdeenshire Dee, Scotland. *Can. J. Fish Res. Aquatic Fish Sci.*, 53, 2739-2744.

Yenikoye A., 1984. Annual variations in estrual behavior, rate and possibilities for ovulation in Peulh ewes from Niger. *Reprod. Nutr. Dev.*, 24, 11-19.

Zohar Y., Billard R., Weil C., 1984. La reproduction de la daurade (*Sparus aurata*) et du bar (*Dicentrarchus labrax*): connaissance du cycle sexuel et contrôle de la gamétogenèse et de la ponte. In : L'aquaculture du bar et des sparidés. Barnabé G., Billard R. (Eds), INRA Editions, Paris, France, 3-24.

Résumé

Les diverses productions issues d'animaux d'élevage sont fréquemment saisonnières, et par là même leur disponibilité en produits frais sur les marchés (viandes, lait et fromages, oeufs). Ceci relève, en partie, de la décision de l'éleveur qui vise à commercialiser ses produits à la période la plus favorable. Cette saisonnalité peut être aussi imposée par l'accès à des ressources alimentaires saisonnières, comme chez les herbivores, ou par des contraintes biologiques spécifiques, comme celle de la température de l'eau pour les poissons.

Les variations saisonnières de la disponibilité en produits animaux sont aussi la conséquence de contraintes résultant d'une saison de reproduction plus ou moins marquée des animaux d'élevage qu'il s'agisse de poissons, d'oiseaux ou de mammifères. Sous des latitudes moyennes et hautes, la plupart des animaux d'élevage, comme leurs «cousins» sauvages, donnent en effet naissance à leurs petits en fin d'hiver et/ou au début du printemps, période souvent la plus favorable pour la survie des jeunes et la mise en place d'une nouvelle génération. En conséquence, la plupart des espèces manifestent des variations saisonnières de la fréquence d'ovulation (présence ou absence d'ovulations chez les mammifères et les poissons ; variations ou suppression des taux de ponte chez les oiseaux), de la qualité des gamètes (variations des taux de fécondation et de survie embryonnaire), mais aussi du comportement sexuel.

Parmi les espèces d'intérêt en production animale, les oiseaux et les poissons sont généralement considérés comme plus directement sensibles aux facteurs externes (majoritairement température, mais aussi photopériode, pour les poissons ; et photopériode pour les oiseaux). Cependant, chez de nombreuses espèces incluant des mammifères, il est intéressant de constater que des traitements photopériodiques artificiels consistant en un éclairage supplémentaire pendant les jours courts naturels (chez le poulet, la dinde, la pintade, le mouton et la chèvre) ou de la mélatonine pendant les jours longs (chez le mouton et la chèvre), sont utilisés largement pour ajuster la période de reproduction aux souhaits de l'éleveur et/ou pour abolir complètement les variations saisonnières de la production spermatique dans les centres producteurs de semence destinée à l'insémination artificielle (mammifères), et dans les élevages (volaille, poissons). Par ailleurs, des traitements photopériodiques «purs» (sans mélatonine), en particulier lorsqu'ils sont appliqués en bâtiments ouverts, sont non invasifs et donc respectent pleinement le bien-être animal.

Abstract

Seasonal reproduction and production in fish, birds and farm mammals

A large majority of farm animals express seasonal variations in their production traits, thus inducing seasonal availability of fresh derived animal products (meat, milk, cheese and eggs). This pattern is in part the consequence of the farmer's objective to market his/her products during the most economically favourable period. It may also be imposed by the season-dependent access to feed resources, as in ruminants, or by the specific requirements derived from adaptation to environmental conditions such as water temperature in fish. But seasonal variations in animal products are also the consequence of constraints resulting from the occurrence of a more or less marked seasonal reproductive season in most farm animal species including fish, poultry and mammals. Like their wild counterparts, at mid and high latitudes, most farm animals normally give birth at the end of winter-early spring, the most favourable period for the progeny to survive and thus promote the next generation. As a consequence, most species show seasonal variations in their ovulation frequency (mammals and fish: presence or absence of ovulation; birds: variations or suppression of laying rates), spermatogenic activity (from moderate to complete absence of sperm production), gamete quality (variations in fertilisation rates and embryo survival), and also sexual behaviour. Among species of interest for animal production, fishes and birds are generally considered as more directly sensitive to external factors (mainly temperature in fish, photoperiod in birds). In all species, it is therefore advisable that artificial photoperiodic treatments consisting of extra-light during natural short days (in chickens, turkeys, guinea fowl, sheep and goats) or melatonin during long days (in goats, sheep) be extensively used to either adjust the breeding season to the animal producer's needs and/or to completely overcome seasonal variations of sperm production in artificial insemination centres (mammals) and breeder flock operations (poultry, fish farming). Pure light treatments (without melatonin), especially when applied in open barns, could be considered as non invasive ones that fully respect animal welfare.

CHEMINEAU P., MALPAUX B., BRILLARD J.-P., FOSTIER A., 2009. Saisonnalité de la reproduction et de la production chez les poissons, oiseaux et mammifères d'élevage. *Inra Prod. Anim.*, 22, 77-90.