CATHERINE ELEMENT-BOULIANNE

INFLUENCE D'UN PROGRAMME PHOTOPÉRIODIQUE ALTERNANT LES JOURS LONGS ET LES JOURS COURTS SUR LA CAPACITÉ DE REPRODUCTION CHEZ LE BÉLIER

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures et postdoctorales de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en sciences animales
pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M. Sc.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES ANIMALES
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2012

© Catherine Element-Boulianne, 2012

RÉSUMÉ COURT

Dans le but d'évaluer les effets d'une préparation photopériodique des béliers sur leurs performances de reproduction en contre-saison (printemps) et en saison sexuelle (automne), quatorze béliers Suffolk ont été répartis, en novembre, dans l'un des traitements suivants : LN) groupe témoin en lumière naturelle durant toute l'expérimentation; Photo) photopériode alternant 1 mois de jours longs et 1 mois de jours courts de novembre à septembre; Photo/LN) comme Photo de novembre à mai et lumière naturelle de mai à octobre. La circonférence scrotale, la qualité de la semence et la concentration sanguine de testostérone ont été évaluées toutes les deux semaines. Les résultats montrent l'influence positive de la préparation photopériodique des béliers sur la circonférence scrotale, la fertilité, mais surtout sur la productivité en contre-saison. De plus, l'application du traitement photopériodique en contre-saison seulement ne nuirait pas à la fertilité des béliers l'automne suivant.

RÉSUMÉ LONG

Ce projet avait pour but d'évaluer les effets d'une préparation photopériodique des béliers sur leurs performances de reproduction en contre-saison (printemps) et en saison sexuelle (automne). Pour ce faire, en novembre, 14 béliers Suffolk ont été répartis dans trois traitements de préparation photopériodique : LN) groupe témoin en lumière naturelle durant toute l'expérimentation; Photo) photopériode alternant 1 mois de jours longs et 1 mois de jours courts de novembre à septembre : Photo/LN) photopériode alternant 1 mois de jours longs et 1 mois de jours courts de novembre à mai et lumière naturelle de mai à octobre. La circonférence scrotale (CS), la qualité de la semence et la concentration sanguine de testostérone ont été évaluées toutes les deux semaines. Des tests de libido ont également été réalisés avant la répartition des animaux et lors des deux mises en accouplements. Afin d'évaluer la fertilité *in vivo* des béliers en contre-saison sexuelle (mai-juin), ceux-ci ont été mis en accouplement avec des brebis Dorset (DP) dont les chaleurs avaient été synchronisées par un traitement hormonal (saillies synchronisées). Les béliers ont ensuite été mis en accouplement avec des brebis DP n'ayant subi aucune préparation particulière (saillies naturelles). En saison sexuelle (septembre), les béliers ont été placés avec des brebis DP n'ayant subi aucun traitement d'induction des chaleurs. Au moment de la mise en accouplements en contre-saison, la CS des béliers Photo a été plus élevée que celle des béliers LN (35,6 vs 32,4 cm; P = 0,0253). Pour sa part, la qualité de la semence a été variable d'une récolte à l'autre, mais le traitement de photopériode n'a pas influencé la qualité de la semence au cours de l'année. La sécrétion de testostérone et la libido des béliers n'ont pas non plus été affectées par la préparation photopériodique. Le pourcentage d'agnelages lors des accouplements naturels en contre-saison, quoique numériquement supérieur de 9 % chez les béliers Photo, n'a pas été significativement différent entre ces derniers et les béliers du groupe LN. Toutefois, la productivité des brebis saillies par les béliers préparés en photopériode a été supérieure à celle des brebis saillies par les béliers LN (1,43 vs 1,10 agneau né/brebis mise en accouplement; P = 0,0332). En saison sexuelle, aucune différence n'a été notée entre les mâles des trois groupes, tant pour les paramètres de

reproduction avant la mise en accouplement (CS, testostérone, libido, semence) que pour les performances (fertilité, prolificité). Enfin, la préparation photopériodique (traitement ponctuel ou en continu) pourrait améliorer les performances reproductives des béliers en contre-saison.

AVANT-PROPOS

Je tiens de tout cœur à remercier tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce projet. Vous êtes nombreux et sans le travail de tous, ce projet n'aurait pu être réalisé avec autant de succès.

Tout d'abord, mes remerciements les plus sincères au Dr François Castonguay, mon directeur de maîtrise, chercheur à Agriculture et Agroalimentaire Canada. Merci pour le partage de tes connaissances, pour ta grande disponibilité, pour ta légendaire rigueur et, bien sûr, pour ta passion (!!). François, toi à qui on ne laisse pas d'autre choix que de nous faire confiance et d'espérer qu'on termine réellement un jour…voilà, c'est fait. Je serai toujours reconnaissante de tout ce que tu as fait pour moi. Mille mercis, tout aussi sincères, à Mireille Thériault, adjointe de recherche à Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ton aide si étroite du début du projet jusqu'à aujourd'hui a été plus que précieuse. En fait, en écrivant ces lignes, je remarque que je n'ai d'autres choix que de te remercier pour les mêmes grandes qualités que François, soit pour ta constante disponibilité, ta grande rigueur au travail, ton immense aide pour mes analyses statistiques et pour les autres petits problèmes quotidiens « faciles à régler », comme tu les aimais. François et toi avez réussi à me transmettre l'amour du travail bien fait et toutes ces années à travailler avec vous ont fait de moi quelqu'un qui a le souci du détail, une qualité très précieuse à mes yeux. C'est toute ma façon de travailler que vous avez forgée. Malgré tout votre grand professionnalisme, vous avez su transformer les sorties sur le terrain en une partie de plaisir et il s'agit définitivement de très bons souvenirs pour moi !

Je tiens également à remercier ma codirectrice de maîtrise, Dre Janice L. Bailey, du Centre de recherche en biologie de la reproduction (CRBR) du Département des sciences animales de l'Université Laval, pour l'encadrement scientifique du projet concernant le volet touchant à la qualité de la semence. Un merci spécial à Christian Lessard, professionnel de recherche, de m'avoir formé et soutenu au cours de mes séances de laboratoire. Nous avions tant à apprendre !

Un immense merci à tous les membres de l'équipe du Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ), qui sont dorénavant devenus des collègues et amis de travail. Merci spécialement à Sylvain Blanchette, Marie-Claude Litalien et François Dionne d'avoir collaboré d'une manière exceptionnelle à la réalisation des protocoles. La charge de travail était grande : merci !

Des remerciements s'adressent au Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) pour avoir accepté d'appuyer cette étude via le Programme pour l'avancement du secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire (PASCAA) financé par Agriculture et Agroalimentaire Canada. Je veux évidemment souligner la contribution financière du CEPOQ qui a été importante. Je tiens sincèrement à remercier Hélène Méthot, directrice générale du CEPOQ, qui a mis à notre disposition l'argent et les ressources nécessaires à la réalisation de cette étude.

Bien sûr, je tiens à remercier ma famille, mes parents, mes amis (spécialement ma Doodly) pour vos nombreux encouragements. Votre soutien a été indéniable et surtout, il était si précieux. Au cours de trois dernières années, vous vous êtes souvent passé de moi et vous vous faisiez souvent dire « non » : croyez-moi, nous allons maintenant nous reprendre.

Enfin, merci à mon amour, Jonathan, qui m'a encouragée de façon quotidienne et qui m'a transmis énormément de force et de courage. Tu t'es également souvent passé de moi…et je sais que secrètement tu rêves depuis longtemps de me voir quitter les bancs d'école ! Ça y est mon amour, comme je l'ai dit souvent, notre « nouvelle vie » commence.

Au moment d'écrire ces lignes, il est encore difficile de croire pour moi que cette étape de ma vie se termine. C'est avec une immense fierté et surtout, avec le cœur serein, que je tourne enfin la page.

Encore une fois, merci à tous.

TABLE DES MATIÈRES

RESUME COURT ..... **II**

RESUME LONG ..... **III**

AVANT-PROPOS ..... **V**

TABLE DES MATIERES ..... **VII**

LISTE DES TABLEAUX ..... **IX**

LISTE DES FIGURES ..... **X**

CHAPITRE 1. INTRODUCTION **15**

CHAPITRE 2. REVUE DES TRAVAUX ANTERIEURS **17**

2.1. SAISONNALITE DE LA REPRODUCTION CHEZ LE BELIER 17
2.1.1. Variation de l'activité sexuelle du bélier 17
2.1.2. Rôle de la lumière sur la régulation des principales hormones impliquées dans la saisonnalité de la reproduction 19
2.1.2.1. Mélatonine *19*
2.1.2.2. Prolactine *20*
2.1.2.3. GnRH, FSH et LH *21*
2.1.2.4. Testostérone *23*
2.1.3. Effets physiologiques des variations saisonnières 25
2.1.3.1. Sur la libido *25*
2.1.3.2. Sur les mesures testiculaires *29*
2.1.3.3. Sur la qualité de la semence *32*
2.1.4. État photoréfractaire chez le bélier 35
2.2. PROGRAMMES PHOTOPERIODIQUES POUR CONTROLER LA REPRODUCTION DES BELIERS 39
2.2.1. Programmes de photopériode en continu 40
2.2.2. Programmes photopériodiques de séquences longues 45
2.2.3. Programmes photopériodiques fractionnés 52
2.2.4. Programmes photopériodiques de séquences courtes 54
2.3. CONCLUSION 59
2.4. HYPOTHESES ET OBJECTIFS DE RECHERCHE 60
2.5. LISTES DES OUVRAGES CITES 61

CHAPITRE 3. INFLUENCE D'UN PROGRAMME PHOTOPERIODIQUE ALTERNANT LES JOURS LONGS ET LES JOURS COURTS SUR LA CAPACITE DE REPRODUCTION CHEZ LE BELIER **66**

3.1. RESUME 66
3.2. INTRODUCTION 67

3.3. MATERIEL ET METHODES 69
3.3.1. Animaux, logement et alimentation 69
3.3.2. Traitements photopériodiques 71
3.3.3. Mesures physiques 73
3.3.4. Évaluation de la qualité de la semence 73
3.3.4.1. Récolte de la semence 73
3.3.4.2. Analyses standards réalisées à chaque récolte 74
3.3.4.3. Analyses avancées réalisées une fois par mois 75
3.3.5. Évaluation de la libido 76
3.3.5.1. Évaluation initiale 76
3.3.5.2. Évaluation en contre-saison sexuelle 76
3.3.5.3. Évaluation en saison sexuelle 77
3.3.6. Performances de reproduction 77
3.3.6.1. Accouplements en contre-saison sexuelle 78
3.3.6.2. Accouplements en saison sexuelle 79
3.3.7. Dosages hormonaux 80
3.3.8. Analyses statistiques 80
3.4. RESULTATS 83
3.4.1. Répartition initiale des béliers 83
3.4.2. Poids et état de chair des béliers 84
3.4.3. Circonférence scrotale des béliers 84
3.4.4. Qualité de la semence 87
3.4.5. Concentration de la testostérone sanguine 93
3.4.6. Capacité de reproduction 95
3.4.6.1. Accouplements en contre-saison sexuelle 95
3.4.6.2. Accouplements en saison sexuelle 99
3.5. DISCUSSION 102
3.5.1. Variations saisonnières en lumière naturelle 102
3.5.2. Effet de la préparation photopériodique des béliers sur la reproduction en contre-saison sexuelle 104
3.5.3. Effet de la préparation photopériodique des béliers sur la reproduction en saison sexuelle 113
3.6. CONCLUSIONS 114
3.7. LISTES DES OUVRAGES CITES 115

CHAPITRE 4. DISCUSSION GENERALE 121

ANNEXE A. ÉVOLUTION DES PARAMETRES DE QUALITE DE LA SEMENCE 125

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1. FERTILITE DE BREBIS SYNCHRONISEES SAILLIES PAR DES BELIERS A HAUTE ET BASSE CAPACITE A LA SAILLIE 28

TABLEAU 2.2. PERFORMANCES DE REPRODUCTION DE BELIERS A BASSE LIBIDO (BL) ET A HAUTE LIBIDO (HL) MIS EN ACCOUPLEMENT AVEC DES BREBIS SYNCHRONISEES 29

TABLEAU 3.1. REPARTITION INITIALE DES BELIERS A L'INTERIEUR DES TRAITEMENTS DE PHOTOPERIODE 83

TABLEAU 3.2. PARAMETRES DE LA QUALITE DE LA SEMENCE DES BELIERS (MOYENNES AJUSTEES) EN FONCTION DES TRAITEMENTS PHOTOPERIODIQUES POUR LA PERIODE 1 (NOVEMBRE A MAI; N = 13 BELIERS ET 13 RECOLTES) 91

TABLEAU 3.3. PARAMETRES DE LA QUALITE DE LA SEMENCE DES BELIERS (MOYENNES AJUSTEES) EN FONCTION DES TRAITEMENTS PHOTOPERIODIQUES POUR LA PERIODE 2 (JUILLET A AOUT; N = 12 BELIERS ET 5 RECOLTES) 92

TABLEAU 3.4. PARAMETRES DE CAPACITE DE REPRODUCTION DES BELIERS ET PERFORMANCES REPRODUCTIVES LORS DES ACCOUPLEMENTS SUR CHALEURS SYNCHRONISEES EN CONTRE-SAISON SEXUELLE SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE APPLIQUE 95

TABLEAU 3.5. PARAMETRES DE CAPACITE DE REPRODUCTION DES BELIERS ET PERFORMANCES REPRODUCTIVES LORS DES ACCOUPLEMENTS SUR CHALEURS NATURELLES EN CONTRE-SAISON SEXUELLE SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE APPLIQUE..... 96

TABLEAU 3.6. DIFFERENCES INDIVIDUELLES DANS LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION ENTRE LES BELIERS DES TRAITEMENTS LN ET PHOTO* LORS DES ACCOUPLEMENTS SUR CHALEURS NATURELLES EN CONTRE-SAISON 97

TABLEAU 3.7. PARAMETRES DE CAPACITE DE REPRODUCTION DES BELIERS ET PERFORMANCES REPRODUCTIVES LORS DES ACCOUPLEMENTS EN SAISON SEXUELLE SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE APPLIQUE 100

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1. LE CERVEAU ET SES PRINCIPALES COMPOSANTES, DONT LA GLANDE PINEALE, RESPONSABLE DE LA SECRETION DE LA MELATONINE 20

FIGURE 2.2. CONCENTRATIONS PLASMATIQUES DE PROLACTINE CHEZ DES BELIERS EXPOSES A UNE PHOTOPERIODE CONTINUE (● = JOURS COURTS (JC), □ = JOURS LONGS (JL), ▲ = LUMIERE NATURELLE (LN)) PENDANT 16 MOIS. L'ERREUR TYPE DE LA MOYENNE EST PRESENTEE POUR LES GROUPES JL ET JC LORSQUE LA MOYENNE EST SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTE ($P < 0,05$) 22

FIGURE 2.3. VARIATION ANNUELLE DE LA CONCENTRATION EN LH ET EN TESTOSTERONE SERIQUE DE BELIERS FINNISH LANDRACE (BATONNETS BLANCS ET COURBE COMMENÇANT LA PLUS HAUTE) ET SUFFOLK (BATONNETS NOIRS ET COURBE COMMENÇANT LA PLUS BASSE) (MOYENNES ± ETM) 24

FIGURE 2.4. VARIATIONS ANNUELLES DU NOMBRE DE MONTES (A) ET DE SAILLIES (B) DE BELIERS FINNISH LANDRACE (○) ET BLACKFACE (●) SELON LA MOYENNE MENSUELLE DE LA TEMPERATURE ET DE LA DUREE DE LA PHOTOPERIODE 27

FIGURE 2.5. VARIATIONS SAISONNIERES DE LA CIRCONFERENCE SCROTALE DE BELIERS SUFFOLK ET TEXEL 30

FIGURE 2.6. VARIATIONS SAISONNIERES DU DIAMETRE SCROTAL DE BELIERS TEXEL (T), SUFFOLK (S) ET ILE-DE-FRANCE (IDF) (CHAQUE POINT REPRESENTE LA MOYENNE DE TROIS MOIS; WINTER : HIVER; SPRING : PRINTEMPS; AUTUMN : AUTOMNE; SUMMER : ETE) 31

FIGURE 2.7. VOLUME TESTICULAIRE CHEZ DES BELIERS MAINTENUS EN LUMIERE NATURELLE (A - LN), EN JOURS LONGS (B – JL) OU EN JOURS COURTS (C- JC) POUR UNE DUREE DE 34 MOIS (CHAQUE COURBE REPRESENTE UN BELIER) 37

FIGURE 2.8. DIAMETRE SCROTAL (●) ET CONCENTRATIONS PLASMATIQUES DE TESTOSTERONE (○) (MOYENNE ± ETM) CHEZ DES BELIERS SOAY EXPOSES A UN TRAITEMENT DE JOURS LONGS (JL) (EN HAUT) PENDANT 94 SEMAINES PRECEDEES D'UN PRETRAITEMENT DE 16 SEMAINES DE JOURS COURTS (JC) ET CHEZ DES BELIERS EXPOSES A DES JC (EN BAS) PRECEDES D'UN PRETRAITEMENT DE 16 SEMAINES DE JL. LA LIGNE POINTILLEE (- - -) INDIQUE LE DEBUT DES TRAITEMENTS PHOTOPERIODIQUES 38

FIGURE 2.9. EFFETS DE L'AUGMENTATION OU DE LA DIMINUTION DE LA PHOTOPERIODE CHEZ LES BELIERS SUR LA CIRCONFERENCE SCROTALE ET LA CONCENTRATION SERIQUE EN TESTOSTERONE. TOUS LES BELIERS ONT ETE ACCLIMATES PENDANT 4 SEMAINES (22 FEVRIER AU 22 MARS) A UNE PHOTOPERIODE DE 12L:12N AVANT LE DEBUT DES TRAITEMENTS. GROUPE 1 (○) ONT ETE EXPOSES A UNE DUREE DU JOUR DECROISSANTE ET LE GROUPE 2 (●) A UNE DUREE DU JOUR CROISSANTE POUR UNE PERIODE DE 10 SEMAINES 41

FIGURE 2.10. CIRCONFERENCE SCROTALE DE BELIERS SUFFOLK (N=5) EXPOSES A DES JOURS COURTS ARTIFICIELS DURANT LA CONTRE-SAISON SEXUELLE (○) ET DE BELIERS (N=5) MAINTENUS EN LUMIERE NATURELLE CROISSANTE (●) 42

FIGURE 2.11. NOMBRE DE SPERMATOZOÏDES MOTILES PAR EJACULAT ET CIRCONFERENCE SCROTALE DE QUATRE GROUPES DE BELIERS EXPOSES A DIFFERENTES PHOTOPERIODES. LE GROUPE 1 (A) ETAIT EXPOSE A DES JOURS COURTS (JC) CONTINUS. LES GROUPES 2 (B), 3 (C) ET 4 (D) ETAIENT EXPOSES A QUATRE MOIS DE JC ALTERNANT 1, 2 OU 4 MOIS (BARRES VERTICALES OMBRAGEES) RESPECTIVEMENT DE JOURS LONGS (JL). TOUS LES BELIERS ETAIENT INITIALEMENT EXPOSES A QUATRE MOIS DE JC (LE PREMIER MOIS SUR LA FIGURE CORRESPOND AU DERNIER MOIS DE JC), PUIS A TROIS MOIS DE JL (MOIS 2, 3 ET 4). LES FLECHES INDIQUENT LES MOMENTS OU LES CONCENTRATIONS DE TESTOSTERONE SONT A LEURS PLUS BASSES 44

FIGURE 2.12. INFLUENCE DE LA DUREE D'ECLAIREMENT ARTIFICIEL SUR LA PRODUCTION SPERMATIQUE HEBDOMADAIRE DE BELIERS ILE-DE-FRANCE (N = 5, 2 X 2 EJ. / ♂ /SEM.). UN PREMIER GROUPE (A ; N= 5) A ETE EXPOSE A SIX MOIS DE LUMIERE CROISSANTE (8 A 16 HEURES), PUIS SIX AUTRES MOIS EN LUMIERE DECROISSANTE (16 A 8 HEURES). LE DEUXIEME GROUPE (B ; N= 5) A REÇU LA PHOTOPERIODE INVERSE 46

FIGURE 2.13. CHANGEMENTS DANS LE DIAMETRE SCROTAL DE BELIERS EN REPONSE A UNE PHOTOPERIODE ALTERNANT 4 MOIS DE JOURS COURTS (BARRES PLEINES) ET 4 MOIS DE JOURS LONGS (BARRES VIDES) 48

FIGURE 2.14. VARIATIONS DU DIAMETRE SCROTAL CHEZ DES BELIERS DORSET (D), FINNISH LANDRACE (F), RAMBOUILLET (R) ET SUFFOLK (S) EXPOSES A UNE PHOTOPERIODE ALTERNANT 3 MOIS DE JOURS COURTS (JC) ET 3 MOIS DE JOURS LONGS (JL) 49

FIGURE 2.15. VARIATIONS DE LA CONCENTRATION SERIQUE EN LH (●) ET EN TESTOSTERONE (-) CHEZ LES BELIERS DORSET (D), FINNISH LANDRACE (F), RAMBOUILLET (R) ET SUFFOLK (S) EXPOSES A UNE PHOTOPERIODE ALTERNANT TROIS MOIS DE JOURS COURTS (JC) ET 3 MOIS DE JOURS LONGS (JL) 50

FIGURE 2.16. VARIATIONS DU POIDS TESTICULAIRE (B) DES BELIERS DU GROUPE TEMOIN (GROUPE I (● - ●) : VARIATION PROGRESSIVE DE 8 A 16 HEURES/JOUR, PUIS INVERSEMENT, SUR UNE PERIODE DE TROIS MOIS) ET EXPERIMENTAL (GROUPE II (○ - ○) : REGIME LUMINEUX SIMILAIRE AU GROUPE I, MAIS LA DUREE TOTALE DE LUMIERE PAR JOUR EGALE TOUJOURS HUIT HEURES ET EST DONNEE EN DEUX FRACTIONS). DANS LE GROUPE II, L'OUVERTURE DES LUMIERES DE LA PRINCIPALE PHASE DE LUMIERE CORRESPOND A CELLE DU GROUPE I, TANDIS QUE LE FLASH LUMINEUX D'UNE HEURE COÏNCIDE AVEC LA DERNIERE HEURE DE LA PHOTOPERIODE DU GROUPE I (AIRE OMBRAGEE = NOIRCEUR) 53

FIGURE 2.17. VARIATION DU POIDS TESTICULAIRE DE BELIERS ILE-DE-FRANCE (—) SELON LE TRAITEMENT LUMINEUX (...) DANS LEQUEL LA DUREE DES CYCLES DE JOURS CROISSANTS ET DECROISSANTS ETAIT DE 6, 4, 3 OU 2 MOIS (N = 6 DANS CHAQUE GROUPE) 55

FIGURE 2.18. VARIATION DU POIDS TESTICULAIRE (—) (± ETM) DE BELIERS ILE-DE-FRANCE (N = 6) EXPOSES A DES CYCLES PHOTOPERIODIQUES COURTS (...) : A) DES JOURS LONGS (JL) CROISSANTS ET DES JOURS COURTS (JC) DECROISSANTS EN ALTERNANCE CHAQUE MOIS.; B) DES JC ET DES JL EN ALTERNANCE CHAQUE MOIS; C) PHOTOPERIODE FRACTIONNEE, SOIT DES JC ET DES JL (DONNES EN DEUX BLOCS, UN DE 7 H ET UN DE 1 H (FLASH LUMINEUX) DONNE 15-16 H APRES L'AUBE) EN ALTERNANCE CHAQUE MOIS 57

FIGURE 2.19. DIAMETRE SCROTAL DE BELIERS SUFFOLK EXPOSES A LA LUMIERE NATURELLE (□), EXPOSES A UN MOIS DE JOURS LONGS (JL) ET UN MOIS DE JOURS COURTS (JC) (●) ET EXPOSES A UN MOIS DE JC STANDARDS ET A UN MOIS DE JL FRACTIONNES (7L:9N:1L:7N) (○). SD (« SHORT DAY ») = JOURS COURTS; LD (« LONG DAY ») = JOURS LONGS 58

FIGURE 3.1. TEMPERATURES MINIMALES (A) ET MAXIMALES (B) AUXQUELLES ONT ETE EXPOSES LES BELIERS DES GROUPES LN (○ : LUMIERE NATURELLE DURANT TOUTE L'EXPERIENCE), PHOTO (✳ : PHOTOPERIODE ALTERNANT 1 MOIS DE JOURS LONGS (16 H/J DE LUMIERE) ET 1 MOIS DE JOURS COURTS (8 H/J DE LUMIERE) DURANT TOUTE L'EXPERIENCE) ET PHOTO/LN (✳ JUSQU'A L'ACCOUPLEMENT EN CONTRE-SAISON SEXUELLE, PUIS ○ JUSQU'A LA FIN DE L'ETUDE). LES DEUX PERIODES D'ACCOUPLEMENTS SONT DELIMITEES SUR LA FIGURE PAR LES ZONES OMBRAGEES, MOMENTS PENDANT LESQUELS TOUS LES ANIMAUX ETAIENT EXPOSES AUX MEMES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES 70

FIGURE 3.2. PROGRAMMES PHOTOPERIODIQUES IMPOSES AUX BELIERS DES TROIS TRAITEMENTS EXPERIMENTAUX ET SCHEMATISATION DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL (*ACC. CS* : ACCOUPLEMENTS EN CONTRE-SAISON; *SYN* : CHALEURS SYNCHRONISEES; *NAT* : CHALEURS NATURELLES; *ACC. SS* : ACCOUPLEMENTS EN SAISON SEXUELLE; *LN* : LUMIERE NATURELLE DURANT TOUTE L'EXPERIENCE; *PHOTO* : PHOTOPERIODE ALTERNANT 1 MOIS DE JOURS LONGS (16 H/J DE LUMIERE) ET 1 MOIS DE JOURS COURTS (8 H/J DE LUMIERE) DURANT TOUTE L'EXPERIENCE; *PHOTO/LN* : MEME TRAITEMENT QUE PHOTO DE NOVEMBRE A MAI (PERIODE 1) ET RETOUR EN LUMIERE NATURELLE DE MAI A OCTOBRE (PERIODE 2) 72

FIGURE 3.3. ÉVOLUTION DU POIDS VIF (—○—) DES BELIERS SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 85

FIGURE 3.4. ÉVOLUTION DE LA CIRCONFERENCE SCROTALE (—○—) DES BELIERS SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE. EFFET TRAITEMENT : ✳ VS • $P < 0,05$ ET ✳ VS □ $P < 0,10$ 86

FIGURE 3.5. ÉVOLUTION DU VOLUME DES EJACULATS (—○—) DES BELIERS SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE. EFFET TRAITEMENT : ✳ VS • $P < 0,05$ 88

FIGURE 3.6. ÉVOLUTION DE LA PROPORTION DE SPERMATOZOÏDES MORTS (—○—) DES BELIERS SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE. EFFET TRAITEMENT : ✳ VS • $P < 0,05$ ET ✳ VS □ $P < 0,10$ 89

FIGURE 3.7. ÉVOLUTION DU POURCENTAGE DE SPERMATOZOÏDES DES BELIERS AYANT EFFECTUE LA REACTION ACROSOMIALE (—○—) SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE. EFFET TRAITEMENT : ✳ VS • $P < 0,05$ 90

FIGURE 3.8. ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE TESTOSTERONE SANGUINE (—○—) DES BELIERS SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE. EFFET TRAITEMENT : ✳ VS • $P < 0,05$ ET ✳ VS □ $P < 0,10$ 94

FIGURE 3.9. REPARTITION DES SAILLIES FECONDANTES LORS DES ACCOUPLEMENTS SUR CHALEURS NATURELLES EN CONTRE-SAISON SEXUELLE. A) PHOTO* : PHOTOPERIODE ALTERNANT 1 MOIS DE JOURS LONGS (16 H/J DE LUMIERE) ET 1 MOIS DE JOURS COURTS (8 H/J DE LUMIERE); B) LN : LUMIERE NATURELLE (LN) DURANT TOUTE L'EXPERIENCE (GROUPE TEMOIN) 98

FIGURE 3.10. CORRELATION ENTRE LES RESULTATS DE FERTILITE DES ACCOUPLEMENTS SUR CHALEURS NATURELLES EN CONTRE-SAISON ET LA CIRCONFERENCE SCROTALE DES BELIERS 99

FIGURE 3.11. REPARTITION DES SAILLIES FECONDANTES LORS DES ACCOUPLEMENTS SUR CHALEURS NATURELLES EN SAISON SEXUELLE. A) PHOTO : PHOTOPERIODE ALTERNANT 1 MOIS DE JOURS LONGS (16 H/J DE LUMIERE) ET 1 MOIS DE JOURS COURTS (8 H/J DE LUMIERE); B) PHOTO/LN : COMME LE TRAITEMENT PHOTO DE NOVEMBRE A MAI ET RETOUR EN LN DE MAI A OCTOBRE; C) LN : LUMIERE NATURELLE (LN) DURANT TOUTE L'EXPERIENCE (GROUPE TEMOIN) 101

FIGURE A.1. ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION SPERMATIQUE (—○—) DES EJACULATS SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 126

FIGURE A.2. ÉVOLUTION DE LA MOTILITE MASSALE DES EJACULATS (—○—) SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 127

FIGURE A.3. ÉVOLUTION DE LA MOTILITE TOTALE (—○—) DES SPERMATOZOÏDES (SEMENCE FRAICHE) SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 128

FIGURE A.4. ÉVOLUTION DE LA MOTILITE TOTALE (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 129

FIGURE A.5. ÉVOLUTION DE LA MOTILITE PROGRESSIVE (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 130

FIGURE A.6. ÉVOLUTION DES DIFFERENTS PATRONS DE CAPACITATION (F : NON CAPACITES (—○—), B : CAPACITES MAIS N'AYANT PAS SUBI LA REACTION ACROSOMIALE (—□—), AR : CAPACITES ET AYANT SUBI LA REACTION ACROSOMIALE (—△—)) DES SPERMATOZOÏDES, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE. EFFET TRAITEMENT : ✱ VS • $P < 0,05$ ET ✱ VS ◘ $P < 0,10$ 131

FIGURE A.7. ÉVOLUTION DU POURCENTAGE DE SPERMATOZOÏDES CAPACITES ET AYANT SUBI LA REACTION ACROSOMIALE (—○—), EVALUE PAR CYTOMETRIE EN FLUX, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 132

FIGURE A.8. ÉVOLUTION DU POURCENTAGE DE SPERMATOZOÏDES MORTS (—○—), EVALUE PAR CYTOMETRIE EN FLUX, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 133

FIGURE A.9. ÉVOLUTION DU POURCENTAGE DES SPERMATOZOÏDES VIVANTS ET N'AYANT PAS FAIT LEUR REACTION ACROSOMIALE (NON-RA) (—○—), EVALUE EN CYTOMETRIE EN FLUX, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 134

FIGURE A.10. ÉVOLUTION DE L'INDICE DE FRAGMENTATION DE L'ADN (—○—), EVALUE EN CYTOMETRIE EN FLUX, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 135

FIGURE A.11. ÉVOLUTION DE LA VITESSE CURVILINEAIRE (VCL) (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 136

FIGURE A.12. ÉVOLUTION DE LA VITESSE DE PROGRESSION LINEAIRE (VSL) (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 137

FIGURE A.13. ÉVOLUTION DE LA VITESSE MOYENNE SUR LE PARCOURS LISSE (VAP) (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 138

FIGURE A.14. ÉVOLUTION DE L'AMPLITUDE DE BATTEMENT LATERAL DE LA TETE (ALH) (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE. EFFET TRAITEMENT : ✱ VS • P < 0,05 139

FIGURE A.15. ÉVOLUTION DE LA FREQUENCE DE LA TRAJECTOIRE MOYENNE (BCF) (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 140

FIGURE A.16. ÉVOLUTION DE LA RECTITUDE DE LA TRAJECTOIRE (STR) (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 141

FIGURE A.17. ÉVOLUTION DE LA LINEARITE DE LA TRAJECTOIRE (LIN) (—○—) DES SPERMATOZOÏDES, EVALUEE PAR LE CASA, SELON LE TRAITEMENT PHOTOPERIODIQUE (—) APPLIQUE 142

CHAPITRE 1.

INTRODUCTION

À l'instar des autres productions animales, la rentabilité des entreprises ovines repose en grande partie sur le succès de la reproduction du troupeau. Malheureusement, de façon générale, la productivité des fermes ovines au Québec est relativement faible. Une des composantes de la productivité est le nombre d'agnelages/brebis/année, paramètre qui témoigne du rythme de reproduction. Dans les élevages ovins, ce paramètre se situe à seulement 1,06 (CECPA, 2007[1]), mais pourrait potentiellement s'élever à 1,5, dans un régime de production accéléré de trois agnelages en deux ans. Ce faible rythme de reproduction est principalement dû à la saisonnalité de la reproduction chez les ovins, ce qui cause une baisse de fertilité au printemps et à l'été (contre-saison sexuelle) ainsi qu'un ralentissement du rythme de reproduction global du troupeau.

Lorsqu'il est question des insuccès de la reproduction dans un troupeau, les brebis sont souvent pointées du doigt. En effet, les méthodes de désaisonnement actuellement utilisées par les producteurs ovins québécois pour tenter de contrer cette particularité saisonnière de cette espèce sont principalement orientées vers les femelles (traitements hormonaux à base de progestagènes (CIDR[2]), programme de photopériode). Très peu d'efforts sont dirigés vers les béliers et trop souvent, malheureusement, les performances reproductrices des béliers sont tenues pour acquises. Pourtant, tout comme c'est le cas pour la brebis, la capacité de reproduction des béliers (circonférence scrotale, libido, qualité de la semence, etc.) présente des variations saisonnières. Cependant, puisque les béliers ne perdent jamais totalement la capacité de s'accoupler durant l'année, comme c'est le cas des brebis en période d'anoestrus saisonnier, il est facile d'oublier que leur fertilité peut être influencée par la saison de reproduction. Ainsi, comme pour la brebis, les paramètres de reproduction des béliers sont à leur plus bas niveau en période de jours longs (JL), soit au printemps et

[1] Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2007. Étude sur le coût de production des agneaux en 2006 au Québec. Lévis, QC, Canada. 83 pp.

[2] CIDR (*Control Internal Drug Release*) est le nom commercial d'un distributeur de progestérone intravaginal.

en été (d'avril à août). Cette période correspond à la contre-saison sexuelle. La saison sexuelle s'étend donc, quant à elle, du mois de septembre au mois de mars, c'est-à-dire lors des jours courts (JC). En effet, comme c'est le cas chez la brebis, il a été montré que c'est la photopériode qui est le principal signal expliquant la variation saisonnière de la capacité de reproduction des béliers. Une des façons de contrôler l'activité sexuelle des béliers pourrait donc consister à leur faire subir un traitement de photopériode alternant des JL et des JC, comme chez la brebis. Des études montrent effectivement que certains traitements de photopériode ont un impact sur les paramètres liés à l'activité de reproduction des béliers. Toutefois, aucune étude n'a montré que les améliorations des mesures indirectes de la capacité de reproduction observées avec la photopériode puissent se refléter réellement sur la fertilité et la prolificité des brebis en conditions d'accouplement.

Le projet de recherche, dont les résultats sont présentés dans ce mémoire, avait donc pour objectif d'évaluer les effets d'une préparation photopériodique des béliers, afin d'optimiser l'activité de reproduction durant toute l'année et ainsi accroître la productivité annuelle des élevages ovins. Le présent ouvrage comporte également une revue des travaux antérieurs portant sur la saisonnalité de la reproduction du bélier ainsi que sur les programmes photopériodiques déjà étudiés pour contrôler la reproduction chez le bélier.

CHAPITRE 2.

REVUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

2.1. SAISONNALITE DE LA REPRODUCTION CHEZ LE BELIER

2.1.1. Variation de l'activité sexuelle du bélier

En conditions naturelles, ce sont les variations annuelles de la durée du jour qui permettent aux animaux de créer leur historique photopériodique. Ainsi, la synchronisation de la reproduction saisonnière automnale résulte d'une exposition à une séquence lumineuse de jours croissants avant le solstice d'été et à une réduction de la durée journalière par la suite (Sweeney *et al.*, 1997). En conditions artificielles, il a été montré que l'alternance entre les périodes de jours longs (JL) et de jours courts (JC) permet de créer un historique photopériodique qui synchronise le rythme de reproduction endogène chez les ovins (Chemineau *et al.*, 1988). Plusieurs études évaluant les effets de la saison sur la reproduction des béliers montrent des variations saisonnières concernant la libido (Pepelko et Clegg, 1965; Land, 1970; Derycke *et al.*, 1990), la testostérone (Schanbacher et Lunstra, 1976; Dufour *et al.*, 1984; Langford *et al.*, 1987; Pelletier et Almeida, 1987), la circonférence scrotale (CS) (Mickelsen *et al.*, 1981; Dufour *et al.*, 1984; Schanbacher, 1988; Chemineau *et al.*, 1992; Mandiki *et al.*, 1998) et la quantité ou la qualité de la semence (Colas *et al.*, 1972; Colas, 1980; Dacheux *et al.*, 1981; Mandiki *et al.*, 1998; Karagiannidis *et al.*, 2000; Kafi *et al.*, 2004). Les valeurs optimales pour ces paramètres sont obtenues en JC, tandis que les valeurs défavorables sont observées en JL. Une fois ces variations démontrées, de nombreux chercheurs ont expérimenté différents programmes de photopériode pour moduler l'activité sexuelle des béliers, études qui ont permis de confirmer que la reproduction des béliers est effectivement contrôlée par l'alternance entre les JL et JC, d'une manière similaire à la brebis. Ces expériences seront présentées plus en détail dans les prochaines sections.

Outre la photopériode, la température est l'un des facteurs environnementaux qui semblent avoir beaucoup d'influence sur les performances reproductives des ovins. Par contre, ce facteur ne serait pas responsable, à lui seul, de la synchronisation de la reproduction chez les animaux saisonniers. En effet, Wodzicka-Tomaszewska *et al.* ont montré, en 1967, que des fluctuations artificielles de la température n'altèrent pas le patron de reproduction annuel des ovins. Chez les mâles, les stress thermiques peuvent toutefois avoir des effets adverses sur la libido, la production de semence, la qualité de la semence et la capacité fécondante (Alliston *et al.*, 1961; Chemineau, 1993). En effet, Colas (1980) a montré que des températures de 29 °C à 30 °C pouvaient rapidement entraîner des altérations morphologiques de la semence de béliers. Il avait également observé qu'une exposition de seulement quelques heures par jour à ces températures, durant deux à trois jours consécutifs, augmentait la proportion de spermatozoïdes anormaux. Par contre, cet effet n'était pas observable si l'exposition ne durait qu'une journée.

Ainsi, l'espèce ovine est considérée comme une espèce saisonnière ayant des mécanismes reproductifs endogènes très sensibles à l'environnement immédiat, tant chez les mâles que chez les femelles. Chez la brebis, la présence d'un rythme endogène de reproduction a été mise en évidence par la réalisation d'expériences qui utilisaient des femelles qui ne pouvaient pas percevoir les variations lumineuses de leur environnement. Ainsi, Legan et Karsch (1983) notèrent que des brebis ovariectomisées et ayant subi une énucléation bilatérale des yeux, présentaient des variations annuelles marquées de la sécrétion de LH. Chez ces femelles, la sécrétion de LH était plus élevée en automne et en hiver et diminuait de manière importante au printemps et en été. Des brebis aveugles, dont les ovaires étaient intacts, présentaient également des variations identiques de l'activité saisonnière ovarienne (Legan et Karsch, 1983). Des résultats similaires furent observés chez des femelles qui avaient subi l'ablation de la glande pinéale, glande responsable de la sécrétion de la mélatonine (Bittman *et al.*, 1983; Karsch *et al.*, 1986). Ces études montraient que la reproduction saisonnière des ovins était sous le contrôle d'un rythme endogène, qui pouvait être indépendant de l'information photopériodique externe. De plus, ce processus endogène semblait résulter de la présence d'un *rythme circannuel de reproduction*, c'est à dire d'un

rythme endogène entraînant la reproduction des femelles à un intervalle d'environ 365 jours (j) (Robinson et Karsch, 1988; Sweeney et O'Callaghan, 1995).

Tout comme les brebis, les béliers sont très influencés par les variations annuelles de la durée du jour. L'historique photopériodique et l'alternance entre les périodes de JC et de JL sont donc des composantes essentielles au contrôle de la reproduction chez les béliers.

2.1.2. Rôle de la lumière sur la régulation des principales hormones impliquées dans la saisonnalité de la reproduction

La régulation de la reproduction des béliers par la photopériode implique de nombreuses hormones. Ces dernières, ainsi que leurs mécanismes d'action, feront l'objet de la présente section.

2.1.2.1. Mélatonine

La mélatonine (MEL), une hormone sécrétée par la glande pinéale (Figure 2.1), est l'hormone responsable de la « traduction » du message lumineux chez les animaux. La MEL est une neurohormone synthétisée par les pinéalocytes à partir d'un neurotransmetteur, la sérotonine, qui dérive elle-même du tryptophane, un acide aminé essentiel. La luminosité ambiante est d'abord perçue par les photorécepteurs à l'intérieur de la rétine des yeux de l'animal. Cette information est ensuite traitée par le noyau suprachiasmatique de l'hypothalamus qui orchestre la régulation circadienne[3]. Un signal neuronal est alors envoyé, via des relais nerveux, vers la glande pinéale, la grande responsable de la synthèse nocturne de la MEL. En effet, la MEL est libérée la nuit et, à l'inverse, la lumière inhibe la synthèse de MEL. Ce sont les récepteurs adrénergiques des pinéalocytes qui permettent la perception de l'obscurité et ainsi la synthèse et la libération de la MEL. Ainsi, lorsque les nuits sont longues (période de JC – automne et hiver) la sécrétion de MEL est longue et c'est la durée de sécrétion de cette hormone qui permettrait

[3] Les horloges circadiennes sont responsables de la génération des rythmes circadiens. Un rythme circadien est un rythme biologique d'une durée d'environ 24 heures. Ce rythme a des conséquences sur les processus physiologiques des êtres vivants.

aux animaux de reconnaître la durée du jour et ainsi reconnaître la saison de reproduction (Karsch *et al.*, 1988).

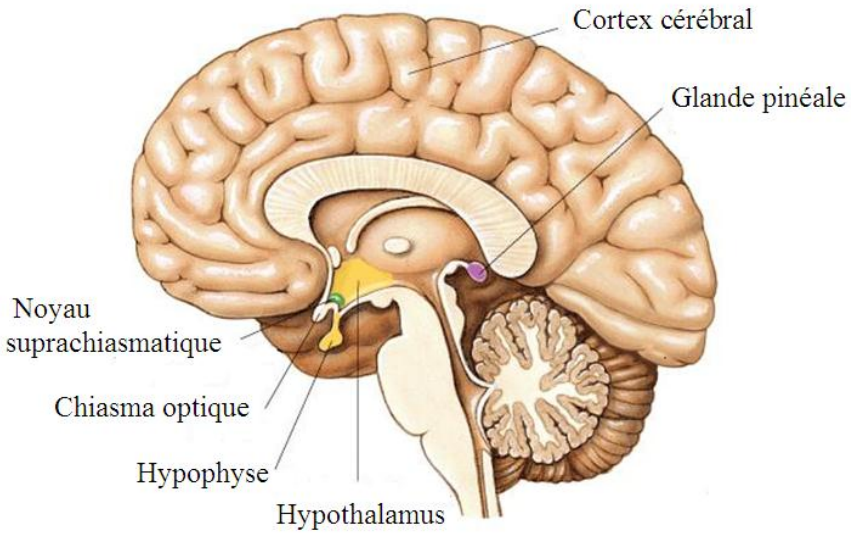

Figure 2.1. Le cerveau et ses principales composantes, dont la glande pinéale, responsable de la sécrétion de la mélatonine

Adaptée de Humanity Healing Network, 2010

2.1.2.2. Prolactine

Reconnue pour jouer un rôle majeur dans le bon fonctionnement de la libido, la prolactine est sécrétée au niveau du lobe tubéral, ou *pars tuberalis*, une partie du lobe antérieur de l'hypophyse. C'est ce tissu qui régule la sécrétion saisonnière de prolactine. C'est la MEL qui est reconnue pour agir directement sur les cellules du *pars tuberalis*, afin de réguler les changements photopériodiques de la sécrétion de la prolactine (Lincoln et Clarke, 1994). Une molécule importante appelée « tubéraline » est produite dans l'hypophyse. Cette molécule envoie des signaux à l'hypophyse lorsque les journées commencent à allonger. L'hypophyse accroît alors sa production et sa libération de prolactine.

Des chercheurs des universités d'Édimbourg et de Manchester, au Royaume-Uni, ont découvert récemment deux gènes (Eya3 et TAC1) qui sont activés lorsque les journées allongent au printemps. L'équipe a découvert que le gène TAC1 était uniquement activé en présence du gène Eya3, ce qui laisse suggérer qu'une partie du rôle d'Eya3 consiste à

réguler TAC1, afin qu'il s'active lorsque les jours allongent (Dupré *et al.*, 2010). Les substances produites par le gène TAC1 (NKA et « substance P »[4]) serviraient à contrôler la sécrétion saisonnière de la prolactine dans les cellules lactotrophes de l'hypophyse.

Ces récentes découvertes scientifiques aident à mieux comprendre pourquoi les béliers présentent un important rythme circadien de sécrétion de prolactine lorsqu'ils sont en JL et un rythme faible ou absent sous l'effet des JC. C'est ce qu'ont observé Howles *et al.* (1980) en exposant des béliers à une photopériode continue (JL, JC ainsi qu'un groupe témoin en lumière naturelle (LN)) pour une durée de 16 mois (Figure 2.2). Les basses concentrations de prolactine chez les béliers exposés plusieurs mois à des JC correspondent à la corrélation négative trouvée entre les concentrations plasmatiques de prolactine et les comportements sexuels (Howles *et al.*, 1980). Aussi, l'induction d'une hypoprolactinémie chez des béliers durant les JL cause un délai dans le développement testiculaire au cours des JC subséquents, ce qui suggère que l'augmentation de la concentration en prolactine durant les JL est requise pour stimuler le développement testiculaire durant les JC (Regisford et Katz, 1993).

2.1.2.3. GnRH, FSH et LH

L'activité testiculaire chez le bélier est principalement dictée par un facteur hypothalamique, la LHRH (« Luteinizing Hormone Releasing Hormone ») ou aussi appelé GnRH (« Gonadotropin Releasing Hormone »). Cette hormone peptidique est responsable de la synthèse et de la sécrétion de la FSH et de la LH, deux gonadotrophines sécrétées par les cellules gonadotropes du lobe antérieur de l'hypophyse, ou adénohypophyse. Aussi, la GnRH est une neurohormone, car ce sont les neurones de l'hypothalamus qui la synthétisent.

[4] La « substance P » et le NKA sont deux neurotransmetteurs de la famille des tachykinines, une grande famille de neuropeptides. La « substance P » est le premier neuropeptide à avoir été purifié (d'où « P » pour « powder » - poudre en anglais) et le NKA signifie « neurokinine A ».

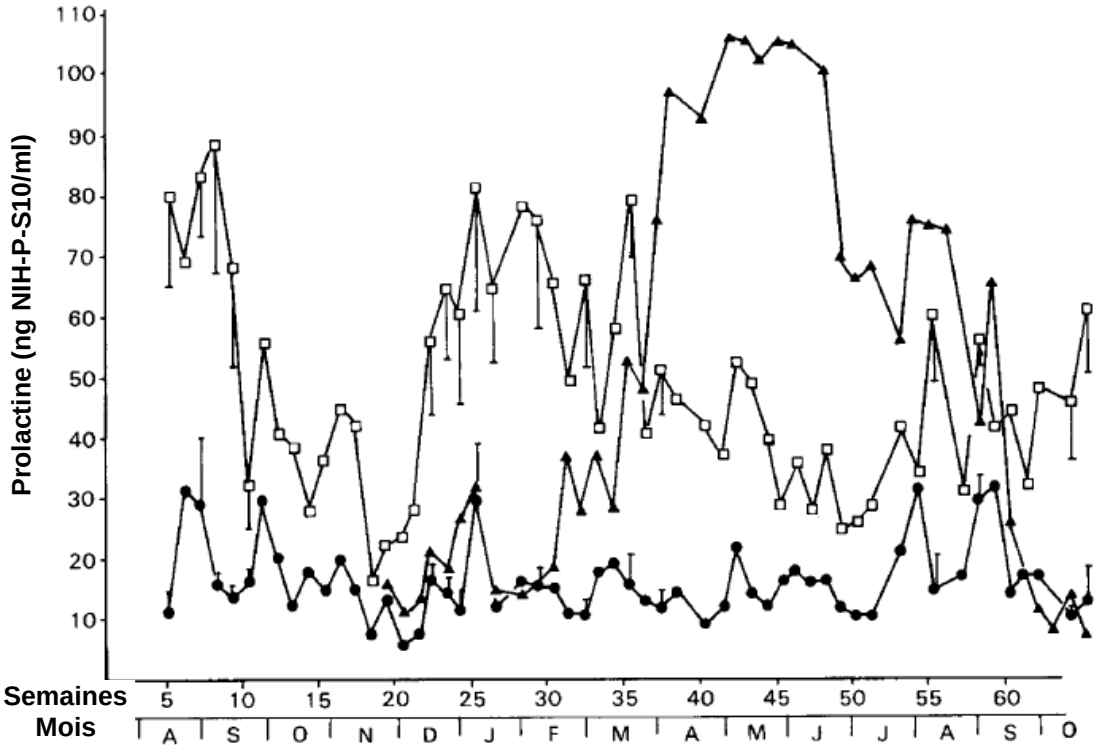

Figure 2.2. Concentrations plasmatiques de prolactine chez des béliers exposés à une photopériode continue (● = jours courts (JC), □ = jours longs (JL), ▲ = lumière naturelle (LN)) pendant 16 mois. L'erreur type de la moyenne est présentée pour les groupes JL et JC lorsque la moyenne est significativement différente ($P < 0,05$)

Adaptée de Howles *et al.*, 1980

La LH intervient essentiellement en contrôlant la production de testostérone par les cellules de Leydig, ou interstitielles, localisées entre les tubes séminifères dans les testicules. La FSH pour sa part stimule la spermatogenèse en agissant directement sur les cellules de Sertoli, qui jouent un rôle essentiel dans le contrôle du métabolisme et de la différenciation des cellules germinales. Les cellules de Sertoli sont situées dans les tubes séminifères des testicules (Gilles *et al.*, 2006).

Quotidiennement, la fréquence des pics de GnRH augmente au printemps, ce qui induit parallèlement une augmentation du nombre de pics de LH. Ces derniers stimulent à leur tour l'activité spermatogénique en été, ce qui assure le début de la période de reproduction

vers la fin de l'été (Pelletier *et al.*, 1982; Pelletier, 1996). De façon générale, la concentration de LH présente dans le plasma sanguin des béliers est plus basse durant l'hiver et le début du printemps et plus élevée au cours de l'été, avant la saison sexuelle. Cependant, la concentration de LH plasmatique peut varier d'un sujet à l'autre selon, par exemple, leur race ou leur latitude géographique (Pelletier et Almeida, 1987). Même si la sécrétion de la FSH tend à être plus constante et stable que celle de la LH, les concentrations sériques en FSH sont plus élevées au cours de la saison de reproduction, soit au mois de septembre selon Sanford *et al.* (1977).

2.1.2.4. Testostérone

Bien que de faibles quantités soient également sécrétées par les glandes surrénales, la testostérone est une hormone stéroïdienne majoritairement sécrétée par les testicules, via les cellules de Leydig. Elle a une action permanente et surtout indispensable sur les vésicules séminales et la prostate. La testostérone produite par les testicules agit sur l'axe hypothalamo-hypophysaire. Cette action est inhibitrice puisqu'en se fixant sur des récepteurs cellulaires, elle ralentit l'activité de l'hypothalamus. La testostérone est fabriquée en réponse à la libération de la LH, cette dernière étant libérée à la suite d'une activation par la GnRH, et modifie alors le fonctionnement des organes qui la « commandent », d'où le terme de rétrocontrôle. Puisqu'elle ralentit leur fonctionnement, on dit que c'est un rétrocontrôle négatif ou inhibiteur. De façon générale, la testostérone chez le bélier est associée à l'activité sexuelle. En effet, le nombre d'accouplements ainsi que le volume de l'éjaculat augmenteraient lorsque la concentration en testostérone est plus élevée (Sanford *et al.*, 1977).

La sécrétion de testostérone varie tout au long de l'année. Les JL ou croissants ont un effet inhibiteur sur l'axe hypothalamo-hypophyso-testiculaire. En effet, au printemps et en été, il est possible d'observer une baisse de la sécrétion de testostérone, mais également de FSH et de LH (Langford *et al.*, 1987; Pelletier et Almeida, 1987). La Figure 2.3 illustre effectivement très bien le profil de sécrétion annuelle de testostérone et de LH chez les béliers Finnish Landrace et Suffolk. Puisque la testostérone est une hormone sexuelle qui

influence la libido ainsi que les comportements des béliers (Schanbacher et Lunstra, 1976), c'est un des facteurs qui fait en sorte que la reproduction chez le bélier est saisonnière.

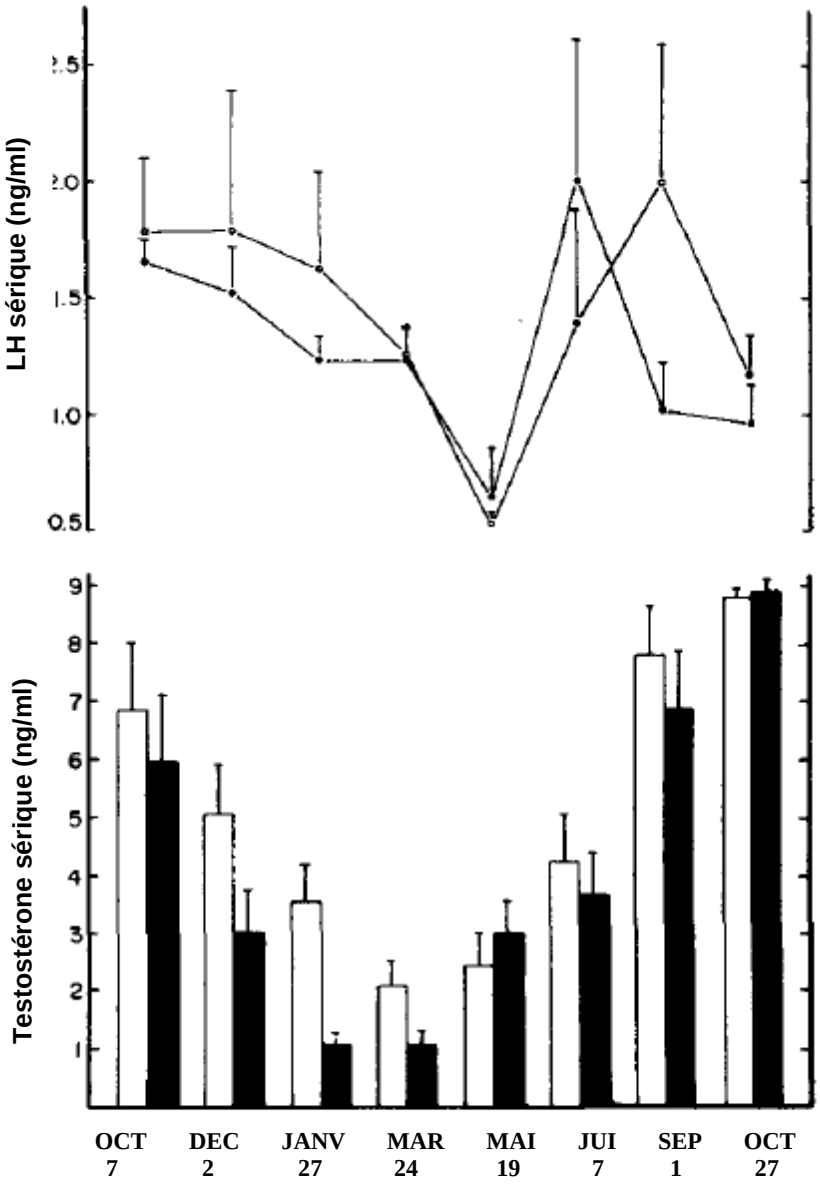

Figure 2.3. Variation annuelle de la concentration en LH et en testostérone sérique de béliers Finnish Landrace (bâtonnets blancs et courbe commençant la plus haute) et Suffolk (bâtonnets noirs et courbe commençant la plus basse) (moyennes ± ETM)

Adaptée de Schanbacher et Lunstra, 1976

De façon quotidienne, la concentration en testostérone varie énormément. Approximativement une heure après chaque pic de LH survient un pic de testostérone (Sanford *et al.*, 1974). Cependant, l'amplitude de la réponse testiculaire à la LH varie énormément tout au long de l'année et les concentrations maximales plasmatiques de testostérone ne coïncident pas nécessairement avec les valeurs maximales de LH. Elles surviennent étonnamment plus tard.

2.1.3. Effets physiologiques des variations saisonnières

2.1.3.1. Sur la libido

Un des premiers changements observés lors des variations de saison concerne le désir sexuel des béliers. En effet, la baisse de libido des béliers lorsqu'arrivent les JL a été répertoriée pour la première fois en 1937 par McKenzie et Berliner (cité par Pepelko et Clegg, 1965). Ils ont été les premiers à mesurer le nombre de montes et d'éjaculations tout au long de l'année, afin de qualifier la libido des béliers. Ils ont exposé les béliers à des brebis en période d'anoestrus et ont noté que le nombre d'éjaculations atteignait les valeurs les plus basses au mois de février, mars et avril. Cependant, les résultats basés sur la somme des montes et des éjaculations indiquaient que les périodes de désir sexuel les plus basses étaient en mai et juillet. Ainsi, déjà dans les années 30, certaines observations ont permis de remarquer des variations saisonnières dans les comportements sexuels et la libido des béliers, mais les connaissances scientifiques à cette époque ne permettaient toujours pas de bien comprendre les mécanismes sous-jacents à ces variations.

Une trentaine d'années plus tard, Pepelko et Clegg (1965) ont présenté individuellement huit béliers à une brebis en chaleur, deux fois par mois sur une période d'un an. La moyenne du nombre d'éjaculations a varié significativement en fonction du mois et de la saison. Le nombre le plus élevé d'éjaculations a été obtenu au cours des trois mois d'automne, soit en octobre, novembre et décembre. Le plus faible nombre de montes est survenu au mois de juillet et les éjaculations étaient quant à elles moins fréquentes au début

du printemps, ce qui confirmait les observations de McKenzie et Berliner (1937, cité par Pepelko et Clegg, 1965).

Dans une étude de Land (1970), le nombre de montes, réalisées par des béliers de races Finnish Landrace et Scottish Blackface exposés à des brebis en chaleur pendant une période totale de test de 20 minutes, a présenté de fortes variations en fonction des saisons. Les béliers étaient plus précisément évalués lors de deux périodes de 10 minutes, période durant laquelle un bélier était placé avec une brebis en chaleur. Un intervalle de deux minutes était laissé entre les deux séquences. La moyenne du nombre de montes est passée du maximum au mois de novembre au minimum en juin et juillet (Figure 2.4). Ainsi, l'augmentation de la libido à l'automne a suivi la diminution de la quantité de lumière, mais a précédé la diminution de la température, ce qui a fait conclure aux auteurs que la lumière plutôt que la température serait responsable des variations saisonnières dans les comportements reproducteurs des béliers. Une libido minimale à l'équinoxe du printemps et maximale au solstice d'hiver a également été observée par Derycke *et al.* (1990). Dans le même sens, Tulley et Burfening (1983) ont également conclu que les JC de l'automne et de l'hiver ont entrainé une augmentation de la libido évidente traduite par un nombre plus élevé de saillies lors d'un test de capacité de reproduction

Shackell *et al.* en 1977 ont pour leur part placé des béliers individuellement avec cinq brebis pour une période de 20 minutes. Les béliers ont effectué un nombre significativement supérieur de montes en février par rapport à avril et ont sailli plus souvent en août et février qu'en avril. Ces auteurs ont conclu que, malgré des changements saisonniers dans l'intensité de leur libido, les béliers avaient la capacité de s'accoupler tout au long de l'année. Ils en sont donc venus à la conclusion que la libido des béliers ne serait probablement pas une limitation dans le cadre d'un programme d'accouplements en contre-saison.

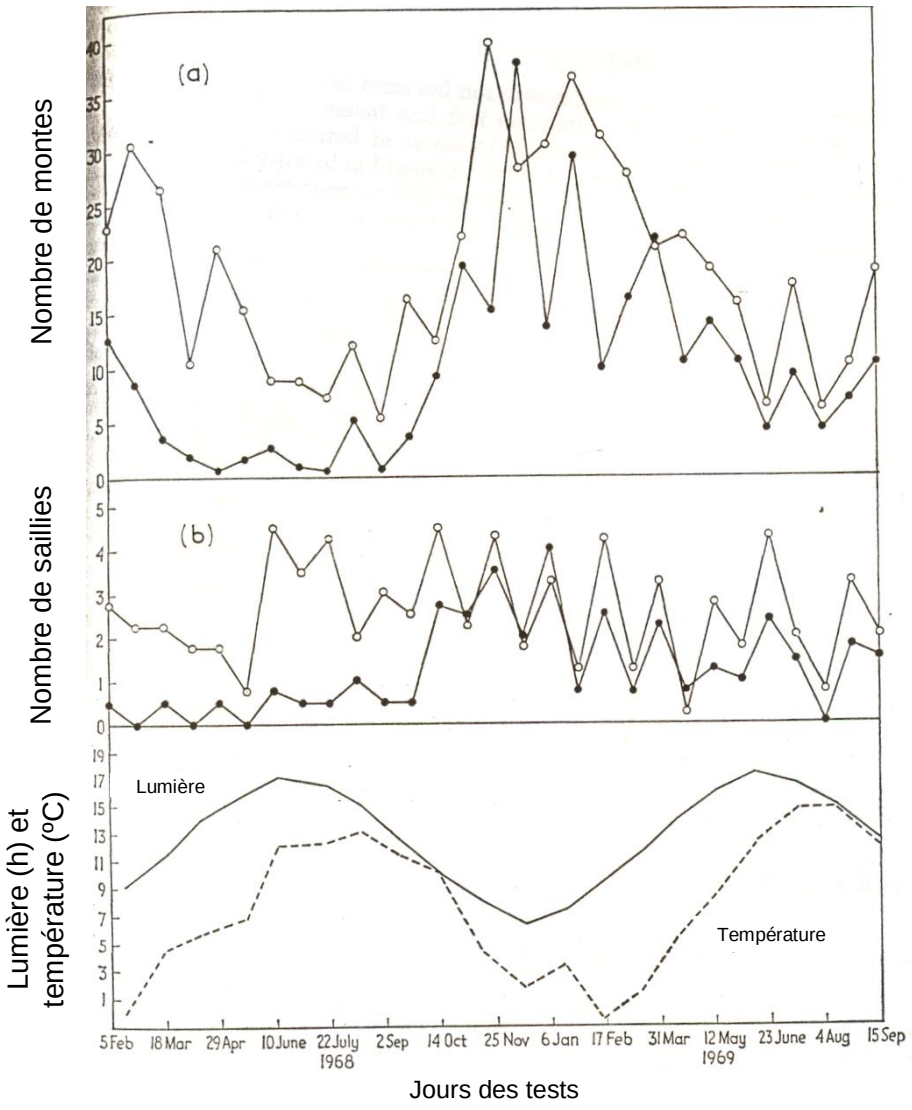

Figure 2.4. Variations annuelles du nombre de montes (a) et de saillies (b) de béliers Finnish Landrace (○) et Blackface (●) selon la moyenne mensuelle de la température et de la durée de la photopériode

Adaptée de Land, 1970

En somme, les résultats des études traitant de l'influence de la saison (et donc de la photopériode) sur la libido des béliers vont tous dans le même sens : le désir sexuel des béliers varie grandement en fonction de la durée du jour. Il s'agit d'une constatation très importante considérant que la libido des béliers peut influencer les résultats de fertilité d'un

troupeau. En effet, plusieurs études ont été réalisées pour tenter d'établir la corrélation entre les tests de capacité à la saillie et la fertilité des béliers. L'étude d'Ibarra *et al.* (2000) a montré que les béliers à forte capacité à la saillie obtiennent de meilleures fertilités lors d'accouplements avec des brebis synchronisées (Tableau 2.1). Pour cette étude, des béliers Corriedale ont passé un test de 40 minutes avec deux brebis en anœstrus. Ces brebis étaient attachées. Les béliers ayant effectué quatre saillies ou plus étaient considérés à haute capacité tandis que ceux ayant fait deux saillies ou moins étaient placés dans le groupe à basse capacité. Pour évaluer l'impact du classement des béliers sur les résultats de fertilité, les béliers ont été placés avec des brebis synchronisées aux éponges vaginales pour une période de quatre jours. Dans l'expérience A, trois béliers à haute et trois béliers à basse capacité étaient placés avec 122 et 123 brebis, respectivement. À l'expérience B, ce sont deux béliers à haute capacité et trois béliers à basse capacité qui ont été placés avec 81 et 125 brebis, respectivement.

Tableau 2.1. Fertilité de brebis synchronisées saillies par des béliers à haute et basse capacité à la saillie

	Béliers à haute capacité	Béliers à basse capacité
Étude A		
Nombre de béliers	3	3
Nombre de brebis	122	123
Fertilité (%)	77[a]	54[b]
Étude B		
Nombre de béliers	2	3
Nombre de brebis	81	125
Fertilité (%)	57[a]	36 [b]

[a b] Pour une même ligne, les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes à $P<0.05$

Adapté d'Ibarra *et al.*, 2000

Une expérience de Perkins *et al.* (1992) montre également que les béliers présentant une meilleure activité sexuelle obtiennent de meilleures performances reproductrices (Tableau 2.2). Pour le classement, les béliers ont été placés avec trois brebis en oestrus durant 30 minutes. Les béliers ayant éjaculé à six reprises ou plus durant le test étaient classés

« haute libido » (HL) et les autres ont été classés « basse libido » (BL). Le test de fertilité en troupeau a été mené en novembre avec 240 brebis synchronisées sur une durée de saillies de neuf jours. Environ 30 brebis synchronisées étaient placées avec chaque bélier. Ce protocole présentait un défi important pour les béliers et permettait de faire ressortir leurs limites. Toutefois, tout comme dans l'étude d'Ibarra *et al.* (2000), les ratios béliers :brebis utilisés (1:40 et 1:30) sont largement supérieurs à ceux utilisés au Québec. Les résultats de ces deux études sont ainsi moins facilement transposables dans les bergeries d'ici et moins utiles dans le contexte québécois.

Tableau 2.2. Performances de reproduction de béliers à basse libido (BL) et à haute libido (HL) mis en accouplement avec des brebis synchronisées

Critères	Béliers BL	Béliers HL	*P*
Nombre de béliers	4	4	
Nombre de brebis mises en accouplement	119	121	
Nombre de brebis marquées par les béliers durant une exposition de neuf jours	38	118	<0,001
Nombre de brebis ayant agnelé sur celles mises à la saillie	41	102	<0,001
Nombre d'agneaux nés par brebis mises à la saillie	0,78	1,85	<0,001

Adapté de Perkins *et al.*, 1992

Des problèmes de fertilité à l'intérieur d'un troupeau ovin peuvent donc découler de la libido des béliers, cette dernière variant grandement en fonction de la durée du jour. Ces dernières études illustrent également qu'il peut exister une grande variation individuelle dans la capacité de reproduction entre les béliers d'une même race.

2.1.3.2. Sur les mesures testiculaires

Les variations saisonnières de la circonférence scrotale (CS) représentent un autre effet physiologique du changement des saisons chez le bélier. Il s'agit d'un paramètre physique, donc visuellement observable et facilement mesurable. La CS est l'élément le plus fréquemment mesuré dans les études sur les variations saisonnières de l'activité sexuelle des béliers, car il s'agit d'une donnée facile à obtenir (mesure à l'aide d'un ruban métrique

conçu à cette fin). De façon générale, le poids testiculaire chez le bélier est maximal lors de la saison de reproduction naturelle et minimal à la fin de l'hiver (Chemineau *et al.*, 1992), ce qui indique une variation saisonnière évidente des mesures testiculaires des béliers (Islam et Land, 1977; Dufour *et al.*, 1984; Kafi *et al.*, 2004).

Mickelsen *et al.* (1981) ont également illustré la variation saisonnière de la CS sur une année complète chez des béliers de race Suffolk et Lincoln (Figure 2.5). Les valeurs maximales ont été obtenues en octobre pour les béliers Suffolk et Lincoln, soit 36,0 et 37,0 cm respectivement. Ce mois correspond en effet à la période automnale au cours de laquelle la durée du jour diminue. Les valeurs minimales ont quant à elles été obtenues en février pour les deux races (32,4 cm pour les Suffolk et 30,6 cm pour les Lincoln).

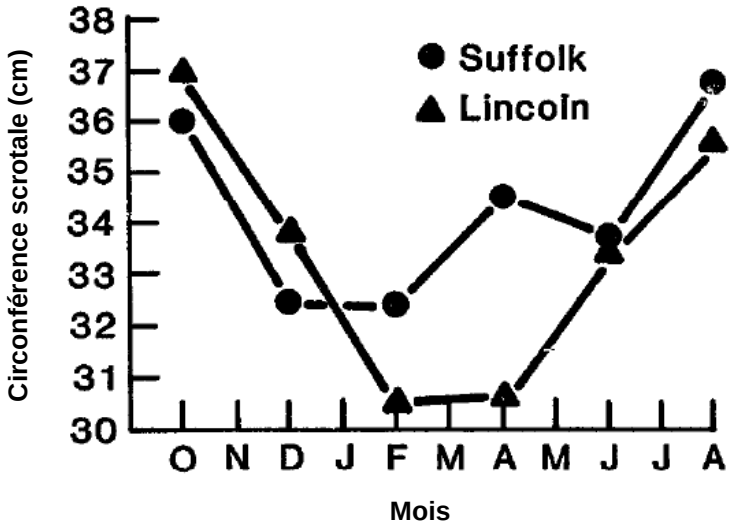

Figure 2.5. Variations saisonnières de la circonférence scrotale de béliers Suffolk et Texel

Adaptée de Mickelsen *et al.*, 1981

D'autres études ont également montré que l'initiation de la croissance et de la régression testiculaire débute à des moments variables selon les races (Pelletier et Ortavant, 1970; Dufour, 1974; Lincoln et Short, 1980; Pelletier et Almeida, 1987). Dans l'étude de Mandiki *et al*. (1998) plus particulièrement, trois races de béliers ont été étudiées, soit Texel, Suffolk et Ile-de-France. Les deux premières races sont considérées plus

saisonnières que la race Ile-de-France. À la Figure 2.6, les saisons numérotées « 1 » correspondent à la deuxième année d'âge des béliers et les « 2 » à la troisième année. Les valeurs de diamètre scrotal ont été plus élevées chez les béliers Ile-de-France que chez les béliers Texel et les diamètres scrotaux ont augmenté avec l'âge des béliers. Ainsi, les changements saisonniers ont été masqués par la croissance des animaux au cours de la deuxième année d'âge des béliers. Les valeurs de diamètre testiculaire ont donc été plus élevées et les changements saisonniers plus marqués au cours de la troisième année d'âge des béliers. Il est à noter qu'une échelle plus appropriée sur la figure pour les valeurs de diamètre scrotal aurait permis de mieux observer que les valeurs maximales ont été obtenues en automne et les minimales au printemps.

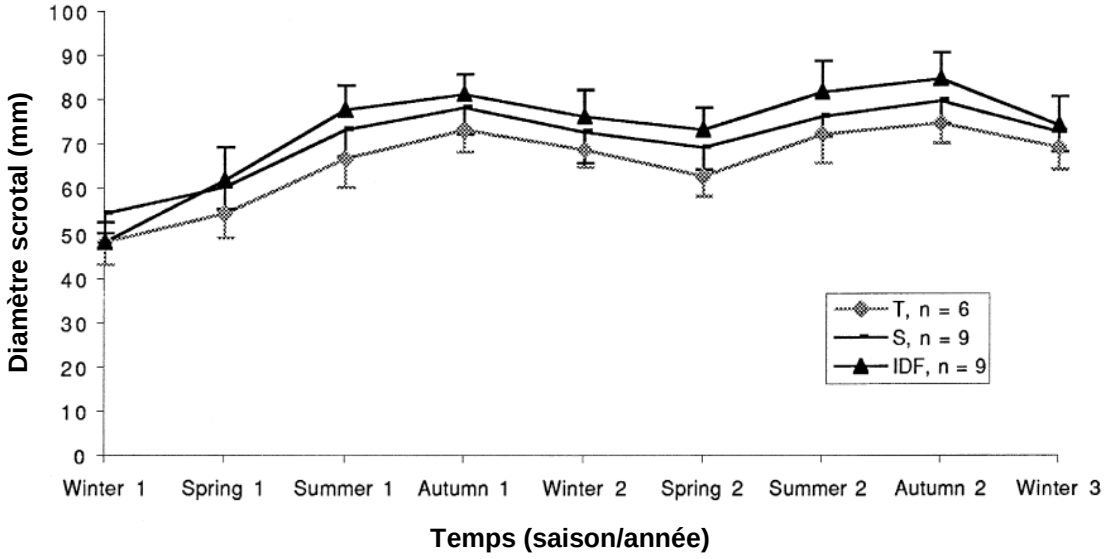

Figure 2.6. Variations saisonnières du diamètre scrotal de béliers Texel (T), Suffolk (S) et Ile-de-France (IDF) (chaque point représente la moyenne de trois mois; Winter : hiver; Spring : printemps; Autumn : automne; Summer : été)

Adaptée de Mandiki *et al.*, 1998

En somme, les études convergent également pour ce paramètre et s'entendent sur la variation saisonnière des mesures testiculaires.

2.1.3.3. Sur la qualité de la semence

À l'instar de la libido et des mesures testiculaires, la production spermatique ainsi que la qualité de la semence sont également influencées par la durée du jour. Une des toutes premières études concernant les variations saisonnières de la production spermatique a été réalisée en 1972 par Colas *et al.*. Ces auteurs s'intéressaient particulièrement à l'effet de la photopériode sur la qualité de la semence récoltée dans les centres d'insémination artificielle (IA). Ces auteurs orientèrent leurs recherches à la suite des conclusions émises par Ortavant et Thibault en 1956 qui mentionnaient que la production des spermatozoïdes chez le bélier subissait d'importantes variations au cours de l'année, ce qui pourrait être étroitement lié au photopériodisme. Dans l'étude de Colas *et al.* (1972), des béliers Ile-de-France ont été récoltés deux fois par semaine à l'aide d'un vagin artificiel à deux périodes distinctes de l'année, au printemps et à l'automne. Des agnelles étaient ensuite inséminées avec la semence fraîche. Aucune différence significative sur les taux de fertilité à l'agnelage n'a été observée entre les deux saisons de récolte (65,2 % et 61,2 % pour le printemps et l'automne respectivement). Aucune différence saisonnière n'a également été observée sur les résultats de fécondation *in vitro* en utilisant de la semence fraîche récoltée au printemps ou à l'automne. Les auteurs ont donc conclu que les béliers pouvaient être utilisés toute l'année pour des récoltes de semence destinées à l'IA avec de la semence fraîche (Colas *et al.*, 1972).

L'article de Colas *et al.* (1972) soulevait toutefois, déjà à cette époque, un fait intéressant. Les auteurs mentionnaient que la quantité de spermatozoïdes récoltés n'était probablement pas représentative de celle produite en réalité par les testicules. En effet, les spermatozoïdes peuvent être éliminés du corps de trois façons :

1. Dans l'urine (Bielansky et Wierzbowski, 1966; Lino *et al.*, 1967);
2. Par résorption dans l'épididyme et les ampoules des canaux déférents[5]
3. Par éjaculation.

[5] Le canal déférent chez les mammifères est le canal qui permet aux spermatozoïdes de sortir de chacun des testicules et de rejoindre la prostate. Ce canal pénètre dans la cavité pelvienne. Son extrémité s'élargit pour constituer l'ampoule du canal déférent. Celle-ci, avec le conduit excréteur de la vésicule séminale, constitue le conduit éjaculateur qui pénètre dans la prostate où il se déverse dans l'urètre.

Lorsque la fréquence de la récolte est basse (un éjaculat à tous les 7 à 15 jours), la quantité de gamètes recueillie se trouve à être beaucoup plus faible que la quantité produite en réalité ou mise en réserve. Donc, la mise en évidence des variations saisonnières de la production spermatique chez le bélier n'est peut-être pas possible lorsque le rythme de récolte de la semence est faible. Les fluctuations de la qualité de la semence pourraient être ainsi atténuées, parfois même inexistantes. Suite à ces conclusions, deux expériences complémentaires ont été effectuées avec des béliers adultes (3-4 ans) Ile-de-France (Colas, 1980, 1981). Ces béliers étaient récoltés à l'aide de vagin artificiel, mais une fois par semaine cette fois-ci. L'auteur voulait vérifier les variations saisonnières de la semence concernant la motilité massale, la morphologie des spermatozoïdes (Colas, 1980), en plus de la relation entre les critères qualificatifs *in vitro* et la fécondation (Colas, 1981). Les résultats ont montré que les anomalies chez le spermatozoïde étaient plus fréquentes de janvier à juin (jours croissants) que de juillet à décembre (jours décroissants) (16,5 ± 0,9 vs 13,9 ± 0,8 % lors d'une année et 25,3 ± 1,0 vs 17,3 ± 0,9 % lors de l'année suivante), dont un maximum au mois de mars. Fait intéressant, les gouttelettes cytoplasmiques proximales (près de la tête du spermatozoïde) sont apparues uniquement dans les éjaculats récoltés en lumière croissante, ce qui pourrait traduire une certaine perturbation des phénomènes de maturation dans l'épididyme. Concernant la motilité massale, c'est d'octobre à décembre que les moyennes hebdomadaires variaient le plus, mais de façon assez aléatoire tout au long de l'année (Colas, 1981).

Mandiki *et al.* (1998) placèrent des béliers de trois races différentes (Texel, Suffolk, Ile-de-France) sous photopériode naturelle pour une durée de deux ans, ce qui correspondait à la deuxième et troisième année d'âge des béliers. La semence était récoltée toutes les deux semaines par vagin artificiel. Les principales conclusions de cette étude ont été que le volume de semence augmentait légèrement à l'automne et diminuait en hiver et au printemps pour les béliers de races Texel et Suffolk, mais pas chez les béliers Ile-de-France. Le fait que les deux premières races soient considérées plus saisonnières que la race Ile-de-France pourrait possiblement expliquer ces résultats. Concernant la motilité des spermatozoïdes, elle fluctuait indépendamment de la saison ou de l'âge. Le volume de semence ainsi que la concentration spermatique étaient similaires entre les béliers de

différents âges et races. Aussi, les pourcentages de spermatozoïdes morts et anormaux quant à eux diminuaient avec l'âge des béliers.

En Grèce, deux races de béliers (Friesian et Chios) ont également été étudiées afin d'observer les variations saisonnières de la quantité et la qualité de la semence, cette dernière étant récoltée encore une fois à l'aide d'un vagin artificiel (Karagiannidis *et al.*, 2000). La saison a affecté la quantité de semence récoltée, le volume étant plus faible au printemps, comparativement à l'été, à l'automne et à l'hiver. Les pourcentages de motilité totale et progressive des spermatozoïdes étaient plus faibles au cours des récoltes d'été. La proportion de spermatozoïdes normaux augmentait également de façon significative durant l'automne ; le pourcentage de spermatozoïdes anormaux était plus élevé au printemps et à l'été, tandis que l'hiver semblait plutôt être une saison de transition. La concentration spermatique était plus élevée au cours de l'automne et de l'hiver pour les deux races de béliers, tout comme ce fût le cas pour le nombre total de spermatozoïdes par éjaculat pour les béliers Chios. La race Friesian présentait une concentration spermatique élevée également en été et les faibles valeurs étaient donc observées seulement au printemps. Les auteurs ont également noté des différences significatives entre les béliers d'une même race pour la plupart des critères d'évaluation de la semence, mais aucune entre les deux races.

Enfin, tout comme l'équipe de Colas *et al.* en 1972 avec des béliers Ile-de-France, Kafi *et al.* (2004) concluaient que la semence de béliers Karakul présentait toutes les caractéristiques et les qualités pour être utilisée en IA, peu importe le moment de la récolte dans l'année. La saison automnale a tout de même permis d'obtenir des valeurs de qualité supérieure concernant le volume et la motilité massale, tandis que le nombre total de spermatozoïdes par éjaculat ne variait pas selon le mois de l'année.

En conclusion, la majorité des auteurs s'accorde pour dire que les paramètres descriptifs de la qualité de la semence de bélier présentent des variations saisonnières. Cependant, certains affirment que ces variations ne sont toutefois pas assez importantes pour empêcher l'utilisation de la semence de bélier à longueur d'année pour le marché de l'IA (Colas *et al.*,

1972; Kafi *et al.*, 2004). Aussi, les variations individuelles semblent très importantes et à considérer.

2.1.4. État photoréfractaire chez le bélier

Le concept d'état photoréfractaire est simple; on dit d'un animal qu'il devient photoréfractaire lorsqu'il ne répond plus à un traitement photopériodique constant (JC ou JL) qui devrait en théorie activer ou inhiber son activité de reproduction. Ce concept d'état photoréfractaire est bien documenté chez la brebis.

Dans l'étude de Karsch *et al.* (1986), des brebis Suffolk ovariectomisées et traitées à l'oestradiol présentaient des signes d'activité sexuelle, perceptibles par une élévation de la sécrétion de LH, environ 50 j après le début des JC. Les concentrations les plus élevées de LH avaient été notées 70 j après le début des JC, pour demeurer élevées jusqu'à 110 j après le début de l'exposition à la photopériode courte. Les auteurs avaient par ailleurs noté que les concentrations de LH devenaient imperceptibles après 150 j d'exposition à la luminosité continue de JC, ce qui suggérait l'atteinte de l'état photoréfractaire par ces animaux. Des résultats similaires furent observés dans l'étude de Malpaux *et al.* (1988) sur des brebis Suffolk ovariectomisées et traitées à l'oestradiol. Les auteurs observèrent une forte hausse de sécrétion de LH et de FSH environ 70 à 80 j après le début de l'exposition aux JC. Ainsi, plusieurs études ont montré que le contrôle de certaines portions du cycle photopériodique annuel pouvait permettre de synchroniser le rythme endogène de reproduction des ovins (Robinson et Karsch, 1988; Malpaux *et al.*, 1989). En effet, l'exposition des animaux au cycle annuel complet de photopériode ne serait peut-être pas requise pour initier l'activité de reproduction des femelles. L'exposition à des JL durant un moment spécifique de l'année pourrait donc constituer un signal photopériodique suffisant pour synchroniser l'activité de reproduction des femelles et ainsi induire une période d'activité sexuelle à un moment où elle était naturellement inhibée (Karsch *et al.*, 1988; Robinson et Karsch, 1988; Woodfill, 1994).

La découverte de l'état photoréfractaire a permis de démontrer que les animaux avaient réellement besoin de percevoir les variations lumineuses de leur environnement afin de se

créer un « historique photopériodique ». L'historique photopériodique peut être défini par la direction du changement lumineux qui est perçu par les bêtes ou, de façon plus simple, par la perception de périodes de JL puis de périodes de JC. Ainsi, les variations annuelles de la photopériode sont enregistrées dans cet historique photopériodique et permettent à l'animal de synchroniser son horloge biologique interne afin que la reproduction survienne au moment propice, soit à l'automne.

La preuve de l'existence d'un état photoréfractaire chez le bélier ne fait cependant pas l'unanimité. Il a été observé que des béliers, sous photopériode continue (JL ou JC) pour une durée de deux ans et demi, démontraient des variations du poids testiculaire toutes les 35 semaines (de façon moins régulière cependant pour le groupe en JC). Ceci s'expliquerait, selon les auteurs, par le développement d'un état photoréfractaire et la reprise d'un cycle endogène (Howles *et al.*, 1982) (Figure 2.7). Ainsi, selon ces auteurs, les béliers présenteraient un rythme endogène de reproduction guidé par la photopériode.

Almeida et Lincoln (1984) concluent également que les changements dans l'activité testiculaire procèdent indépendamment de la photopériode et que les béliers à l'étude ont développé un état photoréfractaire. Dans cet article, des béliers exposés à 94 semaines de JL ont effectué deux cycles complets de variations du diamètre testiculaire, pour une durée moyenne par cycle de 40,9 semaines (Figure 2.8). Toujours selon ces auteurs, le groupe de béliers maintenus en JC a également effectué deux cycles complets d'une durée de 38,1 semaines. Les auteurs ont donc conclu que les béliers sont devenus photoréfractaires aux effets à long terme d'une photopériode, tant de JL que de JC. Par contre, en observant la Figure 2.8 attentivement, la présence d'un tel état chez les béliers gardés en JC n'est pas si évidente. Ces béliers montrent certes une première régression de leur diamètre scrotal de la semaine 15 à 28, mais celui-ci augmente par la suite pour se stabiliser vers la 50^{e} semaine et ne plus diminuer. Les béliers en JC semblent plutôt avoir conservé des valeurs de diamètres testiculaires constantes et élevées. Ainsi, ces données pourraient même suggérer que l'exposition à long terme de béliers en JC permettrait de maintenir de façon constante un bon diamètre scrotal. Langford *et al.* (1987) ont, quant à eux, clairement conclu que le maintien de la fonction testiculaire ainsi que d'une bonne qualité de semence

tout au long de l'année pourrait être réalisé à l'aide d'une photopériode continue de JC, ce qui éliminerait les dépressions saisonnières de la production de semence.

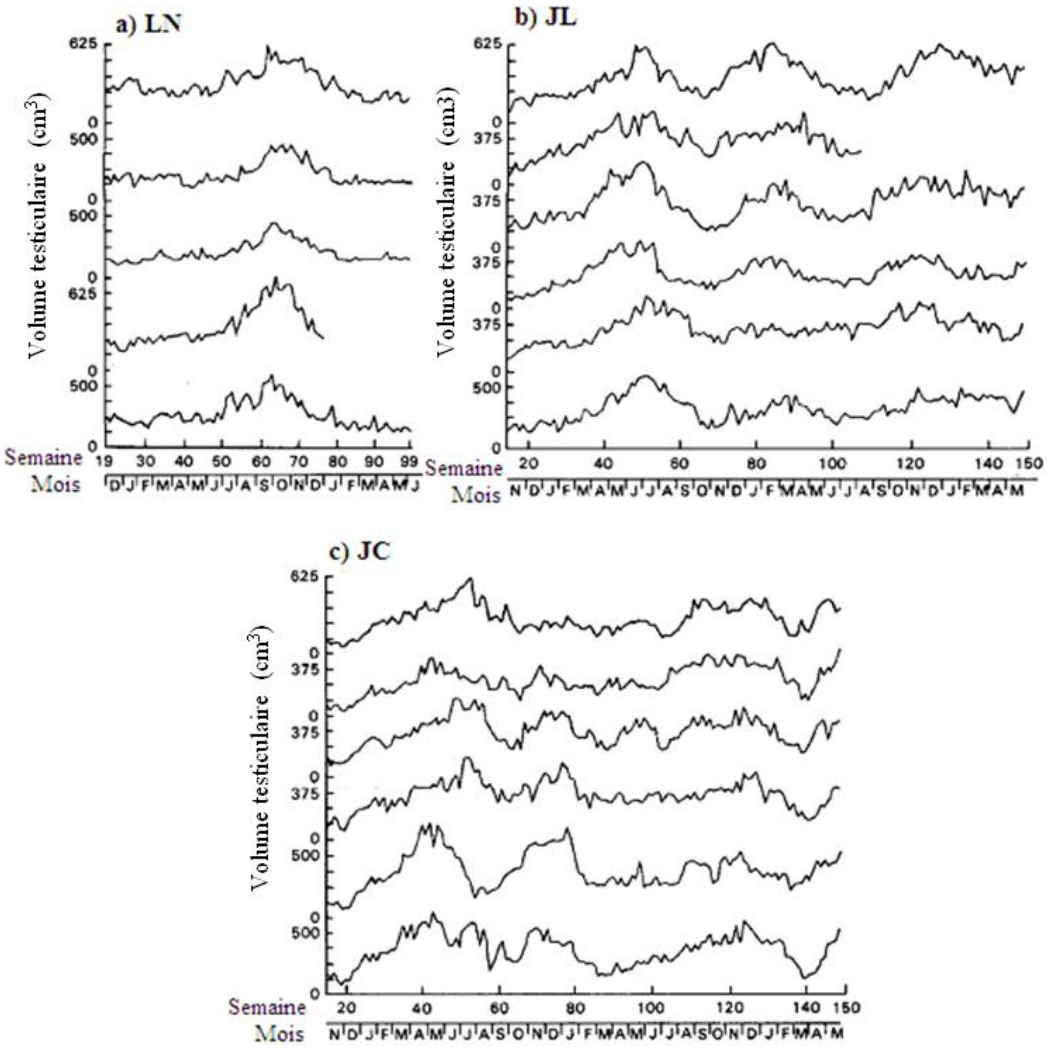

Figure 2.7. Volume testiculaire chez des béliers maintenus en lumière naturelle (a - LN), en jours longs (b – JL) ou en jours courts (c- JC) pour une durée de 34 mois (chaque courbe représente un bélier)

Adaptée de Howles *et al.*, 1982

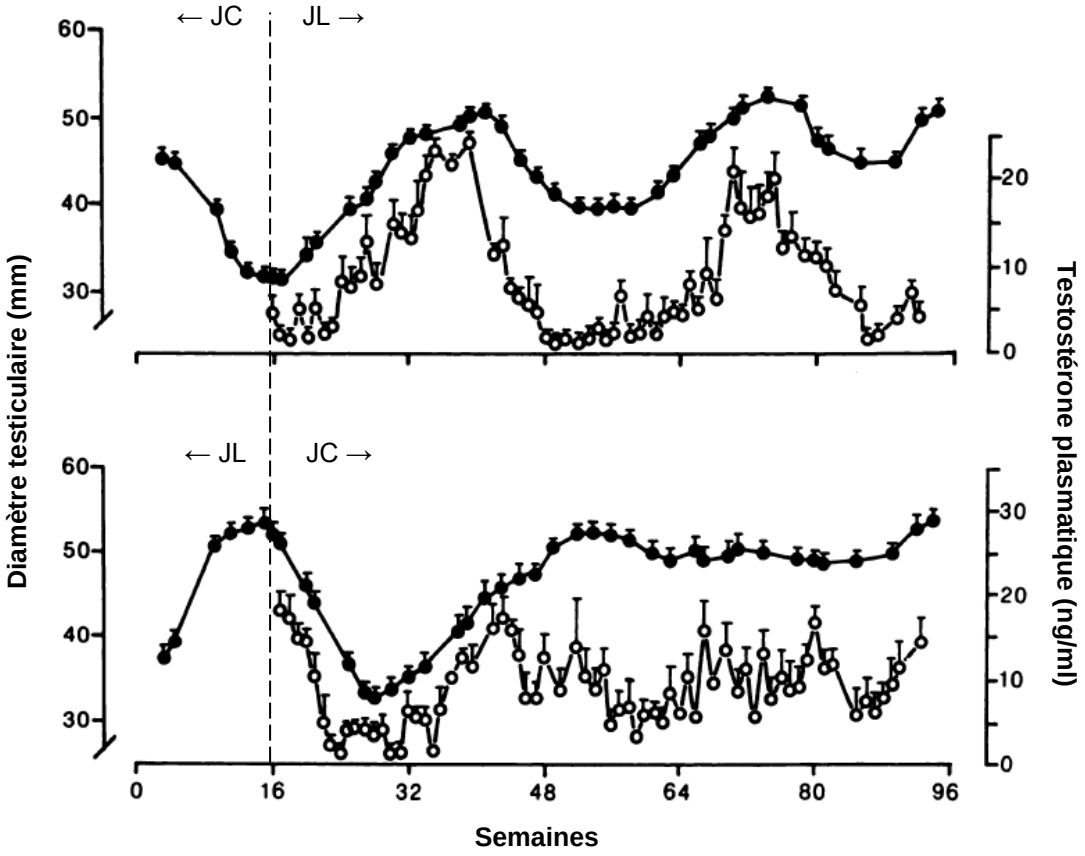

Figure 2.8. **Diamètre scrotal (●) et concentrations plasmatiques de testostérone (○) (moyenne ± ETM) chez des béliers Soay exposés à un traitement de jours longs (JL) (en haut) pendant 94 semaines précédées d'un prétraitement de 16 semaines de jours courts (JC) et chez des béliers exposés à des JC (en bas) précédés d'un prétraitement de 16 semaines de JL. La ligne pointillée (- - -) indique le début des traitements photopériodiques**

Adaptée de Almeida et Lincoln, 1984

Donc, en conditions artificielles, les études ont montré que le moment du développement de l'état photoréfractaire pouvait varier et que ce développement n'était pas prouvé de façon aussi claire chez le bélier que dans le cas de la brebis. L'influence de la race des béliers utilisés dans les études citées précédemment n'est certainement pas à négliger, puisque certaines races de béliers sont plus désaisonnées naturellement que d'autres : la Soay (utilisée par Almeida et Lincoln, 1984) et la Suffolk (utilisée par Howles *et al.*, 1982) sont deux races très saisonnières, tandis que la race prolifique Finnish Landrace, utilisée par Langford *et al.*, 1987, est reconnue pour être naturellement désaisonnée.

2.2. PROGRAMMES PHOTOPERIODIQUES POUR CONTROLER LA REPRODUCTION DES BELIERS

Tel que discuté dans les sections précédentes, il existe des variations saisonnières importantes des composantes de la capacité de reproduction des béliers. Ces variations peuvent entraîner des baisses de fertilité des béliers et donc de l'ensemble d'un troupeau ovin. Comme ces variations sont influencées par la durée de la photopériode, il est logique de croire qu'une des solutions pour amenuiser ce phénomène est de manipuler artificiellement la durée de la photopériode à laquelle les animaux sont exposés. L'utilisation de programmes lumineux vise non seulement l'induction d'une activité sexuelle intense en contre-saison, mais également l'abolition des variations saisonnières de la qualité de la semence, de la CS et de la libido. Cette section vise à présenter l'ensemble des différents programmes photopériodiques, de cycles longs (trois, quatre ou six mois d'alternance de JL et de JC) et de cycles courts (un ou deux mois d'alternance de JL et de JC), déjà étudiés à ce jour pour contrôler la reproduction des béliers. À moins d'avis contraire, les JL sont, par définition, des journées exposant les animaux à 16 heures de lumière (L) et 8 heures de noirceur (N), d'où l'abréviation 16L:8N. Les JC sont, pour leur part, des journées de 8 heures de lumière et 16 heures de noirceur (8L:16N).

Un des premiers auteurs à avoir soumis des béliers à un programme artificiel de photopériode a été Fowler en 1962. Ce chercheur a voulu vérifier l'effet d'une photopériode artificielle complètement inversée par rapport à la photopériode naturelle sur un groupe de 12 béliers Mérinos. Les effets sur la qualité de la semence ont été étudiés (la semence était récoltée deux fois par semaine par électroéjaculation). Cette expérience a montré que la photopériode quotidienne inversée causait un inversement dans les cycles de variations saisonnières de la qualité de la semence. Au printemps, comparativement aux béliers témoins sous lumière naturelle, la semence des béliers traités, alors exposés à des JC, possédait des valeurs plus élevées en ce qui concerne le pourcentage de spermatozoïdes normaux, le nombre total de spermatozoïdes et la concentration spermatique. Durant les mois d'automne, la semence des béliers en photopériode inversée a été de qualité inférieure

à celle des béliers témoins en LN. Cette étude montrait que la manipulation de la photopériode permettait effectivement de faire varier les paramètres de qualité de la semence. De nouvelles et de nombreuses recherches portant sur l'alternance de séquences longues ou courtes de JL et de JC ont par la suite fait leur apparition, tout comme des programmes de photopériode en continu ou encore de photopériode fractionnée.

2.2.1. Programmes de photopériode en continu

Les programmes de photopériode dits en continu consistent à exposer les animaux à une même photopériode pour une longue période de temps. Un programme de photopériode continue, soit croissante ou décroissante, a été étudié par Schanbacher et Ford en 1979 afin de voir les effets sur la CS, l'histologie des tubules séminifères, la concentration en testostérone, en LH et en FSH sur des béliers adultes croisés Suffolk X Hampshire (Figure 2.9). Tous les béliers ont été acclimatés pendant quatre semaines (22 février au 22 mars) à une photopériode de 12L:12N avant le début des traitements. Les béliers ont ensuite été exposés à une durée du jour croissante ou décroissante pour une période de 10 semaines. La CS des béliers sous photopériode croissante a diminué d'approximativement 10 % au cours de l'expérience. À l'inverse, après une légère diminution dans les premières semaines, les béliers en jours décroissants ont montré une augmentation de 15 % de leur CS. Le poids des testicules de ces derniers était 45 % plus élevé et du point de vue histologique, le diamètre des tubules séminifères était 30 % plus large. Toujours chez les béliers en photopériode décroissante, une faible concentration de prolactine a été mesurée, tandis que les concentrations de testostérone, de FSH et de LH étaient plus élevées que chez l'autre groupe. Les auteurs ont donc suggéré que la croissance testiculaire chez les béliers exposés à des jours décroissants est en fait une réponse à l'augmentation de l'activité des gonadotrophines. Ces hormones pourraient avoir une action directe sur l'épithélium germinal des testicules du bélier ou encore pourraient stimuler indirectement la spermatogenèse en accroissant la sécrétion de testostérone dans les cellules interstitielles.

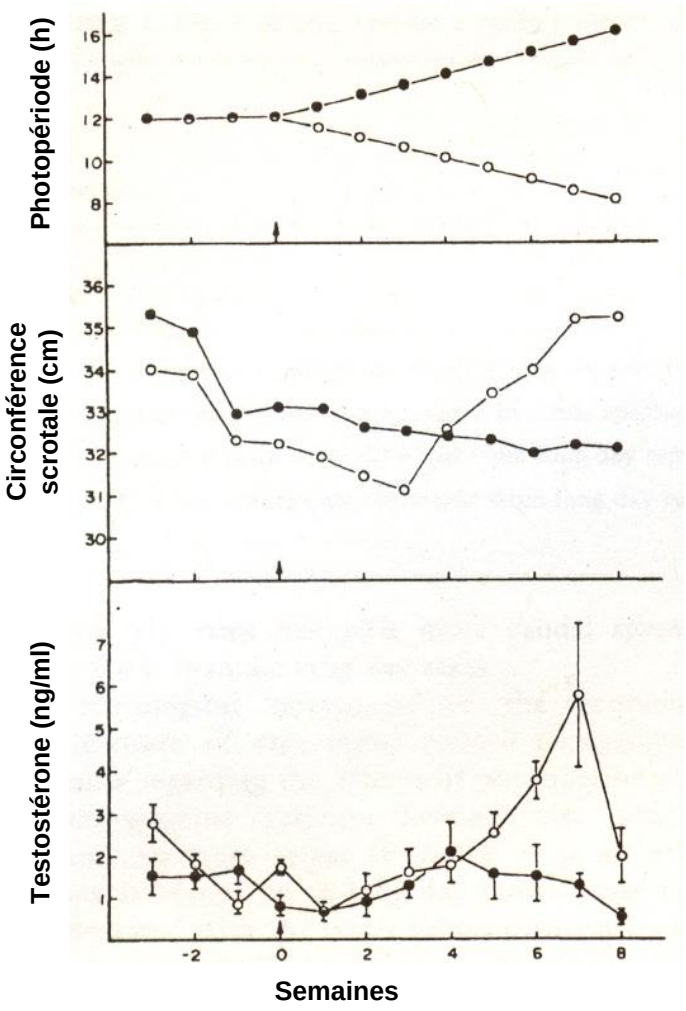

Figure 2.9. Effets de l'augmentation ou de la diminution de la photopériode chez les béliers sur la circonférence scrotale et la concentration sérique en testostérone. Tous les béliers ont été acclimatés pendant 4 semaines (22 février au 22 mars) à une photopériode de 12L:12N avant le début des traitements. Groupe 1 (○) ont été exposés à une durée du jour décroissante et le groupe 2 (●) à une durée du jour croissante pour une période de 10 semaines

Adaptée de Schanbacher et Ford, 1979

Dans une autre étude, Schanbacher (1979) a placé des béliers Suffolk matures en JC (n = 5) pour une durée de 13 semaines durant la contre-saison sexuelle (du 28 février au 30 mai). Un groupe témoin était pour sa part exposé à la lumière naturelle croissante (n = 5). Les animaux ont été placés en accouplements durant les trois dernières semaines du traitement photopériodique, soit du 9 au 30 mai. Les accouplements en contre-saison ont été effectués avec des brebis Finnish Landrace dont les chaleurs avaient été synchronisées. Pour les

deux groupes de béliers, les CS étaient similaires au jour 0 de l'expérience et elles ont diminué durant les trois premières semaines de l'étude. Puis, pendant que les CS des béliers du groupe témoin continuaient de diminuer, celles du groupe en JC ont commencé à augmenter (34,7 cm à 37,8 cm de la 3^{e} à la 10^{e} semaine) (Figure 2.10). Les béliers maintenus en JC avant les accouplements ont obtenu un pourcentage d'agnelage supérieur aux béliers témoins (67,2 % vs 32,0 %), résultant en une production d'agneaux 2,5 fois plus grande (202 agneaux vs 81). Dans cette étude, la semence de tous les béliers a également été étudiée (volume, nombre total de spermatozoïdes par éjaculat, motilité progressive, viabilité, intégrité de l'acrosome, % de spermatozoïdes normaux), mais peu de différences significatives ont été observées au cours des semaines de traitement. Seul le pourcentage de spermatozoïdes avec un acrosome normal a continué de décroître au cours des neuf premières semaines de l'étude pour les béliers témoins.

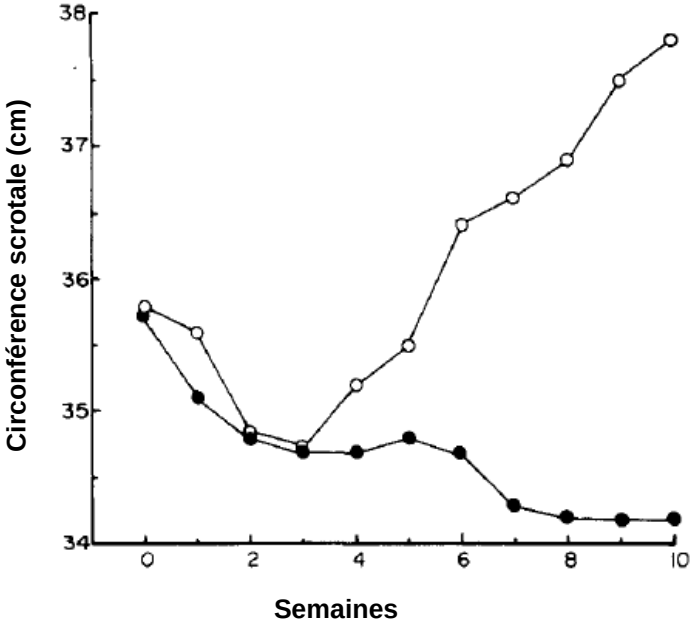

Figure 2.10. Circonférence scrotale de béliers Suffolk (n=5) exposés à des jours courts artificiels durant la contre-saison sexuelle (○) et de béliers (n=5) maintenus en lumière naturelle croissante (●)

Adaptée de Schanbacher, 1979

Dans une recherche canadienne, Langford *et al.* (1987), les béliers étudiés étaient de race Finnish Landrace et de trois lignées synthétiques (une paternelle et deux maternelles[6] – ces lignées deviendront un peu plus tard, les races Arcott Canadian, Arcott Rideau et Arcott Outaouais). Divisés en quatre groupes de 12 (deux de la lignée #1, trois de la lignée #2, quatre de la lignée #3 et 3 Finnish Landrace), les béliers ont reçu des traitements photopériodiques différents pour une durée totale de 20 mois (Figure 2.11). Le groupe 1 était exposé de façon continue à des JC, tandis que les groupes 2, 3 et 4 étaient exposés à quatre mois de JC en alternance avec un, deux ou quatre mois respectivement de JL. Tous les béliers étaient initialement exposés à quatre mois de JC, puis à trois mois de JL, ce qui a causé une régression testiculaire pour tous les groupes.

Deux mois après le passage en JC (tous les groupes), la CS a atteint sa valeur maximale, puis elle a commencé à diminuer pour les groupes réexposés aux JL (groupes 2, 3, et 4). Ainsi, selon les résultats de cette étude, le groupe de béliers qui est demeuré en JC durant toute la durée de l'expérience (groupe 1) n'a pas présenté d'état photoréfractaire puisqu'il a maintenu une haute activité testiculaire, ce qui contraste avec la régression et ensuite la reprise de la croissance testiculaire notée par Almeida et Lincoln (1984) avec des béliers sous des conditions similaires. Langford *et al.* (1987) ont tenu à souligner le fait que les conditions de logement de leurs animaux ont permis de maintenir une température ambiante constante tout au long du projet, contrairement à d'autres études (Howles *et al.*, 1982) pour lesquelles les conditions environnementales n'ont pas été constantes, ce qui peut donc avoir influencé l'activité testiculaire.

Récoltée par vagin artificiel toutes les deux semaines, la semence des béliers de cette étude a également été analysée. Une moyenne de deux éjaculats par récolte (trois minutes d'intervalle) par animal était utilisée pour les analyses. De façon générale, les éjaculats des béliers exposés de façon continue au JC contenaient toujours un plus grand nombre de spermatozoïdes motiles que ceux des béliers des autres groupes, ainsi qu'un nombre total

[6] Lignée synthétique #1 (paternelle) : génotype composé principalement des races Ile-de-France, Leicester et Suffolk; lignée synthétique #2 (maternelle) : 40-50 % Finnish Landrace, Suffolk et Shropshire; lignée synthétique #3 (maternelle) : 40-50 % Finnish Landrace, Suffolk, East Friesian, Shropshire et Dorset.

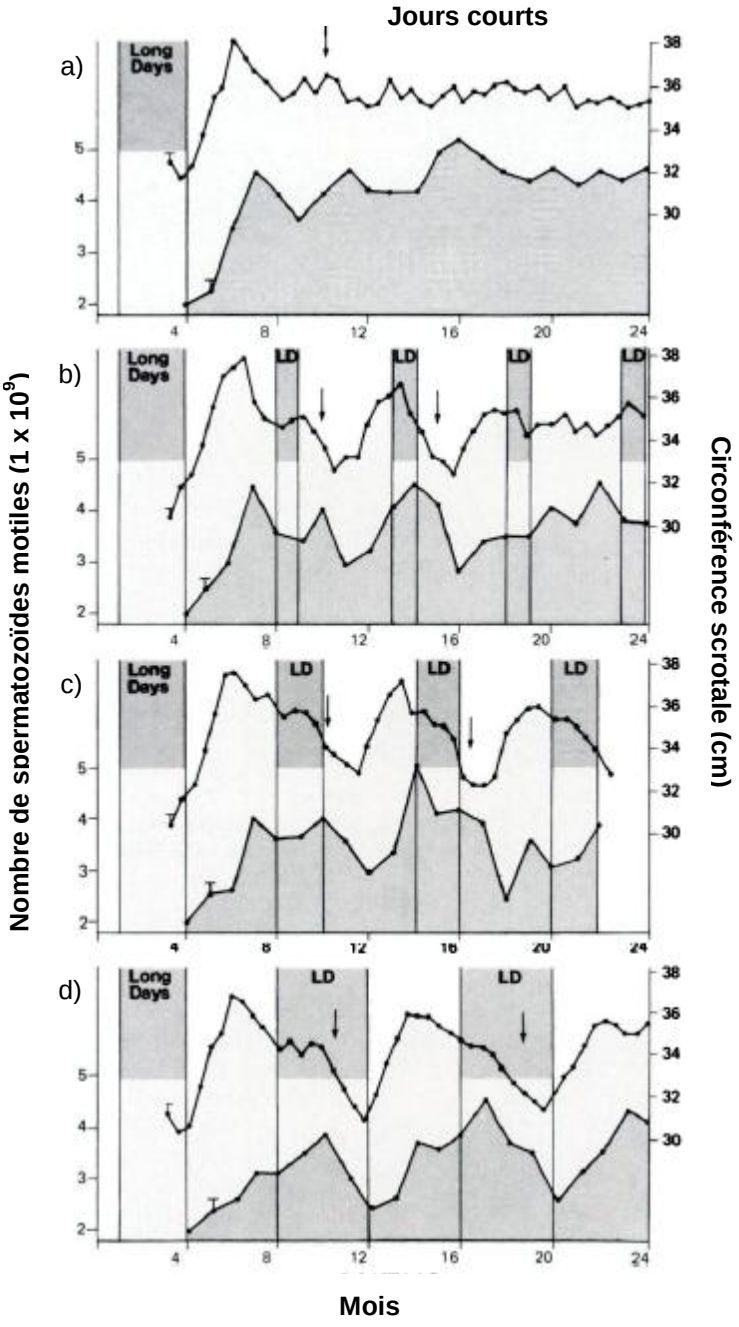

Figure 2.11. Nombre de spermatozoïdes motiles par éjaculat et circonférence scrotale de quatre groupes de béliers exposés à différentes photopériodes. Le groupe 1 (a) était exposé à des jours courts (JC) continus. Les groupes 2 (b), 3 (c) et 4 (d) étaient exposés à quatre mois de JC alternant 1, 2 ou 4 mois (barres verticales ombragées) respectivement de jours longs (JL). Tous les béliers étaient initialement exposés à quatre mois de JC (le premier mois sur la figure correspond au dernier mois de JC), puis à trois mois de JL (mois 2, 3 et 4). Les flèches indiquent les moments où les concentrations de testostérone sont à leurs plus basses

Adaptée de Langford *et al.*, 1987

de spermatozoïdes récoltés plus élevé entre le 9^{e} et 24^{e} mois. Une motilité supérieure à 70 % a également été maintenue par les béliers en JC constants. En conclusion, selon Langford *et al.* (1987), le maintien pendant toute l'année de la fonction testiculaire ainsi que d'une bonne qualité de semence peut être possible en exposant les béliers à une photopériode continue de JC. Malgré ces conclusions concernant l'exposition des béliers à une photopériode continue de JC, de nombreux chercheurs ont quant à eux étudié les effets d'une exposition à des types de programmes photopériodiques qui alternent les JL et les JC.

2.2.2. Programmes photopériodiques de séquences longues

Les programmes de photopériode dits de séquences longues consistent à exposer les animaux à une alternance de séquences de JL et de JC, séquences dont la durée est de trois à six mois. Plusieurs études ont porté sur l'alternance de JL et de JC et de nombreux essais ont été effectués concernant la durée des cycles de JL et de JC, afin de trouver la séquence qui permettrait d'abolir les variations saisonnières de l'activité sexuelle chez le bélier. C'est notamment le cas de Colas *et al.* (1985), un groupe de chercheurs à l'Institut national de la recherche agronomique en France, qui ont soumis des béliers à deux types de photopériode, afin d'effectuer des essais de fertilité par IA. Un premier groupe (A ; n= 5) était exposé à six mois de lumière croissante (8 à 16 h), puis six autres mois en lumière décroissante (16 à 8 h). Le deuxième groupe (B ; n= 5) recevait la photopériode inverse (Figure 2.12). La semence a été récoltée deux fois par semaine, à raison de deux éjaculats par récolte. Les auteurs, malheureusement, n'ont pas mentionné clairement à quel moment les IA ainsi que les essais *in vitro* ont eu lieu par rapport aux traitements photopériodiques. Ils ont simplement indiqué que ces deux activités ont été effectuées avec de la semence de béliers récoltée en lumière croissante ou décroissante.

L'influence de la photopériode sur la production spermatique, mais également sur le pouvoir fécondant des spermatozoïdes chez les béliers adultes Ile-de-France a également été étudiée. Les deux courbes de production spermatique ont été complètement à l'opposé l'une de l'autre tout au long de la période expérimentale. La quantité de spermatozoïdes récoltée, par vagin artificiel, a rapidement diminué chez les béliers en lumière croissante au

cours des 12 premières semaines. Cette même quantité s'est ensuite stabilisée et a augmenté à nouveau pour conserver une valeur élevée de la 38^{e} à la 52^{e} semaine. Chez les béliers du groupe B, les valeurs maximales étaient plutôt observées de la 9^{e} à la 24^{e} semaine et les quantités minimales de spermatozoïdes étaient obtenues de la 36^{e} à la 49^{e} semaine.

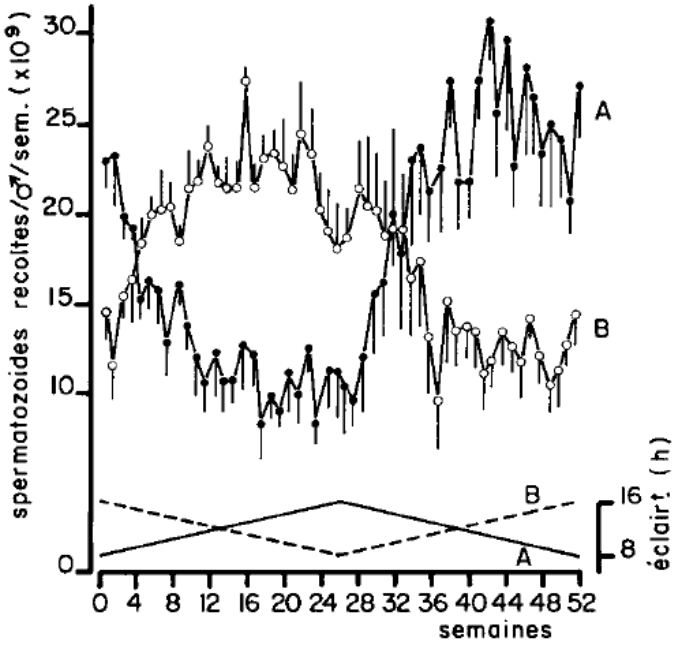

Figure 2.12. Influence de la durée d'éclairement artificiel sur la production spermatique hebdomadaire de béliers Ile-de-France (n = 5, 2 x 2 éj. / ♂ /sem.). Un premier groupe (A ; n= 5) a été exposé à six mois de lumière croissante (8 à 16 heures), puis six autres mois en lumière décroissante (16 à 8 heures). Le deuxième groupe (B ; n= 5) a reçu la photopériode inverse

Tirée de Colas *et al.*, 1985

Concernant la fécondance *in vivo* de la semence, ou le pourcentage de mises bas, des résultats supérieurs ont été obtenus avec la semence récoltée en JC par rapport à celle récoltée en JL (65,7 vs 56,7 %), contrairement à Colas *et al.* (1972) qui n'avaient observé aucune différence significative sur les taux de fertilité obtenus avec de la semence récoltée au printemps et à l'automne. Colas *et al.* (1985) ne font toutefois pas la distinction entre le pouvoir de fécondation *in vitro* et *in vivo*, ce qui biaise légèrement les résultats puisque cela implique qu'ils ne prennent pas en considération les pertes embryonnaires *in vivo*. La prolificité (nombre d'agneaux nés/agnelage) pour sa part n'a pas montré de relation

significative avec le traitement photopériodique imposé aux béliers. Par contre, une corrélation positive (r = 0,607) entre la fertilité et la prolificité a été obtenue entre la 13^{e} et la 26^{e} semaine, c'est-à-dire que plus un bélier a été fertile, plus il a également été prolifique. Ceci indique que les béliers ont exercé un effet direct sur le nombre d'agneaux par mise-bas, relation également obtenue par Schanbacher (1979). Les auteurs ont interprété cette relation en expliquant que la qualité de la semence du bélier a agi à la fois sur le nombre d'ovocytes fécondés ainsi que sur leur devenir dans l'utérus. En effet, selon Fournier-Delpech *et al.* (1982), la mortalité embryonnaire dépendrait du stade de maturation des spermatozoïdes dans l'épididyme. Enfin, la semence récoltée par Colas *et al.* (1985) a présenté un pH plutôt alcalin en JL, tandis qu'il a été acide en JC. Cependant, aucune corrélation significative n'a été trouvée entre le pH de la semence et son pouvoir fécondant.

Lincoln et Davidson (1977) ont pour leur part soumis des béliers adultes Soay à un programme de photopériode artificielle où les animaux étaient placés cinq semaines en JL puis exposés à 16 semaines de JC suivies de 16 semaines de JL. Deux semaines après le passage des animaux des JL en JC, les concentrations sanguines en FSH et en LH commençaient à augmenter, suivies presque immédiatement par une augmentation de la testostérone et, par le fait même, d'un accroissement de la taille des testicules. Le diamètre testiculaire ainsi que la taille des épididymes, cette dernière étant estimée à l'aide d'un vernier, ont continué à augmenter tout au long des JC. Les hautes concentrations de testostérone ont pour leur part été associées avec une augmentation de l'agressivité des animaux ainsi que des comportements sexuels (incidence du Flehmen). Par la suite, de façon générale, le retour vers les JL a entraîné un déclin des paramètres mesurés.

Lindsay *et al.* (1984) ont pour leur part soumis des béliers Ile-de-France à un programme dans lequel la photopériode d'une année entière était recréée en six mois seulement. Encore une fois, leur expérience a montré que la croissance et la régression des testicules étaient hautement reliées avec la photopériode à laquelle les animaux étaient exposés. La fréquence des pics de sécrétion de LH était plus élevée lorsque les jours raccourcissaient

que lorsqu'ils allongeaient Ainsi, la croissance testiculaire pouvait être associée à des concentrations élevées de LH sanguine lors des JC.

Fitzgerald et Stellflug (1990) ont quant à eux utilisé des béliers de quatre races différentes (Booroola Merino, Rambouillet, Columbia et Polypay) pour leur étude portant sur la libido, la CS et la semence chez les béliers exposés à une photopériode contrôlée (quatre mois de JL et quatre mois de JC en alternance). La CS des béliers en JC, tout comme la production spermatique, ont été supérieures à celles des béliers en JL. La libido, mesurée par le nombre d'éjaculats récoltés au vagin artificiel par rapport au nombre de tentatives de monte sur la brebis, a été plus élevée lors des JC que lors des JL (95 % vs 76 %).

Dans le cadre d'une autre recherche, huit béliers croisés Dorset x Leicester x Suffolk ont été placés sous une photopériode alternant quatre mois de JC et de JL pour une période de deux ans (Sanford *et al.*, 1993) (Figure 2.13). Cette photopériode a permis la production d'une série de trois cycles de variations testiculaires très similaires et réguliers. Les auteurs ont observé que la CS a atteint des valeurs maximales et minimales dans le deuxième mois des JC et des JL, respectivement.

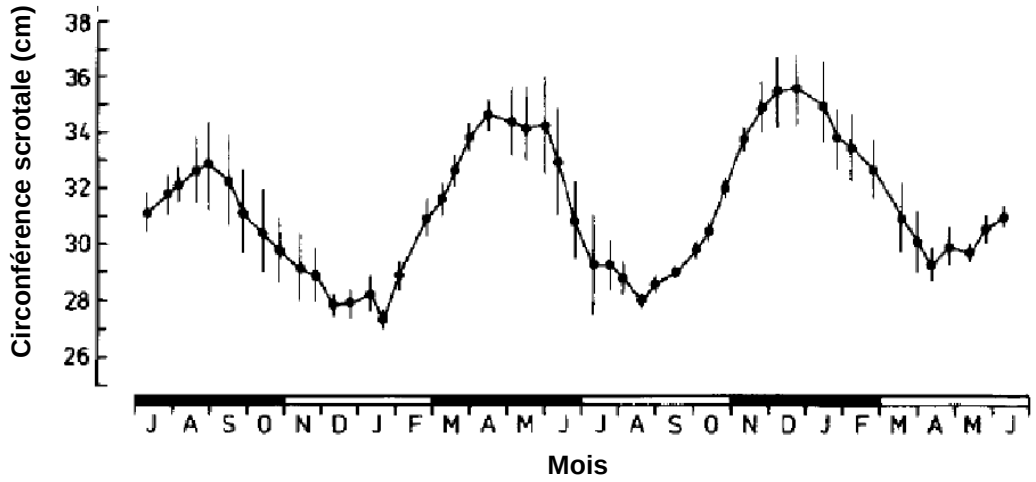

Figure 2.13. Changements dans le diamètre scrotal de béliers en réponse à une photopériode alternant 4 mois de jours courts (barres pleines) et 4 mois de jours longs (barres vides)

Adaptée de Sanford *et al.*, 1993

La relation positive entre la LH et la croissance testiculaire notée par Lindsay *et al.* (1984) a également été étudiée par D'occhio *et al.* (1984). Des béliers de quatre races différentes (Polled Dorset, Finnish Landrace, Rambouillet et Suffolk) ont été soumis à trois mois de JL et de JC en alternance, précédés d'une exposition de deux semaines à 13 h de lumière par jour (LN). Pour toutes les races, le diamètre testiculaire a augmenté durant les JC et a diminué au cours des JL (Figure 2.14).

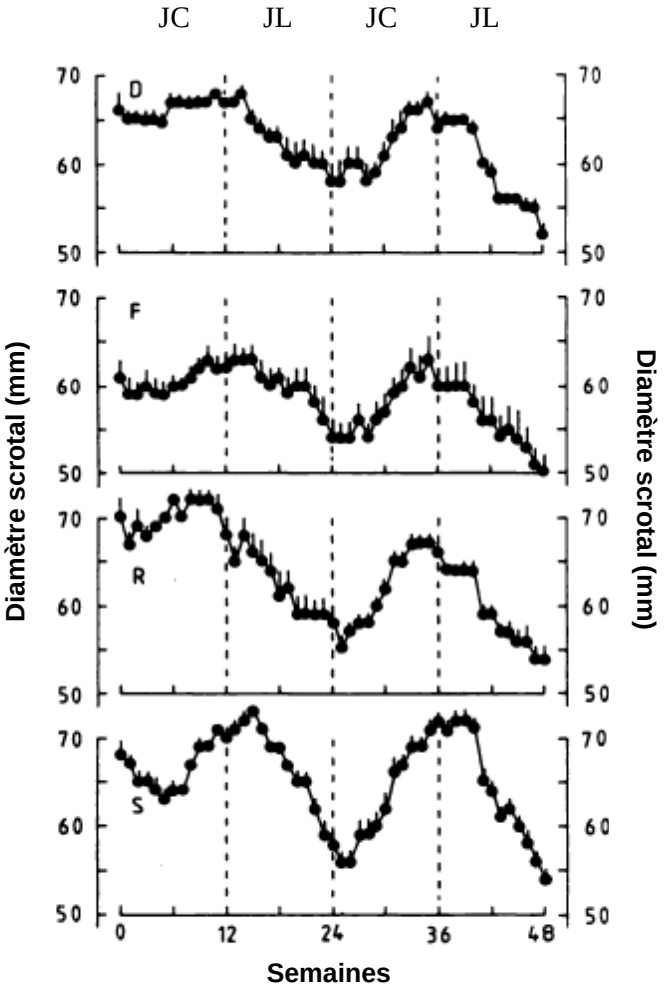

Figure 2.14. Variations du diamètre scrotal chez des béliers Dorset (D), Finnish Landrace (F), Rambouillet (R) et Suffolk (S) exposés à une photopériode alternant 3 mois de jours courts (JC) et 3 mois de jours longs (JL)

Adaptée de D'Occhio *et al.*, 1984

Dans cette expérience, les concentrations sanguines de LH et de testostérone ont varié dans le même sens que les changements du diamètre scrotal (Figure 2.15). L'augmentation de LH est apparue cependant trois à quatre semaines avant qu'une élévation considérable de la testostérone soit détectée, puis les concentrations de LH ont commencé à descendre lorsque la testostérone était à son maximum.

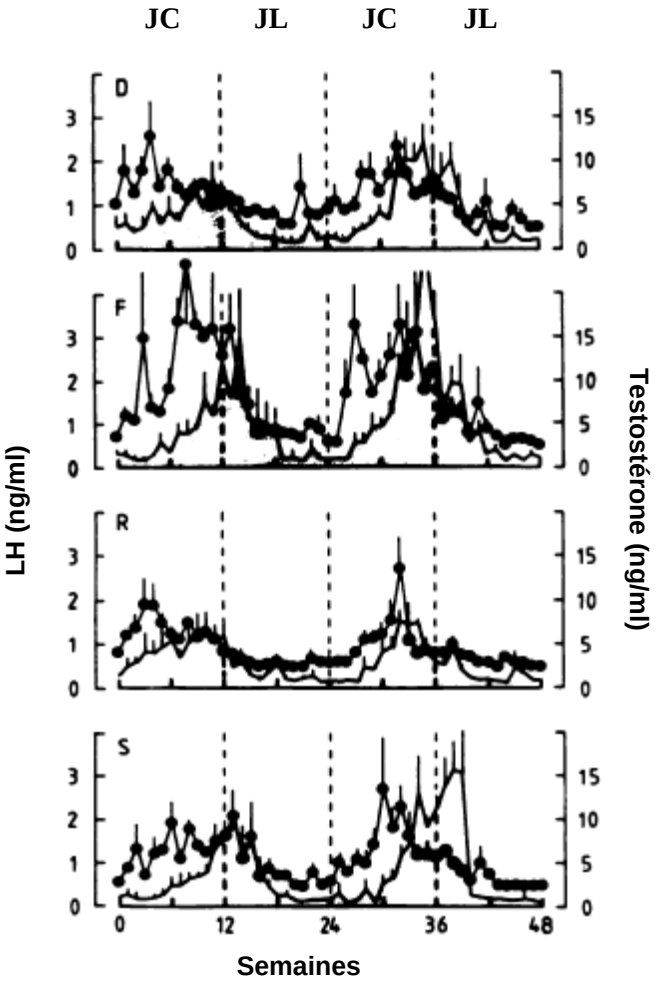

Figure 2.15. Variations de la concentration sérique en LH (●) et en testostérone (-) chez les béliers Dorset (D), Finnish Landrace (F), Rambouillet (R) et Suffolk (S) exposés à une photopériode alternant trois mois de jours courts (JC) et 3 mois de jours longs (JL)

Adaptée de D'Occhio *et al.*, 1984

Le moment pour lequel la concentration en testostérone était la plus élevée correspondait au moment pour lequel les béliers présentaient les diamètres scrotaux les plus élevés (Polled

Dorset (r = 0,89), Finnish Landrace (r = 0,94), Rambouillet (r = 0,91) et Suffolk (r = 0,94)). La prolactine quant à elle, a réagi à l'inverse du diamètre testiculaire, de la LH et de la testostérone, en augmentant en JL et diminuant en JC.

Poulton et Robinson (1987) ont également travaillé avec une photopériode artificielle de 12 semaines de JC et de JL en alternance. Cependant, le premier cycle de photopériode a plutôt duré 32 semaines (16 semaines de JC et 16 semaines de JL), précédé d'une exposition de 16 semaines dont la photopériode a été de 12 h de lumière par jour. Les races de béliers utilisées ont été la Romney Marsh (n = 6), la Dorset Horn (n = 8) et la Mérinos australien (n = 8).

Les plus grandes valeurs de testostérone sanguine ont coïncidé avec les données les plus élevées des volumes scrotaux, tout comme dans l'étude de D'Occhio *et al.* (1984). Dans ces deux études, les béliers de toutes les races ont présenté une plus grande activité hypophyso-testiculaire durant les JC. La libido des béliers a également été étudiée, et ce, selon la réaction des béliers face à une brebis ovariectomisée injectée à l'œstradiol. La brebis était introduite dans un parc de six béliers pour une durée de 15 minutes et les comportements, tels que décrits par Banks (1964), ont été classés comme suit : (0) aucun intérêt; (1) reniflement de la région génitale; (2) agressions; (3) Flehmen; (4) bélier donne des coups à la brebis; (5) tentatives de montes actives. L'activité sexuelle maximale était associée à la fin de la phase de développement et au début de la phase de régression testiculaire, avec un intervalle de six à sept semaines entre le volume scrotal maximal et le pic de la réponse sexuelle.

Bref, de nombreux programmes lumineux à séquences longues de JL et de JC favorisent l'amélioration des performances reproductrices en contre-saison chez le bélier. L'alternance rapide (un mois ou deux mois) des JL et des JC a aussi été étudiée, mais les études concernant ces programmes sont moins nombreuses.

2.2.3. Programmes photopériodiques fractionnés

Les programmes de photopériode dite fractionnée consistent à exposer les animaux à un flash lumineux, à la suite d'une période de noirceur, en guise de JL.

Lincoln en 1978 réalisa un essai de photopériode fractionnée (« skeleton short-day photoperiod »), consistant à exposer les animaux à un flash lumineux en guise de JC. Après une période de deux ans où les animaux étaient exposés à un cycle alternatif de 16 semaines de JC puis 16 semaines de JL, les béliers ont alors été exposés à 16 semaines de JC fractionnées, c'est-à-dire 11L:1N:5L:7N, puis sont retournés en JL. La croissance testiculaire ainsi que les comportements d'agressivité observés ont suivi exactement les mêmes tendances que celles observées dans le groupe de béliers en JC « normaux », malgré le fait que la durée totale de lumière et de noirceur au cours de la journée ne soit pas changée (16L:8N vs 11L:1N:5L:7N).

Les résultats de l'étude de Lincoln (1978) sont toutefois très difficilement explicables, puisqu'il a été montré par des études subséquentes qu'une séquence fractionnée de 11L:1N:5L:7N devrait plutôt être perçue par les animaux comme étant des JL et non comme des JC. C'est donc comme si les béliers de l'expérience de Lincoln (1978) étaient demeurés en JL pour toute la durée de l'expérience, ce qui rend les résultats encore plus difficiles à interpréter. Il serait toutefois possible de poser l'hypothèse que les béliers ont présenté un effet photoréfractaire et que, étant exposés à des JL de façon constante, les béliers auraient repris une activité endogène, ce qui pourrait expliquer la reprise de la croissance testiculaire et d'une activité sexuelle malgré les JL.

En 1987, Pelletier et Thimonier ont réalisé une étude fort intéressante en plaçant des béliers sous photopériode fractionnée, de manière à effectuer un flash lumineux à la suite d'une période de noirceur, en guise de JL cette fois-ci. Les béliers utilisés, préalablement exposés à la lumière naturelle, étaient de race Ile-de-France et étaient âgés de deux à trois ans. Le groupe I recevait une photopériode qui variait progressivement de 8 à 16 h/jour, et inversement, sur une période de trois mois (Figure 2.16). Le groupe II était exposé à un

régime lumineux similaire, mais la durée totale de lumière égalait toujours 8 h et était donnée en deux fractions. Dans le groupe II, l'ouverture des lumières de la principale phase de lumière correspond à celle du groupe I, tandis que le flash lumineux d'une heure coïncidait avec la dernière heure de la photopériode du groupe I.

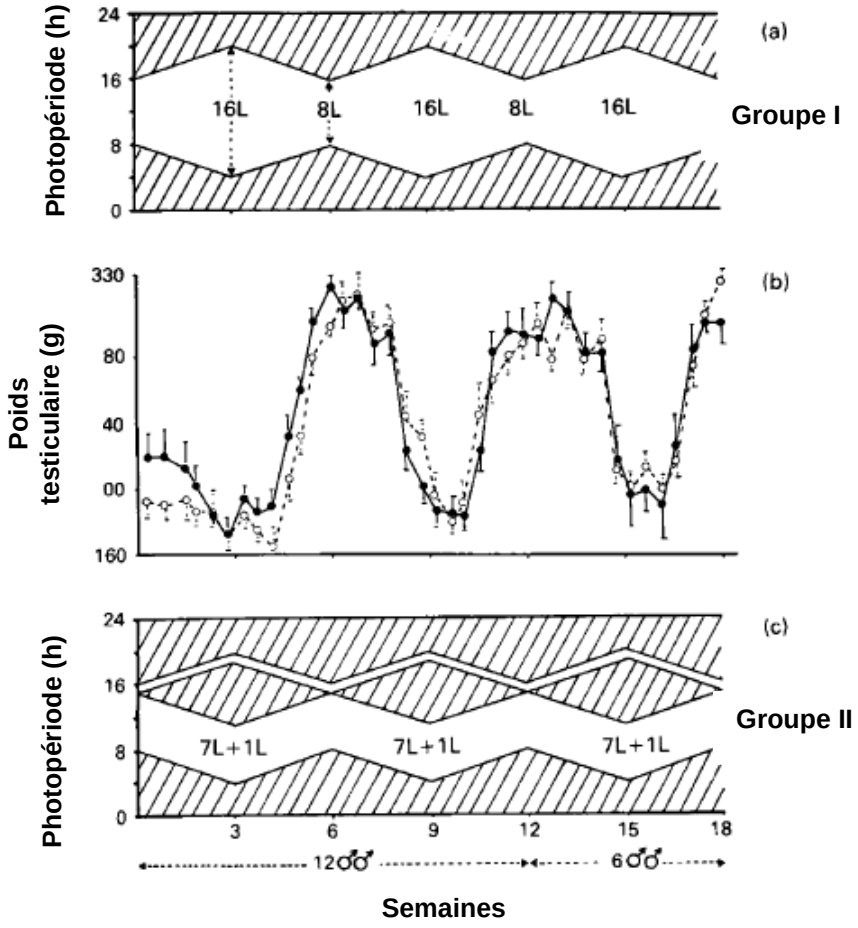

Figure 2.16. Variations du poids testiculaire (b) des béliers du groupe témoin (Groupe I (● - ●) : variation progressive de 8 à 16 heures/jour, puis inversement, sur une période de trois mois) et expérimental (Groupe II (○ - ○) : régime lumineux similaire au Groupe I, mais la durée totale de lumière par jour égale toujours huit heures et est donnée en deux fractions). Dans le groupe II, l'ouverture des lumières de la principale phase de lumière correspond à celle du groupe I, tandis que le flash lumineux d'une heure coïncide avec la dernière heure de la photopériode du groupe I (aire ombragée = noirceur)

Adaptée de Pelletier et Thimonier, 1987

Le poids testiculaire des béliers était évalué toutes les deux semaines à l'aide d'un orchidomètre, une série de perles ovoïdes représentant la forme d'un testicule allant de 100 à 400 millilitres (ml). Le poids du testicule est établi par comparaison manuelle avec les formes étalons. La corrélation entre l'estimation du poids testiculaire à l'aide de cette technique et le poids réel des testicules (obtenus par dissection) est de 0.96, selon les travaux d'Oldham *et al*. (1978). Les résultats obtenus par Pelletier et Thimonier (1987) à l'aide de l'orchidomètre sont en ml, mais les poids testiculaires sont directement interprétés en grammes, sans aucun calcul. Les variations du poids testiculaire ont été identiques chez les deux groupes de béliers. En effet, chaque augmentation du poids testiculaire était associée à une diminution de la photopériode et à l'inverse, une régression du même paramètre correspondait à une augmentation de la durée de la photopériode. Ces résultats correspondaient à ceux observés par Lindsay *et al.* (1984) cités précédemment, qui eux aussi avaient étudié l'alternance de trois mois de JL et trois mois de JC avec des photopériodes fractionnées.

La principale conclusion des études sur les programmes de photopériode fractionnée est donc que ce n'est pas la durée totale d'éclairement dans une journée qui cause la stimulation, mais plutôt l'intervalle de temps entre deux périodes d'éclairement. Les résultats précédents indiquent que la technique du flash lumineux est une technique efficace permettant de diminuer la durée d'éclairement en JL.

2.2.4. Programmes photopériodiques de séquences courtes

Les programmes de photopériode dits de séquences courtes consistent à exposer les animaux à une alternance de séquences de JL et de JC, séquences dont la durée est d'un à deux mois. Ce type de programme a été moins étudié que les programmes à cycles longs.

D'abord, Pelletier *et al.* (1985) ont émis l'hypothèse que l'état réfractaire chez le bélier prenait deux mois à se développer chez le bélier. Ces auteurs se sont donc attardés à l'étude des cycles lumineux courts. Ils ont exposé des béliers Ile-de-France, au nombre de six par groupe, à des séquences croissantes (8 à 16 h de lumière) et décroissantes (16 à 8 h de

lumière) selon des périodes d'alternance (cycle) différentes allant de six, quatre, trois ou deux mois, pour des durées totales de traitement de 18, 12, 12 et 18 mois respectivement (Figure 2.17). Les résultats ont clairement montré que les béliers qui changeaient de séquence lumineuse tous les deux mois ont présenté une augmentation progressive de leur poids testiculaire qui s'est stabilisé près de leur niveau maximal autour du 3^{e} cycle du programme. Par contre, les autres traitements lumineux ont produit des variations saisonnières dans le poids testiculaire des béliers.

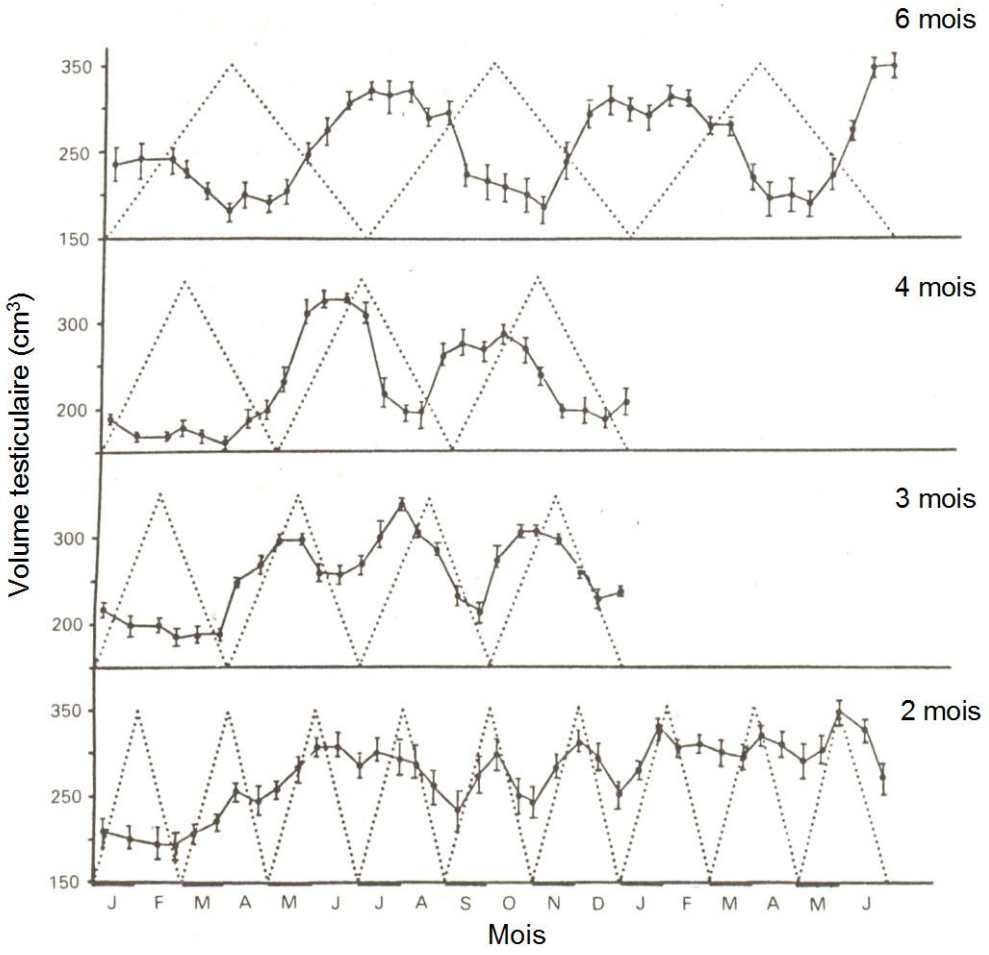

Figure 2.17. Variation du poids testiculaire de béliers Ile-de-France (—) selon le traitement lumineux (...) dans lequel la durée des cycles de jours croissants et décroissants était de 6, 4, 3 ou 2 mois (n = 6 dans chaque groupe)

Adaptée de Pelletier *et al.*, 1985

Pour donner suite aux bons résultats obtenus avec le programme photopériodique de cycles alternatifs courts de deux mois (un mois de JL et de JC) et dans le but de faciliter le travail à la ferme des producteurs, Pelletier et Almeida (1987) ont développé d'autres alternatives à ce programme court (Figure 2.18). Des béliers Ile-de-France (n = 6) ont été exposés à trois types des cycles photopériodiques courts. Le premier traitement consistait à exposer les béliers à une alternance d'un mois de JL croissant d'un mois de JC décroissant. Les béliers du second groupe ont simplement été soumis à des JC et des JL en alternance chaque mois. Enfin, le troisième groupe a reçu, en alternance chaque mois, des JC et des JL donnés en deux blocs, un de 7 h et un de 1 h (flash lumineux) donné 15-16 h après l'aube. Dans ces trois programmes, le poids testiculaire des béliers a varié en trois phases : (i) il n'y a eu aucun changement durant les deux-trois premiers mois, ce qui, selon les auteurs, correspond à la phase photoréfractaire naturelle; (ii) Au cours des deux-trois mois suivant, il y a eu une augmentation régulière des poids testiculaires, presque jusqu'aux valeurs maximales; (iii) les valeurs ont été élevées et constantes pour les cinq cycles suivants, avec une tendance à augmenter vers des valeurs maximales en même temps que les animaux, encore jeunes au début de l'expérience (2,5 ans), prenaient de l'âge.

Ces résultats indiquent que le poids testiculaire peut être maintenu chez des béliers exposés à des cycles alternatifs courts d'un mois de JL et d'un mois de JC et que la régression saisonnière du poids testiculaire était abolie sous ces conditions. D'un point de vue physiologique, cette stimulation photopériodique fréquente, mais de courtes durées, permet d'obtenir des niveaux de sécrétion et de pulsatilité de LH variant avec la lumière, mais atteignant des valeurs plus élevées en JC (Chemineau *et al.*, 1992). Cependant, les auteurs ont noté que les concentrations moyennes de LH et de testostérone demeuraient très faibles pendant l'année et demie qu'ont duré les traitements lumineux. Par contre, ces taux ont été suffisants pour induire le développement testiculaire. L'exposition aux JL inhibiteurs préviendrait la sécrétion de LH et par conséquent une surstimulation de testostérone. En l'absence de cette surstimulation, la testostérone ne pourrait agir négativement sur l'axe hypothalamo-hypophysaire et induire une régression de la taille des testicules (Pelletier et Almeida, 1987).

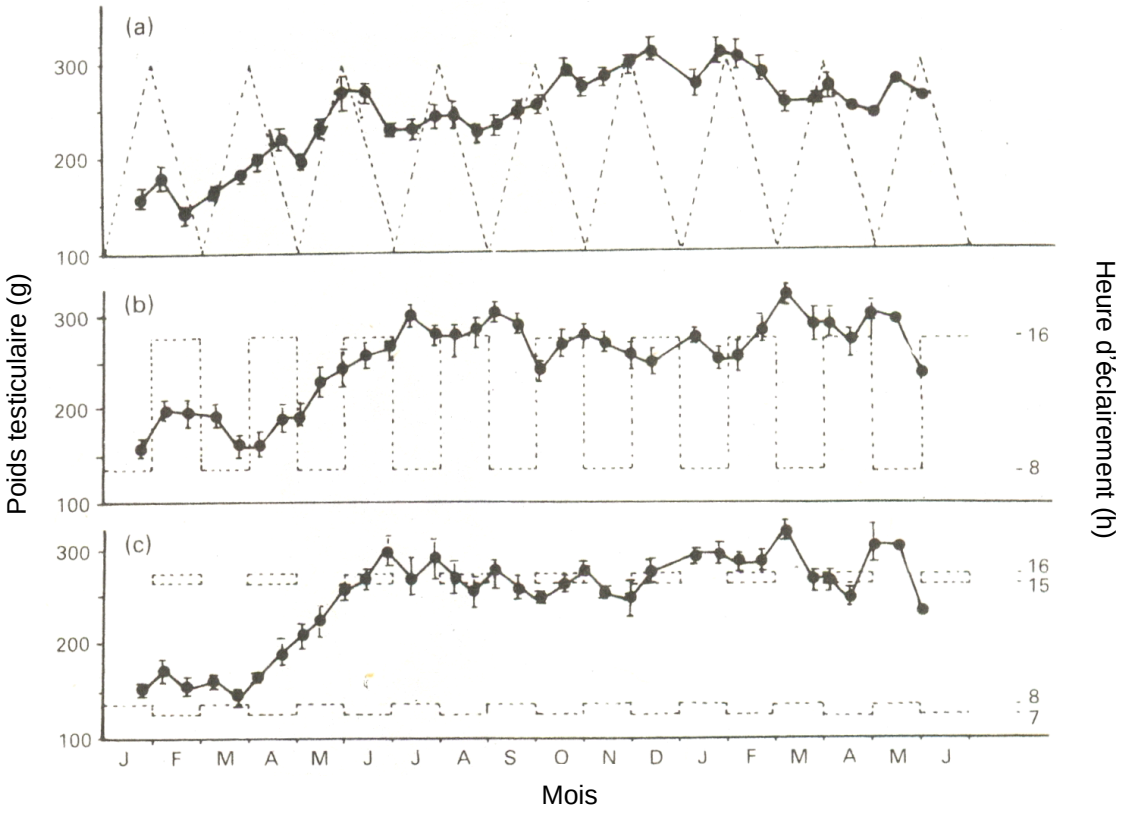

Figure 2.18. Variation du poids testiculaire (—) (± ETM) de béliers Ile-de-France (n = 6) exposés à des cycles photopériodiques courts (...) : a) Des jours longs (JL) croissants et des jours courts (JC) décroissants en alternance chaque mois.; b) Des JC et des JL en alternance chaque mois; c) Photopériode fractionnée, soit des JC et des JL (donnés en deux blocs, un de 7 h et un de 1 h (flash lumineux) donné 15-16 h après l'aube) en alternance chaque mois

Adaptée de Pelletier et Almeida, 1987

Schanbacher en 1988 a lui aussi fait une étude sur l'alternance des cycles courts. La race Suffolk a été choisie pour mener à bien cette étude, puisque cette race paternelle, dont la reproduction est très saisonnière, montre des changements saisonniers marqués du point de vue endocrinien et de la fonction testiculaire. Trois groupes de béliers ont été formés : un groupe témoin laissé en lumière naturelle, un second exposé à une séquence d'un mois de JL et d'un mois de JC, puis un dernier exposé à un mois de JC standards et à un mois de JL fractionnés (7L:9N:1L:7N) (Figure 2.19). La durée totale de l'expérience a été de 60 semaines.

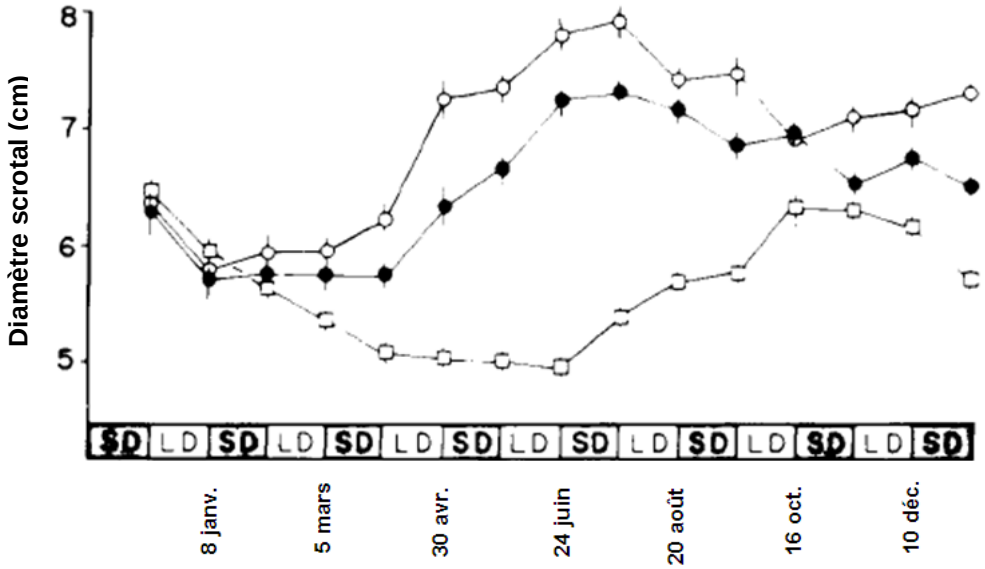

Figure 2.19. Diamètre scrotal de béliers Suffolk exposés à la lumière naturelle (□), exposés à un mois de jours longs (JL) et un mois de jours courts (JC) (●) et exposés à un mois de JC standards et à un mois de JL fractionnés (7L:9N:1L:7N) (○). SD (« short day ») = jours courts; LD (« long day ») = jours longs

Adaptée de Schanbacher, 1988

Les diamètres scrotaux des deux groupes de béliers exposés à la photopériode artificielle ont augmenté au cours de la contre-saison sexuelle et ont même atteint leurs valeurs maximales lors du solstice d'été. Par la suite, la taille des testicules s'est maintenue à un niveau élevé jusqu'à la saison de reproduction à l'automne (fin de l'expérience). Tout comme Pelletier et Almeida (1987), Schanbacher (1988) a suggéré que les cycles de photopériode artificielle d'une durée de seulement huit semaines (un mois de JC et un mois de JL) pouvaient maintenir l'activité de testiculaire des béliers à un niveau comparable à celui observé durant la saison sexuelle. De même, ces deux études ont fait, selon elles, l'évidence que les cycles lumineux de courte durée (huit semaines) empêchent l'apparition de l'état photoréfractaire et permettent ainsi de maintenir le comportement de reproduction et l'activité gamétogénétique du bélier. La pulsatilité de la LH et de la testostérone est augmentée, mais apparemment pas au niveau requis pour la surstimulation et la libération de la testostérone, ce qui impose normalement par la suite une rétroaction négative du complexe hypothalamo-hypophysaire.

En conclusion, les études sur les programmes photopériodiques de cycles courts ont montré que ce type de traitement permettait aux béliers de maintenir une activité testiculaire et d'ainsi contrer les baisses saisonnières de la croissance testiculaire. Toutefois, présentement, aucune recherche n'a évalué l'impact réel que peuvent avoir des béliers préparés avec de tels programmes de photopériode de cycles courts sur les résultats de fertilité d'un troupeau.

2.3. CONCLUSION

De tous les éléments de la gestion d'un élevage ovin qui influencent la productivité globale de l'entreprise, l'efficacité de la reproduction en contre-saison sexuelle est sans aucun doute un des paramètres critiques. La revue précédente a montré que la photopériode était le principal facteur contrôlant l'activité de reproduction chez le bélier, ce qui fait en sorte qu'il y a chez cet animal une saison sexuelle (septembre à mars) ainsi qu'une contre-saison sexuelle (avril à août). Plusieurs études sur le sujet ont déjà été publiées, tant en rapport avec les explications physiologiques qu'aux impacts de la photopériode sur la qualité de la semence, les mesures testiculaires, la libido ainsi que les concentrations en testostérone sanguine. Une fois la preuve faite de l'effet marqué de l'alternance entre les JC et les JL sur ces paramètres, le but ultime et intéressant est de maintenir ces paramètres à un niveau optimal et ainsi abolir ou atténuer ces variations saisonnières. De toute évidence, il serait intéressant de tenter de maintenir une semence de qualité supérieure tout au long de l'année, soit une semence dont les valeurs ressembleraient à celles retrouvées à l'automne, en lumière naturelle. Cette atténuation pourrait ainsi permettre d'améliorer les performances de reproduction lors des accouplements en contre-saison sexuelle.

Chez les ovins, quelques programmes de photopériode ont fait l'évidence que les cycles lumineux de courte durée empêchent l'apparition de l'état photoréfractaire et permettent ainsi de maintenir le comportement de reproduction ainsi que l'activité testiculaire chez bélier (Pelletier et Almeida, 1987). Le programme de Pelletier et Almeida (1987) qui alternait les JC et les JL chaque mois est une des études les plus inspirantes publiées à ce jour. Toutefois, les béliers Ile-de-France utilisés par ces auteurs possèdent une grande

aptitude au désaisonnement. Aussi, aucun auteur ne pousse jusqu'au bout l'idée ou l'avantage de tels programmes, puisqu'aucune étude sur les programmes de photopériode ne place les béliers en situation réelle de reproduction, autre que par IA (Colas *et al.*, 1985). Donc, aucune recherche disponible actuellement ne fait la démonstration que ces changements physiologiques saisonniers ont des répercussions réelles sur la fertilité des béliers et la fertilité dans un système d'agnelage accéléré.

À l'intérieur des études discutées précédemment, les résultats sont cependant parfois variables. Par exemple, selon les recherches, l'évidence d'un état photoréfractaire chez le bélier ne fait pas toujours l'unanimité. Pour sa part, la libido, soit la capacité sexuelle établie par des tests permettant de prévoir l'activité des béliers lors des accouplements, n'est pas nécessairement lié au résultat de fertilité (Salmon *et al.*, 1984). L'effet des races peut aussi faire varier les résultats de certains paramètres. De plus, les recherches présentées dans ce chapitre ont été réalisées en sols étrangers et, pour la plupart, avec des races de béliers moins ou pas du tout utilisées au Canada. Cette information doit être prise en considération lors de la comparaison ou de l'interprétation des résultats. Il en va de même pour le climat (température) des différents pays où se sont déroulées ces mêmes études. Au Québec, même si aucune étude de ce genre n'a été réalisée, de nombreuses observations « terrain » confirment que les béliers ont un impact majeur sur la fertilité des brebis.

2.4. HYPOTHESES ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

Les informations présentées dans la revue de littérature précédente montrent que de la recherche est encore nécessaire afin de bien caractériser les effets d'une préparation photopériodique de cycles courts sur certains caractères physiques, physiologiques, comportementaux et surtout sur la capacité réelle de reproduction des béliers.

Les hypothèses de ce travail sont qu'un traitement photopériodique des béliers consistant à l'alternance mensuelle continue de JC (8 h de lumière/j) et de JL (16 h de lumière/j) :

- Prévient les variations saisonnières:
  - de la testostérone sanguine;
  - de la circonférence scrotale;
  - de la qualité de la semence ;
  - de la libido ;
  - des performances de reproduction des béliers mis en accouplement en contre-saison sexuelle (fertilité et prolificité)
- Diminue les performances de reproduction lors des accouplements d'automne, lorsque la préparation photopériodique est faite uniquement pour les accouplements en contre-saison.

2.5. LISTES DES OUVRAGES CITES

Alliston, C.W., G.E. Egli et L.C. Ulberg. 1961. Loss of potential young in the ewe due to high temperature. J. Appl. Physiol. 16: 253-256.

Almeida, O.F. et G.A. Lincoln. 1984. Reproductive photorefractoriness in rams and accompanying changes in the patterns of melatonin and prolactin secretion. Biol. Reprod. 30: 143-158.

Banks, E.M. 1964. Some aspects of sexual behavior in domestic sheep, Ovis aries. Behaviour 23: 249-279.

Bielansky, W. et S. Wierzbowski. 1966. Élimination des spermatozoïdes dans l'urine chez les ruminants. C. R. Conf. Biol. Reprod., Bucarest, Roumanie.

Bittman, E.L., R.J. Dempsey et F.J. Karsch. 1983. Pineal melatonin secretion drives the reproductive response to dayligth in the ewe. Endocrinology 113: 2276-2283.

Chemineau, P. 1993. Environment and animal reproduction. World Anim. Rev. 77: 2-14.

Chemineau, P., B. Malpaux, J.A. Delgadillo, Y. Guérin, J.P. Ravault, J. Thimonier et P. Pelletier. 1992. Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. Anim. Reprod. Sci. 30: 157-184.

Chemineau, P., J. Pelletier, Y. Guérin, G. Colas, J.P. Ravault, G. Touré, G. Almeida, J. Thimonier et R. Ortavant. 1988. Photoperiodic and melatonin treatments for the control of seasonal reproduction in sheep and goats. Reprod. Nutr. Dev. 28: 409-422.

Colas, G. 1980. Variations saisonnières de la qualité du sperme chez le bélier Ile-de-France. I. Étude de la morphologie cellulaire et de la motilité massale. Reprod. Nutr. Dev. 20: 1789-1799.

Colas, G. 1981. Variations saisonnières de la qualité du sperme chez le bélier Ile-de-France. II. Fécondance : relation avec les critères qualitatifs observés *in vitro*. Reprod. Nutr. Dev. 21: 399-407.

Colas, G., Y. Guérin, V. Clanet et A. Solari. 1985. Influence de la durée d'éclairement sur la production et la fécondance des spermatozoïdes chez le bélier adulte Ile-de-France. Reprod. Nutr. Dev. 25: 101-111.

Colas, G., A. Laszczka, G. Brice et R. Ortavant. 1972. Variations saisonnières de la production de sperme chez le bélier. Seasonal variations in semen production in the ram. Acta Agraria et Silvestria Series Zootechnia 12: 3-15.

D'Occhio, M.J., B.D. Schanbacher et J.E. Kinder. 1984. Profiles of luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, testosterone and prolactin in rams of diverse breeds: effects of contrasting short (8L:16D) and long (16L:8D) photoperiods. Biol. Reprod. 30: 1039-1054.

Dacheux, J.L., C. Pisselet, M.R. Blanc, M.T. Hochereau-de-Revier et M. Courot. 1981. Seasonal variations in rete testis fluid secretion and sperm production in different breeds of ram. J. Reprod. Fertil. 61: 363-371.

Derycke, G., R. Paquay et J.L. Bister. 1990. Étude de la capacité de reproduction du bélier en différentes races en fonction de la saison. 41^{e} Réunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie, Toulouse. 244-245.

Dufour, J.J. 1974. The duration of the breeding season of four breeds of sheep. Can. J. Anim. Sci. 54: 389-392.

Dufour, J.J., M.H. Fahmy et F. Minvielle. 1984. Seasonal changes in breeding activity, testicular size, testosterone concentration and seminal chararteristics in rams with long or short breeding season. J. Anim. Sci. 58: 416-421.

Dupré, S.M., K. Miedzinska, C.V. Duval, L. Yu, R.L. Goodman, G.A. Lincoln, J.R.E. Davis, A.S. McNeilly, D.D. Burt et A.S.I. Loudon. 2010. Identification of Eya3 and TAC1 as Long-Day Signals in the Sheep Pituitary. Curr. Biol. 20: 829-835.

Fitzgerald, J.A. et J.N. Stellflug. 1990. Comparison of scrotal circumference, sperm output and libido of Booroola Merino, Polypay, Rambouillet and Columbia rams in a controlled photoperiod. Sheep Res. J. 6: 11-14.

Fournier-Delpech, S., J.L. Courtens, C.L. Pisselet, B. Delaleu et M. Courot. 1982. Acquisition of zona binding by ram spermatozoa during epididymal passage, as revealed by interaction with rat oocytes. Gamete Research 5: 403-408.

Fowler, D.G. 1962. The effect of changes in the daily photoperiod on the semen characteristics of the Merino ram. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 4: 58-62.

Gilles, R., M. Anctil, F. Baguet, M. Charmantier, A. Péqueux, J.C. Plumier et P. Sébert. 2006. Physiologie animale. De Boeck, Bruxelles, 675 pp.

Howles, C.M., J. Craigon et N.B. Haynes. 1982. Long-term rhythms of testicular volume and plasma prolactin concentrations in rams reared for 3 years in constant photoperiod. J. Reprod. Fertil. 65: 439-446.

Howles, C.M., G.M. Webster et N.B. Haynes. 1980. The effect of rearing under a long or short photoperiod on testis growth, plasma testosterone and prolactin concentrations, and the development of sexual behaviour in rams. J. Reprod. Fertil. 60: 437-447.

Humanity Healing Network. 2010. Pineal gland: The transcendental gateway.

Ibarra, D., D. Laborde et E. van Lier. 2000. Repeatability and relationship with field mating performance of a serving capacity pen test in rams. Small Rumin. Res. 37: 165-169.

Islam, A.B.M.M. et R.B. Land. 1977. Seasonal variation in testis diameter and sperm output of rams of breeds of different prolifacy. Anim. Prod. 25: 311.

Kafi, M., M. Safdarian et M. Hashemi. 2004. Seasonal variation in semen characteristics, scrotal circumference and libido of Persian Karakul rams. Small Rumin. Res. 53: 133-139.

Karagiannidis, A., S. Varsakeli, C. Alexopoulos et I. Amarantidis. 2000. Seasonal variation in semen characteristics of Chios and Friesian rams in Greece. Small Rumin. Res. 37: 125-130.

Karsch, F.J., E.L. Bittman, J.E. Robinson, S.M. Yellon, N.L. Wayne, D.H. Olster et A.H. Kaynard. 1986. Melatonin and photorefractoriness: loss of response to the melatonin signal leads to seasonal reproductive transitions in the ewe. Biol. Reprod. 34: 265-274.

Karsch, F.J., B. Malpaux, N.L. Wayne et J.E. Robinson. 1988. Characteristics of the melatonin signal that provide the photoperiodic code for timing seasonal reproduction in the ewe. Reprod. Nutr. Dev. 28: 459-472.

Land, R.B. 1970. The mating behaviour and semen characteristics of Finnish Landrace and Scottish Blackface rams. Anim. Prod. 12: 551-560.

Langford, G.A., L. Ainsworth, G.J. Marcus et J.N.B. Shrestha. 1987. Photoperiod entrainment of testosterone, luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, and prolactin cycles in rams in relation to testis size and semen quality. Biol. Reprod. 37: 489-499.

Legan, S.J. et F.J. Karsch. 1983. Importance of retinal photoreceptors to the photoperiodic control of seasonal breeding in the ewe. Biol. Reprod. 29: 316-325.

Lincoln, G.A. 1978. Induction of testicular growth and sexual activity in rams by a 'skeleton' short-day photoperiod. J. Reprod. Fertil. 52: 179-181.

Lincoln, G.A. et I.J. Clarke. 1994. Photoperiodically-induced cycles in the secretion of prolactin in hypothalamo-pituitary disconnected rams: evidence for translation of the melatonin signal in the pituitary gland. J. Neuroendocrinol. 6: 251-260.

Lincoln, G.A. et W. Davidson. 1977. The relationship between sexual and aggressive behaviour, and pituitary and testicular activity during the seasonal sexual cycle of rams, and the influence of photoperiod. J. Reprod. Fertil. 49: 267-276.

Lincoln, G.A. et R.V. Short. 1980. Seasonal breeding: nature's contraceptive. Recent progress in hormone research 36: 1-52.

Lindsay, D.R., J. Pelletier, C. Pisselet et M. Courot. 1984. Changes in photoperiod and nutrition and their effect on testicular growth of rams. J. Reprod. Fertil. 71: 351-356.

Lino, B.F., A.W.H. Braden et K.E. Turnbull. 1967. Fate of Unejaculated Spermatozoa. Nature 213: 594-595.

Malpaux, B., J.E. Robinson, M.B. Brown et F.J. Karsch. 1988. Importance of changing photoperiod and melatonin secretory pattern in determining the length of the breeding season in the Suffolk ewe. J. Reprod. Fertil. 83: 461-470.

Malpaux, B., J.E. Robinson, N.L. Wayne et F.J. Karsch. 1989. Regulation of the onset of the breeding season of the ewe: importance of long days and of an endogenous reproductive rhythm. J. Endocrinol. 122: 269-278.

Mandiki, S.N.M., G. Derycke, J.L. Bister et R. Paquay. 1998. Influence of season and age on sexual maturation parameters of Texel, Suffolk and Ile-de-France rams 1.Testicular size, semen quality and reproductive capacity. Small Rumin. Res. 28: 67-79.

Mickelsen, W.D., L.G. Paisley et J.J. Dahmen. 1981. The effect of scrotal circumference, sperm motility and morphology in the ram on conception rates and lambing percentage in the ewe. Theriogenology 16: 53-59.

Oldham, C., N. Adams, P. Gherardi, D. Lindsay et J. Mackintosh. 1978. The influence of level of feed intake on sperm-producing capacity of testicular tissue in the ram. Aust. J. Agric. Res. 29: 173-179.

Ortavant, R. et C. Thibault. 1956. Influence de la durée d'éclairement sur les productions spermatiques du bélier. C.r. Scéanc. Soc. Biol. 150: 358-362.

Pelletier, J. 1996. Les mécanismes de contrôle de la saisonnalité de la reproduction chez le bélier. Controls mechanisms of the seasonality of reproduction in the ram. Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France, Paris, France. INIST-CNRS 82: 27-38.

Pelletier, J. et G. Almeida. 1987. Short light cycles induce persistent reproductive activity in Ile-de-France rams. J. Reprod. Fertil. Suppl. 34: 215-226.

Pelletier, J., V. Brieu, D. Chesneau, C. Pisselet et M. de Reviers. 1985. Abolition partielle des variations saisonnières du poids testiculaire chez le bélier par diminution de la période du cycle lumineux. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie 301: 665–668.

Pelletier, J., D.H. Garnier, M.M. de Reviers, M. Terqui et R. Ortavant. 1982. Seasonal variation in LH and testosterone release in rams of two breeds. J. Reprod. Fertil. 64: 341-346.

Pelletier, J. et R. Ortavant. 1970. Influence du photopériodisme sur les activités sexuelle, hypophysaire et hypothalamique du bélier Ile-de-France. Dans: J. Benoît and I. Assenmacher (éds.). La photorégulation de la reproduction chez les oiseaux et les mammifères. p. 483-495. CNRS, Montpellier, France.

Pelletier, J. et J. Thimonier. 1987. The measurement of daylength in the Ile-de-France ram. J. Reprod. Fertil. 81: 181-186.

Pepelko, W.E. et M.T. Clegg. 1965. Influence of season of the year upon patterns of sexual behavior in male sheep. J. Anim. Sci. 24: 633-637.

Perkins, A., J.A. Fitzgerald et E.O. Price. 1992. Sexual performance of rams in serving capacity tests predicts success in pen breeding. J. Anim. Sci. 70: 2722-2725.

Poulton, A.L. et T.J. Robinson. 1987. The response of rams and ewes of three breeds to artificial photoperiod. J. Reprod. Fertil. 79: 609-626.

Regisford, E.G.C. et L.S. Katz. 1993. Effects of bromocriptine-induced hypoprolactinaemia on gonadotrophin secretion and testicular function in rams (Ovis aries) during two seasons. J. Reprod. Fertil. 99: 529-537.

Robinson, J.E. et F.J. Karsch. 1988. Timing the breeding season of the ewe: What the role of daylength. Reprod. Nutr. Dev. 28: 365-374.

Salmon, I., Y. Cognie, P. Orgeur, G. Venier et J.P. Signoret. 1984. Effet du comportement sexuel et de la production spermatique du bélier sur la fertilité obtenue en accouplement naturel. Ann. Zootech. 33: 343-352.

Sanford, L.M., W.M. Palmer et B.E. Howland. 1977. Changes in the profiles of serum LH, FSH and testosterone, and in mating performance and ejaculate volume in the ram during the ovine breeding season. J. Anim. Sci. 45: 1382-1391.

Sanford, L.M., J.K. Voglmayr, W.W. Vale et B. Robaire. 1993. Photoperiod-mediated increases in serum concentrations of inhibin, follicle-stimulating hormone, and

luteinizing hormone are accentuated in adult shortened-scrotum rams without corresponding decreases in testosterone and estradiol. Biol. Reprod. 49: 365-373.

Sanford, L.M., J.S.D. Winter, W.M. Palmer et B.E. Howland. 1974. The profile of LH and testosterone secretion in the ram. Endocrinology 95: 627-631.

Schanbacher, B.D. 1979. Increased lamb production with rams exposed to short day lengths during the nonbreeding season. J. Anim. Sci. 49: 927-932.

Schanbacher, B.D. 1988. Responses of market lambs and Suffolk rams to a stimulatory skeleton photoperiod. Reprod. Nutr. Dev. 28: 431-441.

Schanbacher, B.D. et J.J. Ford. 1979. Photoperiodic regulation of ovine spermatogenesis: relationship to serum hormones. Biol. Reprod. 20: 719-726.

Schanbacher, B.D. et D.D. Lunstra. 1976. Seasonal changes in sexual activity and serum levels of LH and testosterone in Finish Landrace and Suffolk rams. J. Anim. Sci. 43: 644-650.

Shackell, G.H., R.W. Kelly et A.J. Allison. 1977. Seasonal variation in libido of rams. New Zeal. J. Exp. Agr. 3: 121-122.

Sweeney, T., A. Donovan, F.J. Karsch, J.F. Roche et D. O'Callaghan. 1997. Influence of previous photoperiodic exposure on the reproductive response to a specific photoperiod signal in ewes. Biol. Reprod. 56: 916-920.

Sweeney, T. et D. O'Callaghan. 1995. Physiology of seasonal reproductive transitions in the ewe - Regulation by photoperiod and other environmental cues. Reprod. Dom. Anim. 30: 178-182.

Tulley, D. et P.J. Burfening. 1983. Libido and scrotal circumference of rams as affected by season of the year and altered photoperiod. Theriogenology 20: 435-448.

Wodzicka-Tomaszewska, M., J.C.D. Hutchinson et J.W. Bennett. 1967. Control of the annual rhythm of breeding in ewes: effect of an equatorial daylength with reversed thermal seasons. J. Agric. Sci. 68: 61-67.

Woodfill, C.J.I., Wayne, N.L., Moenter, S.M., Karsch, F.J. 1994. Photoperiodic synchronisation of a circannual reproductive rhythm in sheep: Identification of season-specific time cues. Biol. Reprod. 50: 965-976.

CHAPITRE 3.

INFLUENCE D'UN PROGRAMME PHOTOPÉRIODIQUE ALTERNANT LES JOURS LONGS ET LES JOURS COURTS SUR LA CAPACITÉ DE REPRODUCTION CHEZ LE BÉLIER

3.1. RESUME

Ce projet avait pour but d'évaluer les effets d'une préparation photopériodique des béliers sur leurs performances de reproduction en contre-saison (printemps) et en saison sexuelle (automne). Pour ce faire, en novembre, 14 béliers Suffolk ont été répartis dans trois traitements de préparation photopériodique : LN) groupe témoin en lumière naturelle durant toute l'expérimentation; Photo) photopériode alternant 1 mois de jours longs et 1 mois de jours courts de novembre à septembre : Photo/LN) photopériode alternant 1 mois de jours longs et 1 mois de jours courts de novembre à mai et lumière naturelle de mai à octobre. La circonférence scrotale (CS), la qualité de la semence et la concentration sanguine de testostérone ont été évaluées toutes les deux semaines. Des tests de libido ont également été réalisés avant la répartition des animaux et lors des deux mises en accouplements. Afin d'évaluer la fertilité *in vivo* des béliers en contre-saison sexuelle (mai-juin), ceux-ci ont été mis en accouplement avec des brebis Dorset (DP) dont les chaleurs avaient été synchronisées par un traitement hormonal (saillies synchronisées). Les béliers ont ensuite été mis en accouplement avec des brebis DP n'ayant subi aucune préparation particulière (saillies naturelles). En saison sexuelle (septembre), les béliers ont été placés avec des brebis DP n'ayant subi aucun traitement d'induction des chaleurs. Au moment de la mise en accouplements en contre-saison, la CS des béliers Photo a été plus élevée que celle des béliers LN (35,6 vs 32,4 cm; P = 0,0253). Pour sa part, la qualité de la semence a été variable d'une récolte à l'autre, mais le traitement de photopériode n'a pas influencé la qualité de la semence au cours de l'année. La sécrétion de testostérone et la libido des béliers n'ont pas non plus été affectées par la préparation photopériodique. Le pourcentage d'agnelages lors des accouplements naturels en contre-saison, quoique numériquement

supérieur de 9 % chez les béliers Photo, n'a pas été significativement différent entre ces derniers et les béliers du groupe LN. Toutefois, la productivité des brebis saillies par les béliers préparés en photopériode a été supérieure à celle des brebis saillies par les béliers LN (1,43 vs 1,10 agneau né/brebis mise en accouplement; P = 0,0332). En saison sexuelle, aucune différence n'a été notée entre les mâles des trois groupes, tant pour les paramètres de reproduction avant la mise en accouplement (CS, testostérone, libido, semence) que pour les performances (fertilité, prolificité). Enfin, la préparation photopériodique (traitement ponctuel ou en continu) pourrait améliorer les performances reproductives des béliers en contre-saison.

3.2. INTRODUCTION

Bien que les béliers montrent une activité sexuelle à l'année longue, celle-ci présente des variations saisonnières importantes. Effectivement, tout comme chez la brebis, la synchronisation de la reproduction saisonnière automnale chez le bélier résulte d'une exposition à une séquence lumineuse de jours croissants avant le solstice d'été et à une réduction de la durée journalière par la suite (Sweeney *et al.*, 1997). Les jours longs (JL) ou croissants ont un effet inhibiteur sur l'axe hypothalamo-hypophyso-testiculaire. Au printemps et en été, une baisse de la sécrétion de testostérone, de FSH et de LH est observée (Langford *et al.*, 1987; Pelletier et Almeida, 1987). La variation saisonnière de la sécrétion de la testostérone est effectivement bien documentée (Schanbacher et Lunstra, 1976; Dufour *et al.*, 1984; Pelletier et Almeida, 1987), tout comme la baisse de libido au printemps et à l'été (Pepelko et Clegg, 1965; Land, 1970; Derycke *et al.*, 1990). Il a aussi été montré à plusieurs reprises que le désir sexuel des béliers influence positivement la fertilité des brebis (Perkins *et al.*, 1992; Kilgour, 1993; Ibarra *et al.*, 2000; Stellflug *et al.*, 2008a), mais cette relation n'a pas toujours pu être établie (Kilgour et Wilkins, 1980; Mickelsen *et al.*, 1982). Pour sa part, la croissance testiculaire est reconnue pour être à son plus bas à la fin de l'hiver pour ensuite reprendre dès le début du mois de juin pour être à son maximum à la fin de l'été et au début de l'automne (Mickelsen *et al.*, 1981a; Dufour *et al.*, 1984; Schanbacher, 1988; Chemineau *et al.*, 1992; Mandiki *et al.*, 1998). L'évaluation de la circonférence scrotale (CS) permet de mesurer indirectement la production spermatique des béliers (Ott et Memon, 1980; Amann et Schanbacher, 1983) qui, elle aussi,

varie entre la saison et la contre-saison sexuelle (Ortavant et Thibault, 1956; Colas *et al.*, 1972). Des variations saisonnières plus ou moins grandes de certains paramètres de qualité de la semence sont également rapportées dans la littérature chez les béliers en lumière naturelle (Colas *et al.*, 1972; Colas, 1980; Dacheux *et al.*, 1981; Mandiki *et al.*, 1998; Karagiannidis *et al.*, 2000; Kafi *et al.*, 2004).

En conditions artificielles, il a été démontré que l'alternance entre les périodes de JL et de jours courts (JC) permet de créer un historique photopériodique qui synchronise le rythme de reproduction endogène chez les ovins (Chemineau *et al.*, 1988). Quelques programmes de photopériode ayant soumis des béliers à des traitements de cycles courts (un mois de JL et un mois de JC en alternance), ont fait l'évidence que les cycles lumineux de courte durée empêcheraient l'apparition de l'état photoréfractaire permettant ainsi de maintenir l'activité testiculaire chez bélier (Pelletier *et al.*, 1985; Pelletier et Almeida, 1987; Schanbacher, 1988). Par contre, aucune étude n'a été menée afin d'évaluer l'impact des traitements de photopériode de cycles courts sur la fertilité *in vivo* des béliers soumis à de tels programmes.

Par ailleurs, un des constats qui ressort à la fois des recherches scientifiques et des observations rapportées par les producteurs, est que les béliers préparés en photopériode seulement pour des saillies en contre-saison (pas à longueur d'année) sont inaptes à la reproduction l'automne suivant le traitement lumineux du printemps. En effet, à la fin d'une séquence de JL et de JC au printemps et suite au retour des mâles à la lumière naturelle en été, Colas *et al.* (1987) avaient observé une baisse rapide du volume scrotal en automne, comparativement aux mâles toujours gardés sous lumière naturelle et qui débutaient alors leur activité de reproduction saisonnière. Cette observation pouvait résulter d'un « effet résiduel » du traitement photopériodique JL-JC suite au retour sous la lumière naturelle. Cet effet n'a jamais fait l'objet de recherche scientifique.

L'objectif général de la présente étude était donc d'évaluer les effets d'une préparation photopériodique de cycles courts sur des béliers, afin d'optimiser l'activité de reproduction durant toute l'année et ainsi accroître la productivité annuelle des élevages ovins. De

manière plus spécifique, le projet visait à évaluer les effets d'un traitement photopériodique alternatif d'un mois de JL et d'un mois de JC sur : 1) la qualité de la semence ; 2) les modifications physiques (CS), physiologiques (concentration de testostérone) et comportementales (libido); 3) les performances de reproduction de brebis (fertilité et prolificité) dont les chaleurs sont induites en contre-saison pour un traitement hormonal; 4) les performances de reproduction de brebis accouplées sur des chaleurs naturelles en contre-saison; 5) la capacité de reproduction de béliers à la saison sexuelle suivante, lorsque la préparation photopériodique est faite uniquement pour les accouplements en contre-saison.

3.3. MATERIEL ET METHODES

Toutes les conditions expérimentales respectaient les lignes directrices préconisées par le Conseil canadien de protection des animaux (Conseil canadien de protection des animaux (CCPA), 2009). Ce projet a été réalisé au Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ), situé à La Pocatière au Québec, Canada (latitude 47° 21' 0" Nord, longitude 70° 1' 0" Ouest).

3.3.1. Animaux, logement et alimentation

Le projet a été réalisé avec 13 béliers de race pure Suffolk (SU). Cette race a été choisie car il s'agit de la race paternelle terminale la plus utilisée pour produire des agneaux de marché au Québec. C'est aussi une race dont les activités de reproduction sont reconnues pour être très saisonnières.

Tout au long de la phase expérimentale, la température (Figure 3.1), l'humidité et l'intensité lumineuse dans chaque section où logeaient les animaux ont été enregistrées chaque 15 minutes à l'aide d'enregistreurs automatiques de données (HOBO U12, Onset Computer Corporation, Cape Cod, MA, États-Unis). Ces données ont permis de vérifier l'homogénéité des conditions d'élevage entre les traitements. La superficie allouée par bélier était de 4,35 m^2 à 6,93 m^2 (2-3 béliers/parc).

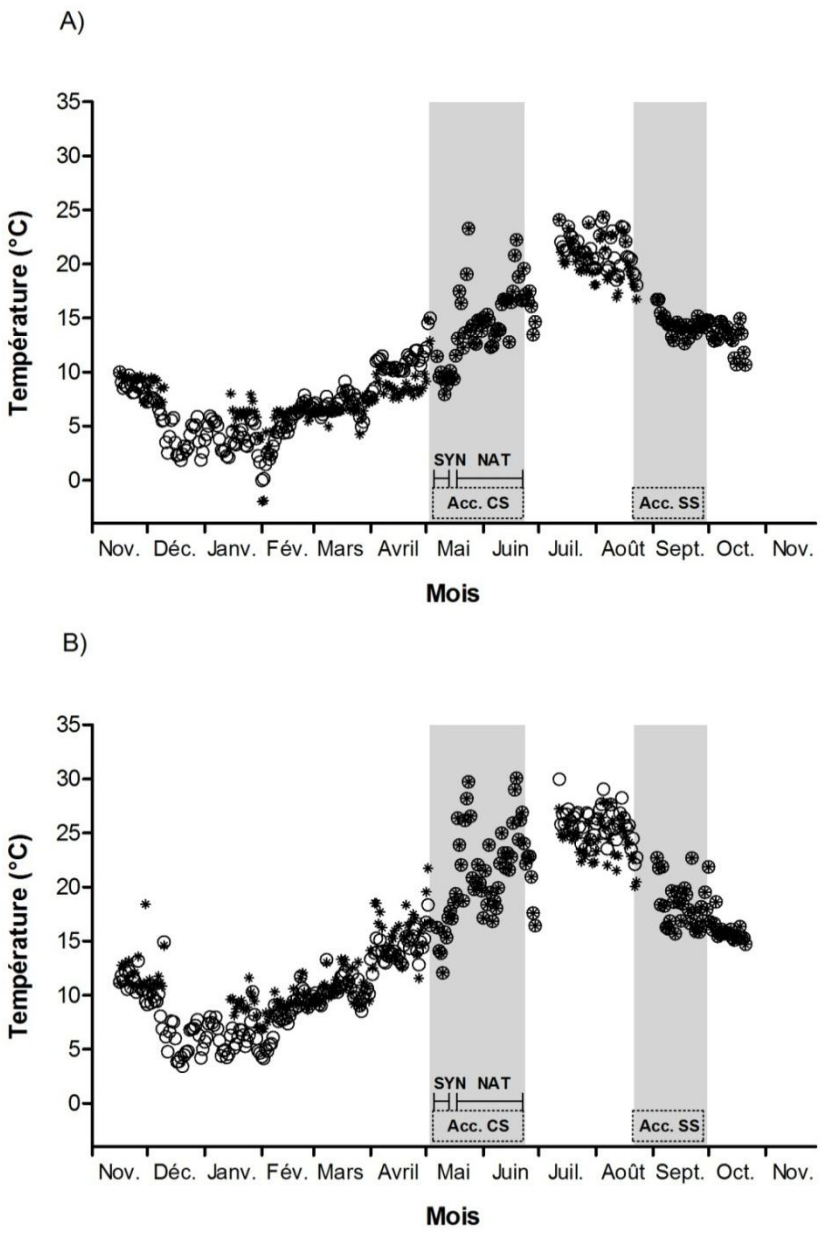

Figure 3.1. Températures minimales (A) et maximales (B) auxquelles ont été exposés les béliers des groupes LN (○ : lumière naturelle durant toute l'expérience), Photo (✳ : photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière) durant toute l'expérience) et Photo/LN (✳ jusqu'à l'accouplement en contre-saison sexuelle, puis ○ jusqu'à la fin de l'étude). Les deux périodes d'accouplements sont délimitées sur la figure par les zones ombragées, moments pendant lesquels tous les animaux étaient exposés aux mêmes conditions environnementales

Avant le début des traitements de photopériode, de mai à novembre, tous les mâles ont été exposés à la lumière naturelle. La section logeant les béliers en traitement photopériodique était complètement dépourvue de fenêtres. Dans cette section, la durée de la photopériode

était changée une fois par mois en fonction du calendrier photopériodique expérimental. La section logeant les béliers en lumière naturelle possédait des fenêtres et un éclairage artificiel dont la durée était ajustée toutes les semaines pour suivre les variations naturelles de la durée du jour. Dans les deux sections, l'éclairage était fourni par des fluorescents et l'intensité lumineuse était supérieure à 400 lux. L'ouverture des lumières à l'intérieur des deux sections était contrôlée par des minuteries.

Les béliers ont reçu une alimentation principalement composée de foin sec de graminées, d'ensilage d'herbes de graminées ainsi que d'une moulée cubée spécialement formulée contenant principalement du maïs et de l'orge. L'alimentation des béliers a aussi été ajustée de façon à maintenir un état de chair moyen de 3,5 tout au long de la durée du projet. Au début des traitements de photopériode, les béliers étaient âgés, en moyenne, de 16,0 ± 2,9 mois, pesaient 111,6 ± 12,6 kg et avaient un état de chair de 3,7 ± 0.3.

3.3.2. Traitements photopériodiques

Les béliers ont été répartis dans les traitements photopériodiques de façon à former trois groupes similaires. Un des trois traitements de photopériode (Figure 3.2) a ensuite été attribué à chacun des trois groupes de béliers :

Photo : les béliers ont subi un traitement de photopériode alternant des périodes de 1 mois de jours longs (JL, 16 h de lumière : 8 h de noirceur, 16L:8N) et 1 mois de jours courts (JC, 8 h de lumière : 16 h de noirceur, 8L:16N) durant toute la période d'expérimentation;

Photo/LN : les béliers ont subi un traitement de photopériode alternant des périodes de 1 mois de JL (16L:8N) et 1 mois de JC (8L:16N) du mois de novembre à la mi-mai (accouplements en contre-saison), après quoi ils étaient placés en lumière naturelle (LN) jusqu'au mois d'octobre ;

LN : les béliers ont été laissés en LN durant toute la période d'expérimentation (groupe témoin).

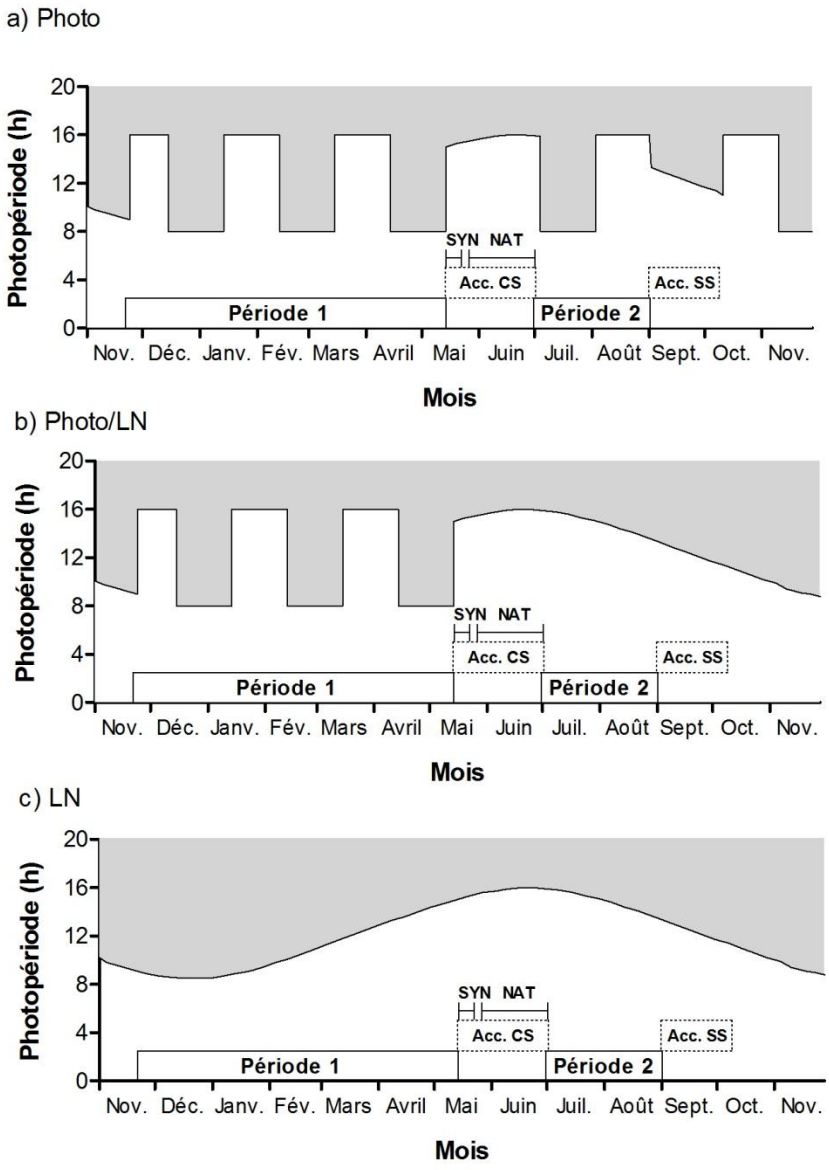

Figure 3.2. **Programmes photopériodiques imposés aux béliers des trois traitements expérimentaux et schématisation du protocole expérimental (*Acc. CS* : accouplements en contre-saison; *SYN* : chaleurs synchronisées; *NAT* : chaleurs naturelles; *Acc. SS* : accouplements en saison sexuelle; *LN* : lumière naturelle durant toute l'expérience; *Photo* : photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière) durant toute l'expérience; *Photo/LN* : même traitement que Photo de novembre à mai (période 1) et retour en lumière naturelle de mai à octobre (période 2)**

Les traitements photopériodiques ont débuté le 16 novembre 2009 et se sont terminés le 11 octobre 2010. Il est à noter que les béliers des traitements Photo et Photo/LN subissaient le même traitement photopériodique de novembre jusqu'à la fin de la période d'accouplements en juillet (période 1). Par la suite, le groupe Photo a été maintenu en photopériode artificielle alors que le groupe Photo/LN est passé en LN jusqu'aux accouplements en saison sexuelle. Lors des périodes d'accouplement, tous les animaux étaient en LN.

3.3.3. Mesures physiques

Le poids ainsi que l'état de chair des béliers (échelle de 1 à 5; 1 étant très maigre et 5 étant très gras) ont été mesurés avant chaque récolte de semence, soit à toutes les deux semaines (excepté au cours des deux périodes d'accouplement). Au même moment, la CS était évaluée à l'aide d'un ruban à mesurer conçu à cette fin (Lane Manufacturing Co., Denver, CO, États-Unis).

3.3.4. Évaluation de la qualité de la semence

3.3.4.1. Récolte de la semence

La semence des béliers a été récoltée toutes les deux semaines par électroéjaculation (EE) (ÉlectroJac® 5, Neogen/Ideal Instruments inc., Chicago, IL, États-Unis). Une sonde munie de trois électrodes et spécialement conçue pour les béliers (16,5 cm de long et 2,5 cm de diamètre) a été utilisée. La sonde était lubrifiée puis délicatement insérée dans le rectum du bélier de façon à ce que les électrodes soient orientées en position ventrale. L'électroéjaculateur était utilisé en mode automatique et fournissait une stimulation électrique pendant deux secondes avec un temps de repos de deux secondes entre chaque nouvelle impulsion. La semence était récoltée dans un tube de verre gradué installé au bout d'un entonnoir en caoutchouc, les deux maintenus à 37 °C jusqu'au moment de la récolte. Le tube de semence était ensuite conservé dans un bain à 30 °C, le temps de réaliser les tests subséquents.

3.3.4.2. Analyses standards réalisées à chaque récolte

Le volume de semence était noté et une évaluation visuelle de la motilité massale (grossissement 4X; échelle de 0 à 5, 0 = immobilité totale et 5 = mouvement rapide avec remous) et de la motilité totale (grossissement 40X; pourcentage de motilité) était effectuée au microscope standard. Ensuite, la concentration spermatique était déterminée. Pour ce faire, l'absorbance à 540 λ d'un mélange de 20 µl de semence et 8 ml de citrate de sodium était déterminée avec un spectrophotomètre calibré à l'aide d'un hémacytomètre (Spectronic 20D, Milton Roy Company, Ivyland, PA, États-Unis).

Dans les minutes suivant la récolte, la semence était diluée dans le PBS (tampon phosphate salin, 1,5 mM KH_2PO_4, 8,1 mM Na_2HPO_4, 137 mM NaCl et 2,7 mM KCl) pour obtenir une concentration de 40×10^6 spermatozoïdes/ml. Des lames étaient préparées pour estimer la proportion de spermatozoïdes vivants dans l'éjaculat (coloration à l'éosine-négrosine décrite par Bamba, 1988) et pour évaluer le pourcentage de spermatozoïdes ayant subi leur réaction acrosomiale (coloration à la lectine de *Pisum sativum* marquée à l'isothiocyanate de fluorescéine - PSA-FITC, décrite par Tardif *et al.*, 1999). La semence fraîche restante était ensuite placée dans des microtubes et gardée à la température de la pièce pendant 20 min. Les microtubes étaient par la suite placés dans une glacière maintenue à 18°C (Koolatron P-75 Kool Kaddy, Koolatron, Brantford, ON, Canada) pour être transportés vers le laboratoire de l'Université Laval. À l'arrivée, approximativement cinq heures après la récolte, la semence était diluée et incubée à 37 °C pendant 30 min. Les motilités totale et progressive étaient déterminées à l'aide d'un système automatisé de mesures assistées par ordinateur ou CASA (Ceros Analyzer, Hamilton Thorn Research, Beverly, MA, États-Unis). Cet appareil fournissait également des données sur la cinétique du mouvement des spermatozoïdes. Ainsi, des valeurs cinétiques ont été déterminées pour chaque spermatozoïde, telles que :

- la vitesse curvilinéaire, qui représente la vitesse du spermatozoïde sur le parcours intégral observé (VCL pour *curvilinear velocity*) et qui reflète la distance totale que couvre la tête du spermatozoïde au cours de la période d'observation;
- la vitesse de progression linéaire, qui représente la vitesse moyenne du spermatozoïde sur le parcours entre le point de départ et le point d'arrivée (VSL pour *straight-line*

velocity) et qui est donc déterminée par la mesure de la distance entre le point d'arrivée et le point de départ, en ligne droite;

- la vitesse le long de la trajectoire moyenne (VAP pour *average path velocity*), qui correspond à la distance parcourue sur le trajet moyen pendant la durée d'observation;
- l'amplitude de battement latéral de la tête (ALH, pour *amplitude of lateral head displacement*), qui correspond à l'amplitude de déplacement latéral de la tête;
- la fréquence de croisement de la trajectoire moyenne (BCF pour *beat cross frequency*), qui est la fréquence à laquelle la tête du spermatozoïde traverse la trajectoire moyenne;
- la rectitude de la trajectoire (STR pour *straightness*), qui exprime la proximité du parcours rectiligne au parcours lissé (VSL/VAP x 100);
- la linéarité de la trajectoire (LIN pour *linearity*), qui exprime la proximité du parcours rectiligne au parcours intégral (VSL/VCL x 100).

3.3.4.3. Analyses avancées réalisées une fois par mois

Immédiatement après la récolte, une coloration à la chlortétracycline (CTC, basée sur la méthode décrite par Pérez *et al.*, 1996, telle que rapportée par Morrier *et al.*, 2002) a permis d'évaluer l'état de capacitation des spermatozoïdes.

Après le transport de la semence dans les laboratoires de l'Université, trois autres tests étaient effectués à l'aide d'un cytomètre en flux (Easycyte Plus, IMV Technologies, L'Aigle, France) : intégrité membranaire (viabilité; Iodure de propidium, Live/dead sperm viability kit L7011, Invitrogen Canada Inc., Burlington, ON, Canada), intégrité de l'acrosome (réaction acrosomiale et capacitation; Lectine d'*Arachis Hypogea* liée au FITC, PNA-FITC L7381, Sigma-Aldrich, Saint-Louis, MO, États-Unis) et stabilité de la structure de la chromatine spermatique (Indice de fragmentation de l'ADN, DFI; Acridine Orange A1301, Invitrogen Canada Inc., Burlington, ON, Canada).

3.3.5. Évaluation de la libido

Le protocole d'évaluation de la libido utilisé était principalement inspiré de la méthode décrite par Stellflug *et al*. (2008b). Tous les tests ont été effectués avec des brebis Dorset (DP).

3.3.5.1. Évaluation initiale

Puisque le niveau de libido était un des critères de répartition des béliers au départ du projet, une première évaluation a eu lieu en octobre, tout juste avant le début des traitements photopériodiques. Ce premier test avait pour but de former trois groupes de béliers avec des niveaux de libido identiques. Les chaleurs de 10 brebis DP ont été synchronisées à l'aide d'un traitement progestatif intravaginal de 12 jours (CIDR, Pfizer Animal Health, Montréal, QC, Canada). Au moment du retrait du CIDR, 500 U.I. d'eCG (Folligon, Intervet Canada Ldt., Whitby, ON, Canada) ont été injectées à chaque brebis. De l'œstradiol (1,5 mg/brebis; Estrus, Rafter 8 Products, Calgary, AB, Canada) a aussi été injecté 24 et 48 heures après le retrait des CIDR pour prolonger la période d'œstrus des brebis. Environ 48 heures après le retrait des CIDR, chaque bélier a été placé avec trois brebis en chaleur. Les animaux ont été laissés ensemble pour une durée d'observation de 20 minutes. Chaque bélier a été évalué quatre fois, soit deux fois par jour (environ 4 heures entre deux tests d'une même journée) sur deux jours consécutifs. Les éléments notés pour chaque bélier ont été le nombre de saillies, de montes et de tentatives de monte. Ces résultats ont permis de classer les béliers selon leur niveau d'activité sexuelle et de les répartir de façon uniforme à l'intérieur des trois traitements photopériodiques.

3.3.5.2. Évaluation en contre-saison sexuelle

Une évaluation de la libido a également été effectuée à la mise en accouplement des béliers en saillies synchronisées au mois de mai (contre-saison sexuelle). Cette fois-ci, l'évaluation a été faite lorsque les béliers ont été placés avec les brebis pour les accouplements. Les observations comportementales ont eu lieu sur une période de deux heures tout de suite après l'introduction des béliers avec les brebis. Le protocole de synchronisation des brebis est décrit dans la section « Accouplements en contre-saison sexuelle ».

3.3.5.3. Évaluation en saison sexuelle

Des tests de libido ont également été effectués tout juste avant la mise en accouplement des béliers en saillies naturelles au mois d'août (saison sexuelle). Pour ce faire, des brebis ont été traitées avec des CIDR pendant 14 j et 500 U.I./brebis d'eCG ont été injectées au retrait. Environ 30 heures après le retrait du CIDR, chaque bélier a été placé avec deux ou trois brebis en chaleur. Les animaux ont été laissés ensemble pour une durée d'observation de 20 minutes. Chaque bélier a subi quatre tests, soit deux tests par jour sur deux jours consécutifs. De l'œstradiol (1,5 mg/brebis) a aussi été injecté aux brebis à la fin de la première journée des tests. Les éléments notés pour chaque bélier ont été le nombre de saillies, de montes et de tentatives de monte.

3.3.6. Performances de reproduction

Pour évaluer l'effet des traitements photopériodiques sur leurs performances de reproduction, les béliers ont été placés en accouplements à deux reprises en contre-saison sexuelle et à une occasion en saison sexuelle.

Lors des périodes d'accouplement, les béliers étaient toujours munis de harnais-marqueurs de façon à identifier et noter le moment de la venue en chaleur des femelles. Au moment de la mise aux béliers, les brebis DP utilisées pour ces tests de fertilité étaient taries depuis au moins 25 jours et avaient agnelé depuis au moins 80 jours. Les femelles étaient toujours séparées de façon à former des groupes d'accouplement uniformes pour l'âge, le poids, l'état de chair ainsi que la prolificité moyenne antérieure. Les poids et états de chair des brebis étaient suivis afin de s'assurer que toutes les femelles étaient en bonne condition (état de chair visé de 3,0 à 3,5) pour la mise en accouplement, la gestation, l'agnelage et la lactation. Les brebis ont été exposées à la lumière naturelle durant toute la durée du projet. Des diagnostics de gestation ont été effectués par échographie (Ultrascan50, Alliance Médicale Inc., Montréal, QC, Canada) autour de 85 jours après la mise au bélier. À l'agnelage, le sexe et le poids de chaque agneau étaient notés.

3.3.6.1. Accouplements en contre-saison sexuelle

Comme les béliers Photo et Photo/LN ont subi le même traitement photopériodique (trois cycles alternant 1 mois de JL et 1 mois de JC) de novembre à mai (Période 1), deux béliers Photo et deux béliers Photo/LN ont été sélectionnés pour les accouplements pour représenter les béliers traités en photopériode. L'appellation *Photo** est utilisée pour désigner ces béliers. Les deux groupes de béliers (LN et Photo*) ont été formés afin d'obtenir deux groupes semblables pour la provenance, l'âge, le poids et l'état de chair des mâles. La CS des béliers choisis en Photo et Photo/LN devait être représentative du traitement (comparable à la moyenne). Les autres béliers qui n'ont pas été choisis pour les accouplements expérimentaux ont tout de même été mis en saillie avec d'autres brebis DP pour une période identique.

Fertilité sur chaleurs synchronisées (SYN). Du 13 au 16 mai, huit béliers (4 Photo* et 4 LN) ont été mis en accouplement avec 48 brebis en chaleurs. Les béliers LN et Photo* ont donc été exposés, respectivement, à 23 et 25 brebis en chaleurs. Pour obtenir ce nombre de brebis, 85 brebis DP ont été synchronisées à l'aide d'un traitement progestatif (CIDR 12 j + 650 U.I. eCG au retrait). Environ 48 heures après le retrait des CIDR, des béliers munis de tablier empêchant la saillie ont été introduits dans de petits groupes de brebis. Les femelles en chaleurs étaient retirées une à une et placées à l'écart des béliers. Les brebis en œstrus ont été réparties en deux groupes comparables en termes d'âge, de poids, d'état de chair, de parité, d'intervalle post-partum et de prolificité antérieure ($P > 0,2$). À la mise en accouplement, les brebis adultes ($4,8 \pm 2,0$ ans) étaient en bonne condition (poids : $84,3 \pm 13,0$ kg et état de chair : $3,7 \pm 0,5$). Leur prolificité antérieure moyenne était de $1,5 \pm 0,3$ agneau/agnelage. Elles ont ensuite été séparées en huit groupes homogènes (poids, EC, âge, prolificité antérieure et nombre d'agnelages) d'accouplement de six à sept brebis. Un seul bélier a ensuite été placé avec chacun des groupes de brebis. La période de saillies a duré trois jours, après quoi les béliers ont été retirés et mis au repos en lumière naturelle pour huit jours avant leur utilisation pour le test de fertilité sur chaleurs naturelles.

Fertilité sur chaleurs naturelles (NAT). Du 25 mai au 5 juillet (42 j), les mêmes huit béliers utilisés pour le test de fertilité sur chaleurs synchronisées ont été placés avec 119 brebis DP

n'ayant subi aucun traitement d'induction des chaleurs (1 bélier : 14-15 brebis). Les brebis ont été réparties en deux groupes homogènes entre les groupes de béliers LN et Photo* (âge : 4,7 ± 1,7 ans; poids : 82,1 ± 12,5 kg; EC : 3,6 ± 0,6; prolificité antérieure (agneau/agnelage) : 1,6 ± 0,4 ; P > 0,6), ainsi qu'entre les huit groupes de béliers.

Deux prélèvements sanguins espacés de 10 jours ont été effectués sur les brebis dans les semaines précédant la mise en accouplement afin d'évaluer leur statut physiologique (cyclique ou non cyclique) par le dosage de la progestérone sanguine. Cette procédure a permis de placer un nombre égal de brebis cycliques (n = 32) et non cycliques (n = 88) avec chaque bélier. Aussi, l'intervalle entre la mise au bélier et la saillie fécondante a été calculé.

3.3.6.2. Accouplements en saison sexuelle

Du 31 août au 11 octobre (42 j), 12 béliers (4 Photo; 4 Photo/LN; 4 LN) ont été placés avec 129 brebis DP n'ayant subi aucun traitement d'induction des chaleurs, afin d'évaluer si le protocole de photopériode réalisé à l'hiver et au printemps pouvait influencer la capacité de reproduction des béliers à l'automne suivant. Les traitements ont été assignés à trois groupes comparables de brebis (âge : 4,6 ± 2,5 ans; poids : 83,3 ± 15,7 kg; EC : 3,3 ± 0,7; prolificité antérieure (agneau/agnelage) : 1,5 ± 0,4; P > 0,5 entre les groupes). Chaque bélier a été placé avec 10 à 12 brebis, également réparties entre les béliers.

Ici encore, des mesures de progestérone ont permis d'attribuer un nombre égal de brebis cycliques (n = 84) et non cycliques (n = 26) à chaque bélier. Dix-neuf (19) des 129 brebis n'ont pas été prélevées puisqu'elles avaient été synchronisées avec des CIDR pour les tests de libido. Huit jours après le retrait des CIDR, les 12 brebis venues en chaleur à la suite de la synchronisation avaient reçu une injection de prostaglandine (PGF2α, 15 mg/brebis; Lutalyse, Pfizer Animal Health, Montréal, QC, Canada) pour détruire le corps jaune en place et permettre leur venue en chaleur. Ces 19 brebis ont été réparties équitablement entre les béliers.

3.3.7. Dosages hormonaux

Les échantillons sanguins pour le dosage de la progestérone (évaluation de la cyclicité des brebis mises en accouplement) ont été prélevés dans la veine jugulaire à l'aide de tubes héparinés de 10 ml (Vacutainer, Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, États-Unis). Après le prélèvement, les tubes étaient placés sur la glace et centrifugés dans l'heure suivante (2 500 rpm durant 20 min à 4°C). Le plasma était recueilli et congelé à -20°C dans des microtubes en polypropylène jusqu'au moment des dosages. La progestérone plasmatique a été dosée à l'aide d'une trousse commerciale (Ovucheck Plasma, Biovet Inc., Ste-Hyacinthe, QC, Canada). Une brebis était considérée cyclique lorsqu'une concentration > 1 ng/ml de progestérone était observée au moins une fois chez cette brebis (Thimonier, 2000).

Afin de suivre l'évolution des concentrations de la testostérone, des prélèvements sanguins ont été réalisés sur chacun des béliers les 2^{e} et 4^{e} semaines de chaque cycle d'un mois de photopériode (excepté durant les deux périodes d'accouplement). Un total de 19 séries de prélèvements a ainsi été réalisé. La journée des prises de sang, trois prélèvements étaient pratiqués, soit à 11:00, 13:00 et 15:00 à l'aide de tubes héparinés de 10 ml. Après le prélèvement, les tubes étaient placés sur la glace et centrifugés dans l'heure suivante (2 500 rpm durant 20 min à 4°C). Pour chacun des trois prélèvements journaliers de chaque animal, une quantité de 0,5 ml de plasma était prélevée et mise dans un même microtube en polypropylène, au fur et à mesure que les prélèvements étaient effectués. Ce microtube était alors congelé à - 20°C jusqu'au moment des dosages. Le dosage a été effectué sur ce mélange des trois prélèvements journaliers afin de minimiser l'impact de la variation journalière de la testostérone sanguine (Sanford *et al.*, 1974; Lincoln *et al.*, 1977). Les dosages ont été faits à l'aide d'une trousse commerciale (Testosterone ELISA kit, Neogen, Lexington, KY, États-Unis).

3.3.8. Analyses statistiques

Treize (13) béliers ont été suivis entre novembre 2009 et mai 2010 (Période 1). Des 15 béliers entrés à la station, un est mort pendant la période d'acclimatation et un autre a été retiré de l'étude en raison de sa mauvaise réponse à l'EE. Par contre, à la sortie des

accouplements en juillet, un bélier est mort de la listériose. Douze (12) béliers ont donc été récoltés dans la période de juillet à août 2010 (Période 2). Ces 12 béliers ont été mis en accouplement en saison sexuelle avec 129 brebis, mais les résultats d'un bélier n'ont pas été considérés lors des analyses des performances de reproduction puisqu'il a été malade pendant les saillies (n = 117 brebis pour les 11 béliers). Pour ce qui est de l'évaluation de la semence, quelques éjaculats de mauvaise qualité en raison de la technique de récolte, sans relation avec le traitement, ont été retirés des analyses.

Le poids vif, l'âge, la CS, les paramètres de qualité de semence (volume de l'éjaculat, concentration spermatique, motilité totale et viabilité) ainsi que la libido lors de la répartition des béliers dans les traitements ont été comparés à l'aide de la procédure MIXED de SAS (SAS Institute Inc., 2001) en utilisant le traitement photopériodique (LN, Photo, Photo/LN) comme facteur fixe. Pour ce qui est de l'état de chair des béliers et de la motilité massale de l'éjaculat (données catégoriques), la procédure LOGISTIC a été utilisée, avec le traitement comme facteur fixe dans le modèle.

L'évolution du poids vif, de la CS, des concentrations sanguines de testostérone et des différents paramètres de qualité de la semence des béliers dans le temps a été étudiée avec la procédure MIXED pour les deux périodes distinctes (Période 1 : novembre 2009 à mai 2010 et période 2 : juillet à août 2010). Les facteurs fixes inclus dans le modèle ont été la semaine de récolte (sem), le traitement (trt) et l'interaction sem × trt. Dans cette analyse, la semaine de récolte a été considérée en mesures répétées. La structure de covariance a été choisie en se basant sur le critère d'Akaike (AIC; le plus petit étant le meilleur). Comme les groupes de béliers Photo et Photo/LN ont reçu la même photopériode lors de la période 1, l'énoncé CONTRAST a été utilisé pour déterminer si le traitement LN différait des traitements Photo et Photo/LN (Photo*) au cours de cette période. Pour la période 2 (juillet à août 2010), les moyennes des trois traitements ont été comparées en utilisant le test de comparaison multiple de Tukey-Kramer (LSMEANS/PDIFF). Lorsque l'interaction sem × trt était significative, la comparaison des traitements de photopériode a été effectuée pour chaque semaine de récolte dans un modèle incluant uniquement le traitement comme facteur fixe.

L'effet des différents traitements photopériodiques sur les mesures prises au début des accouplements (poids, CS, libido, testostérone, qualité de la semence (tous sauf motilité massale) ainsi que sur l'intervalle entre la mise aux béliers et la saillie fécondante a été étudié avec la procédure MIXED de SAS en utilisant le traitement comme facteur fixe. Lors des accouplements en contre-saison, deux traitements ont été comparés (LN vs Photo*). Lors des accouplements en saison, la comparaison entre les trois traitements (LN, Photo et Photo/LN) a été effectuée à l'aide des énoncés CONTRAST et LSMEANS (PDIFF), comme décrit précédemment.

Le moment de la saillie fécondante a été déterminé en soustrayant 145 jours à la date d'agnelage et en utilisant les informations sur les détections des chaleurs (harnais-marqueur). La répartition des saillies fécondantes dans une période donnée (dans les 17 premiers jours de la mise aux béliers et entre les jours 18 et 30 de la mise aux béliers), la fertilité et la prolificité lors des deux périodes d'accouplement ont été analysées avec la procédure GLIMMIX. La répartition des saillies fécondantes et la fertilité ont été traitées comme des données binomiales (0 et 1) en utilisant une fonction de lien logit (link = logit) et la prolificité comme une donnée multinomiale (1, 2, 3 et 4) en utilisant une fonction des logits cumulés (link = cumlogit). Dans les deux cas, le modèle incluait seulement le traitement comme facteur fixe. Lors des accouplements en contre-saison, deux traitements ont été comparés (LN et Photo*). Lors des accouplements en saison, la comparaison entre les trois traitements a été effectuée à l'aide des énoncés CONTRAST et LSMEANS (PDIFF).

La procédure CORR a permis de déterminer le coefficient de corrélation de Pearson entre différentes variables (CS, fertilité, prolificité…).

3.4. RESULTATS

3.4.1. Répartition initiale des béliers

Au début de l'étude (novembre), les trois groupes de béliers attitrés aux trois traitements photopériodiques étaient comparables en matière d'âge, de poids, d'état de chair, de CS, de libido et de qualité de semence (volume, concentration spermatique, motilité massale, motilité totale et viabilité) (Tableau 3.1 ; $P > 0,1$). La qualité de la semence a été déterminée en faisant la moyenne des paramètres de deux récoltes, effectuées à six jours d'intervalle avant le début des traitements de photopériode (Tableau 3.1).

Tableau 3.1. Répartition initiale des béliers à l'intérieur des traitements de photopériode

	Traitement[v]				
	LN	**Photo**	**Photo/LN**	**ÉTM[w]**	**Valeur de *P***
Nombre	5	4	4	-	-
Âge (mois)	16,1	15,5	16,3	1,6	0,9298
Poids (kg)	110,8	110,5	113,5	6,9	0,9420
État de chair	3,7	3,6	3,6	0,1	0,7975
Circonférence scrotale (cm)	36,7	35,6	36,2	1,0	0,7171
Libido[x]	3,3	3,5	3,1	0,5	0,8639
Testostérone[y] (ng/ml)	6,6	7,7	9,1	2,3	0,7508
Qualité de la semence fraîche[z]					
Volume (ml)	1,2	1,0	1,1	0,2	0,8385
Concentration (spz×10^9/ml)	1,119	1,311	1,071	0,002	0,8040
Motilité massale	3,9	4,8	4,3	1,2	0,2760
Motilité totale (%)	95,0	90,6	91,9	2,1	0,3028
Spermatozoïdes morts (%)	16,8	17,7	16,4	2,6	0,9348

[v] **LN :** lumière naturelle durant toute l'expérience (groupe *témoin*); **Photo :** photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière) durant toute l'expérience; **Photo/LN :** même traitement que Photo de novembre à mai (période 1) et retour en lumière naturelle de mai à octobre (période 2).

[w] ÉTM : Écart-type de la moyenne

[x] Nombre moyen de saillies lors de quatre périodes d'observation de 20 min.

[y] Les concentrations de testostérone sanguine avant le début des traitements sont présentées ici, mais n'ont pas été pris en compte lors de la répartition.

[z] Les paramètres de qualité correspondent à la moyenne de deux récoltes effectuées avant le début des traitements de photopériode.

3.4.2. Poids et état de chair des béliers

Le poids (Figure 3.3) et l'état de chair ont été notés lors de chaque récolte au cours de la phase expérimentale. Les béliers ont maintenu leur croissance jusqu'à la première saillie en mai 2010 et ont atteint le poids adulte ciblé de 135-140 kg. Une perte de poids a été observée lors des accouplements de mai et septembre, en raison de l'activité intense des mâles au cours de ces périodes.

3.4.3. Circonférence scrotale des béliers

Les béliers LN ont vu leur CS diminuer à partir de décembre, pour atteindre leur plus bas niveau en mai et augmenter par la suite jusqu'en octobre (Figure 3.4).

Lors de la période 1 (nov. à mai), l'évolution de la CS a été différente pour les béliers LN et Photo* (interaction sem × trt; P = 0,0031). Au cours des deux premiers mois d'expérimentation (novembre à janvier), les béliers des trois traitements ont montré une baisse de CS. Cette diminution a même été plus rapide chez les béliers en photopériode, comparativement aux béliers LN. La CS des béliers sous contrôle lumineux (Photo et Photo/LN) s'est alors stabilisée, puis a augmenté jusqu'en mai. Pour sa part, la CS des béliers LN a continué de chuter pour atteindre son plus bas niveau en mai. À ce moment (dernière semaine avant les accouplements), la CS des béliers Photo* était supérieure à celle des béliers LN (35,6 vs 32,4 cm; P = 0,0253). Cette différence aurait pu être plus marquée sans la présence du bélier #4 du traitement LN, dont la CS était particulièrement élevée. Par contre, puisqu'il s'agissait d'une donnée valable, ce bélier n'a pas été retiré des analyses. Sans les valeurs de ce bélier discordant, la CS aurait été encore plus significativement différente entre les groupes traités et témoins (35,6 vs 31,3 cm; Photo* vs LN; P = 0,0015). En analysant la variation de CS entre le début des traitements et les accouplements en contre-saison sur chaleurs synchronisées (SYN) et naturels (NAT), la diminution de la CS a été plus importante pour les béliers LN que pour les béliers Photo* (SYN : -4,2 vs -1,6 cm; P = 0,0327 et NAT : -4,3 vs -0,3 cm; P = 0,0024).

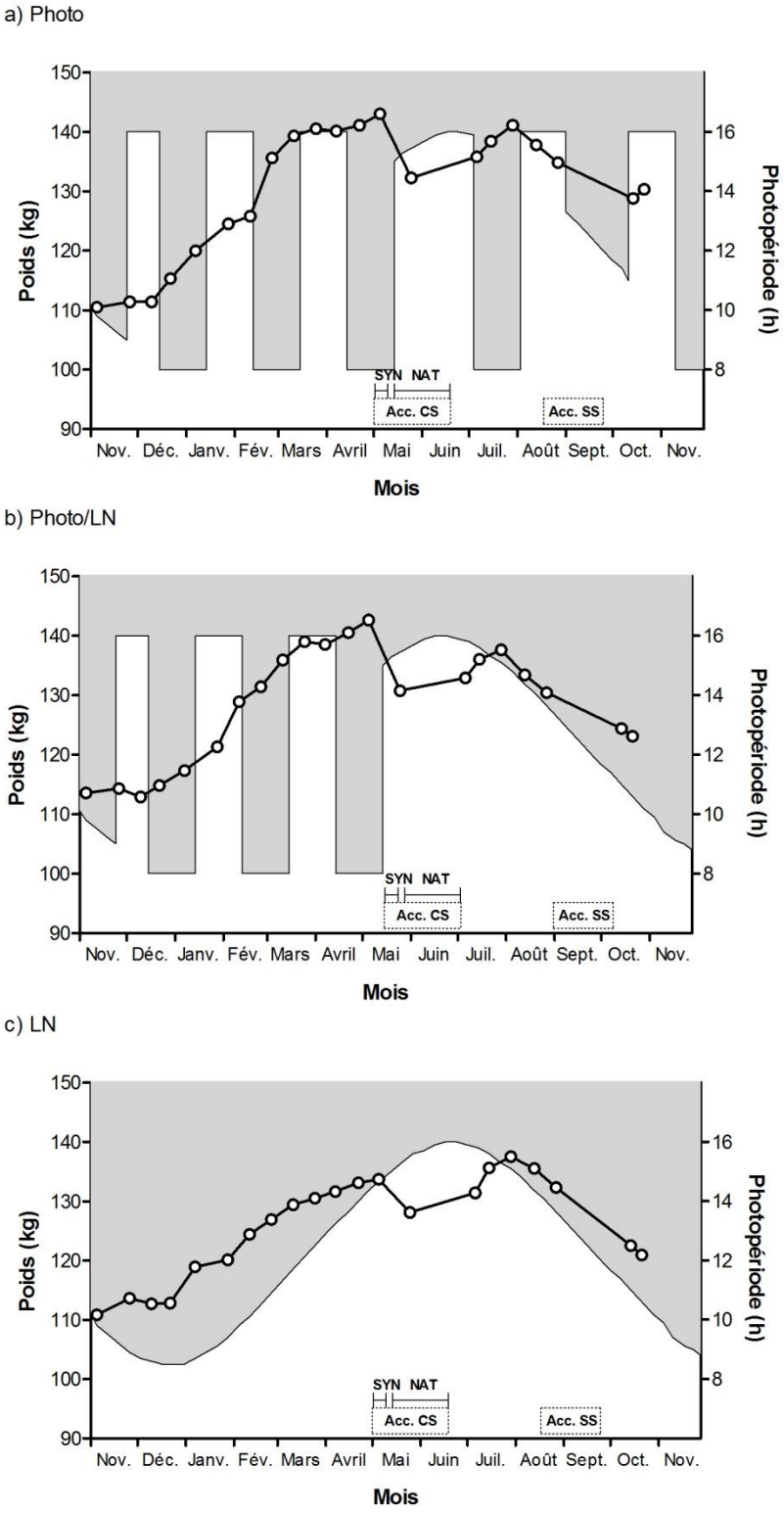

Figure 3.3. Évolution du poids vif (—○—) des béliers selon le traitement photopériodique (—) appliqué

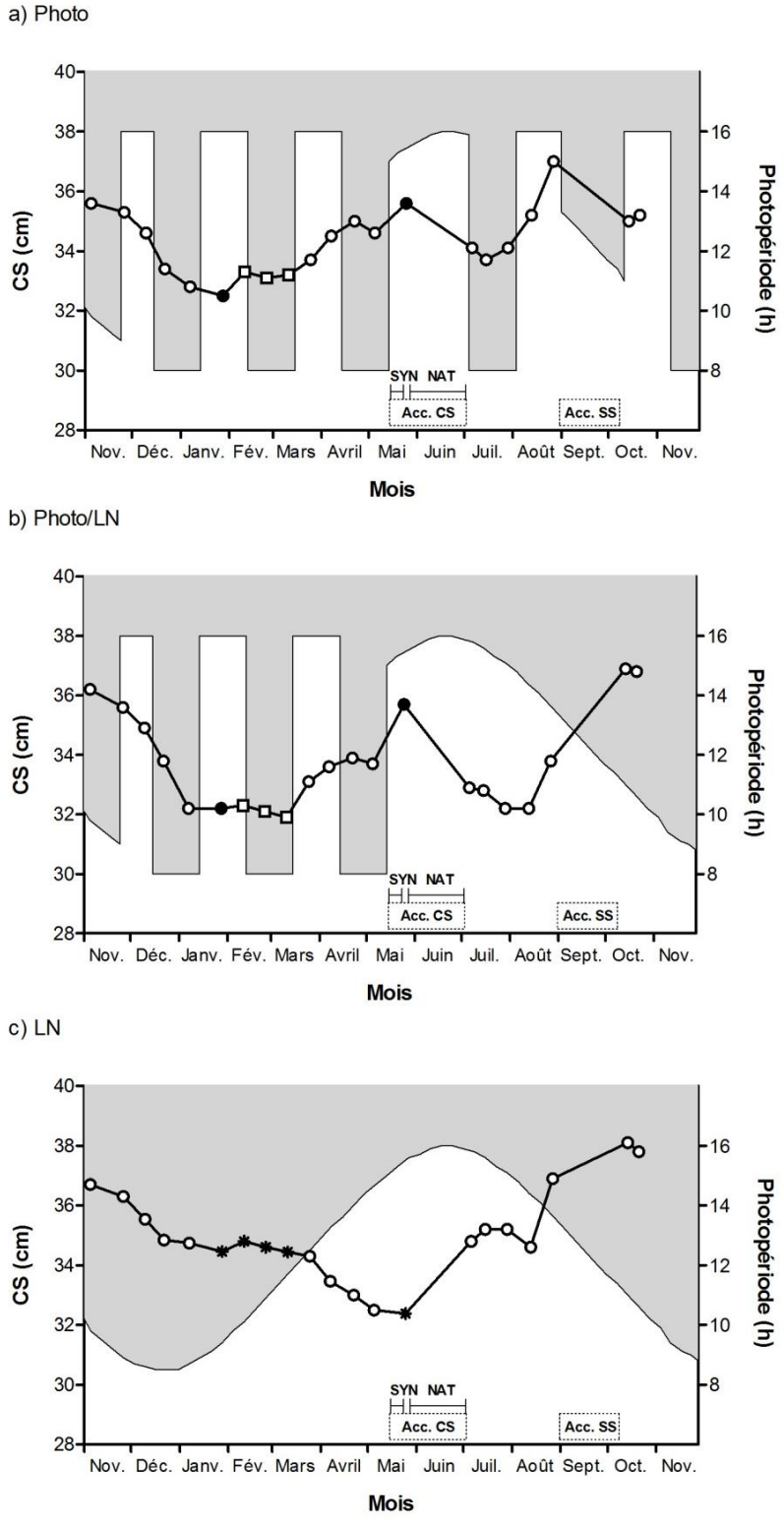

Figure 3.4. Évolution de la circonférence scrotale (—○—) des béliers selon le traitement photopériodique (—) appliqué. Effet traitement : ✱ vs • P < 0,05 et ✱ vs □ P < 0,10

Lors de la période 2 (juillet à août), l'évolution de la taille des testicules tendait à différer d'un traitement à l'autre (interaction sem × trt; P = 0,1081). Numériquement, la CS mesurée chez les béliers du traitement Photo/LN dans les semaines précédant la mise en accouplement de septembre était inférieure à celle des béliers Photo et/ou LN (P < 0,2). Toutefois, aucune différence significative n'était détectable entre les traitements. Au moment de la mise en accouplement en saison sexuelle, la CS des béliers Photo/LN était inférieure de 3 cm à celle des béliers Photo et LN (33,8 vs 37,0 et 36,9 cm; P = 0,1158). À la fin des accouplements, à la mi-octobre, la CS des béliers Photo/LN était comparable à celle des béliers LN, mais c'est celle des béliers Photo qui tendait à être légèrement inférieure (38,0 et 38,1 vs 35,0 cm; P = 0,0977).

3.4.4. Qualité de la semence

Les paramètres de qualité de la semence ont été très variables d'une récolte à l'autre. Dans le groupe témoin, seuls le volume et le pourcentage de spermatozoïdes morts ont été affectés par la saison (Figure 3.5 et Figure 3.6).

Le Tableau 3.2 présente les paramètres de la qualité de la semence obtenus au cours de la période 1. Pour la plupart des variables mesurées, le traitement de photopériode n'a pas affecté la qualité de la semence de façon évidente et beaucoup de variations ont été notées entre les récoltes. Seules quelques différences ponctuelles entre les béliers Photo* et LN ont été relevées (interaction sem × trt significative pour le volume et le pourcentage de spermatozoïdes ayant subi la réaction acrosomiale (Figure 3.7)). Aucune différence de qualité n'a été détectée à la mise en accouplement en mai. Les figures montrant l'évolution des autres paramètres de qualité de la semence, ceux pour lesquels aucune différence significative n'a été observée, sont présentées à l'Annexe A.

Le tableau 3.3 présente les paramètres de la qualité de la semence obtenus au cours de la période 2. Pour les variables dont l'interaction sem × trt était significative dans ce tableau (motilité, spermatozoïdes morts, motilité progressive au CASA et DFI), l'analyse par

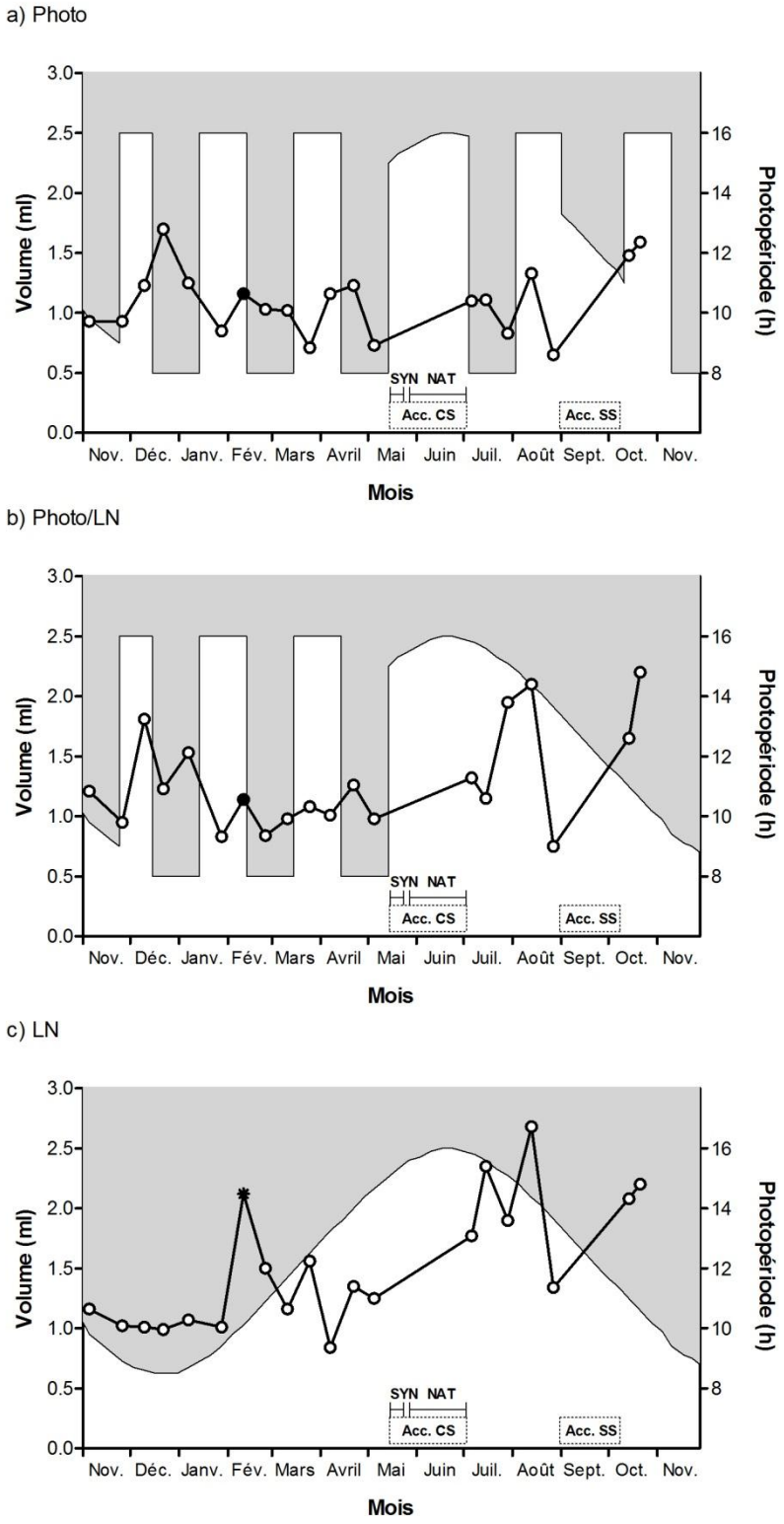

Figure 3.5. Évolution du volume des éjaculats (—○—) des béliers selon le traitement photopériodique (—) appliqué. Effet traitement : ✱ vs • P < 0,05

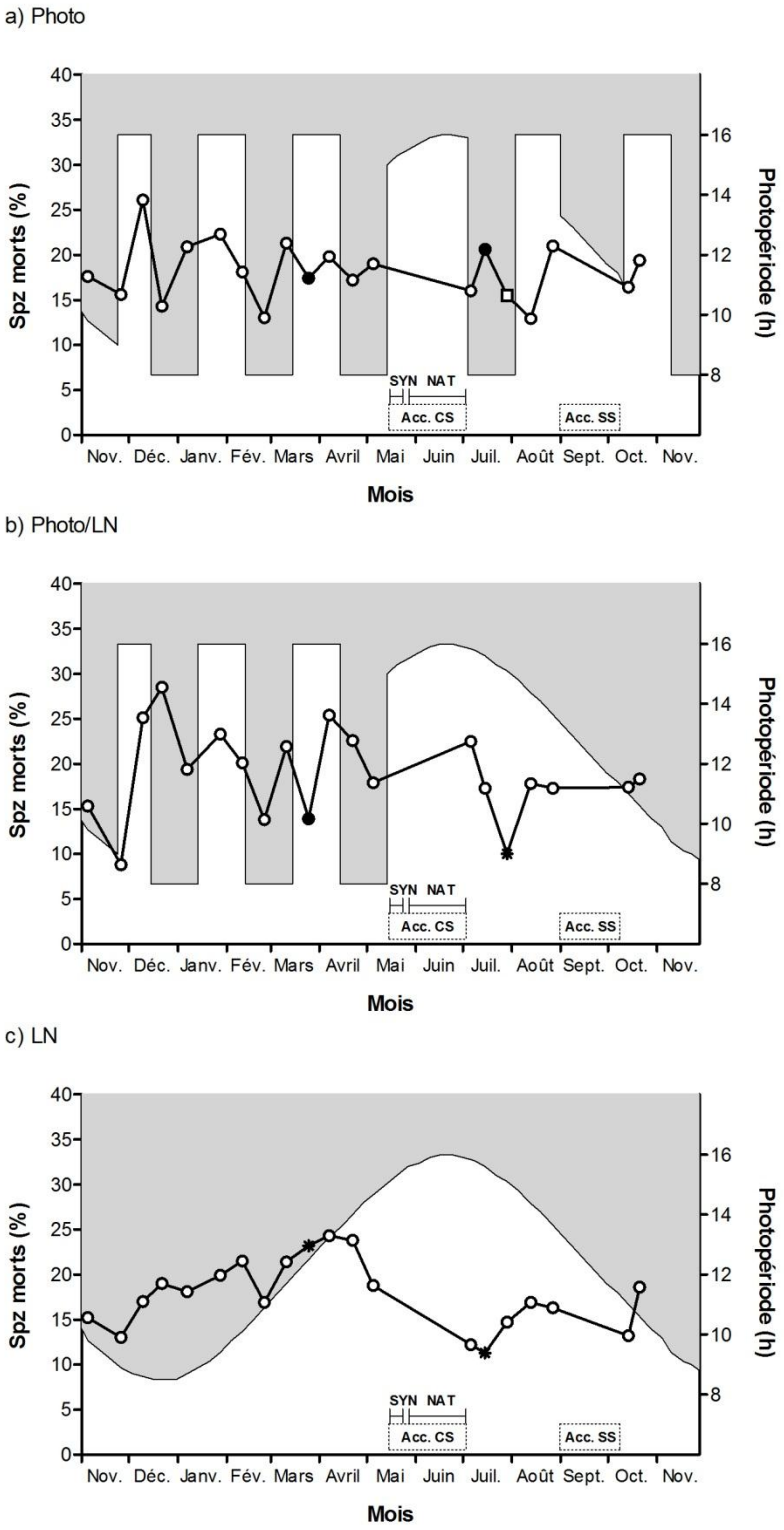

Figure 3.6. Évolution de la proportion de spermatozoïdes morts (—○—) des béliers selon le traitement photopériodique (—) appliqué. Effet traitement : ✱ vs • P < 0,05 et ✱ vs □ P < 0,10

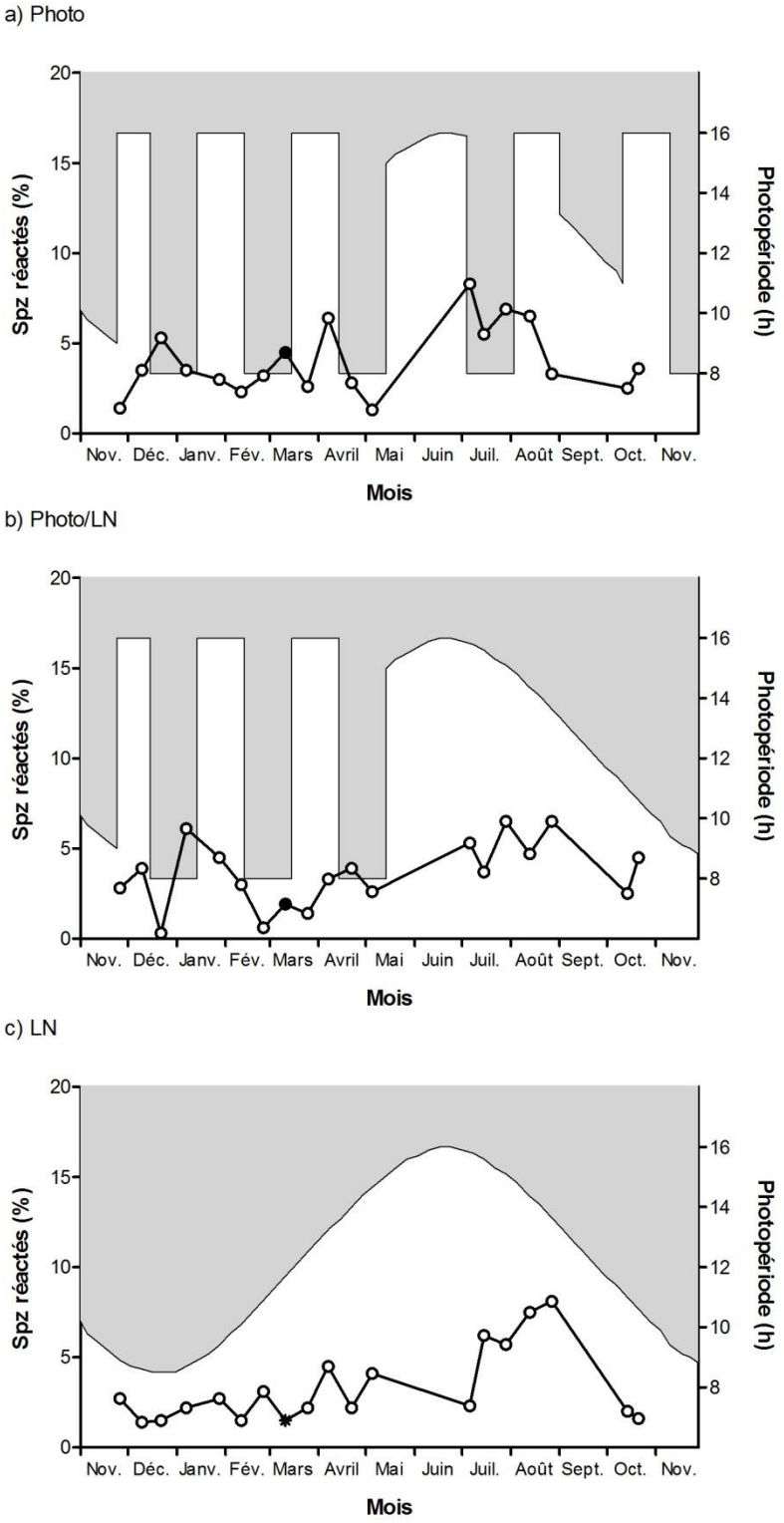

Figure 3.7. Évolution du pourcentage de spermatozoïdes des béliers ayant effectué la réaction acrosomiale (—○—) selon le traitement photopériodique (—) appliqué. Effet traitement : ❋ vs • P < 0,05

Tableau 3.2. Paramètres de la qualité de la semence des béliers (moyennes ajustées) en fonction des traitements photopériodiques pour la période 1 (novembre à mai; n = 13 béliers et 13 récoltes)

	Traitement[t]				Valeur de P[u]		
Paramètre	**LN**	**Photo**	**Photo/LN**	**ÉTM[v]**	**Sem**	**Trt**	**Trt×Sem**
Semence fraîche							
Volume (ml)	1,2	1,1	1,2	0,2	0,0179	0,8838	0,0028
Concentration (spz[w]×10^9/ml)	1,967	1,594	2,077	0,002	0,0186	0,2821	0,4528
Motilité massale	4,9	4,7	4,8	0,6		0,2378	
Motilité totale (%)	93,3	91,0	91,2	1,9	0,0777	0,5869	0,6872
Spz morts (%)	19,7	18,9	20,1	1,3	<0,0001	0,8095	0,0816
Spz RA[x] (%)	2,5	3,3	2,9	0,5	0,4330	0,5678	<0,0001
Spz capacités (%)	3,0	3,6	3,9	0,7	0,2066	0,6593	0,8853
≅ 5 h post-récolte							
Motilité totale, CASA (%)	81,8	74,5	78,2	3,0	0,0124	0,1725	0,0568
Motilité progressive, CASA (%)	49,3	45,6	39,6	4,6	0,5782	0,2878	0,5906
Paramètres de cinétique[y], CASA							
VCL (µm/s)	192,7	167,6	169,6	19,9	0,1816	0,5091	0,3278
VSL (µm/s)	97,9	95,3	85,3	12,7	0,4108	0,5915	0,7335
VAP (µm/s)	117,9	106,9	103,2	13,0	0,3904	0,6339	0,4882
ALH (µm)	7,1	6,6	7,1	0,3	0,0367	0,2078	0,7307
BCF (Hz)	29,7	33,1	28,5	1,5	0,4078	0,1074	0,9442
STR (%)	80,1	86,2	79,3	2,6	0,2781	0,1337	0,6399
LIN (%)	51,1	57,5	50,8	2,3	0,0749	0,0818	0,5717
Cytométrie en flux							
Spz morts (%)	48,1	45,8	43,8	3,7	0,0081	0,6861	0,7536
Spz vivants + non RA (%)	43,0	46,3	47,0	4,3	<0,0001	0,7570	0,6075
Spz RA + capacités (%)	20,0	20,2	19,0	2,4	<0,0001	0,9228	0,6552
DFI[z] (%)	9,7	12,6	11,8	1,6	0,1695	0,3585	0,4070

[t] **LN :** lumière naturelle (LN) durant toute l'expérience (groupe *témoin*); **Photo :** photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière); **Photo/LN :** comme le traitement Photo de novembre à mai et retour en lumière naturelle de mai à octobre.

[u] Sem : Semaine; Trt : Traitement.

[v] ÉTM : Écart-type de la moyenne.

[w] Spz : Spermatozoïdes.

[x] Spz RA : Spermatozoïdes ayant subi la réaction acrosomiale.

[y] VCL : vitesse curvilinéaire ; VSL: vitesse de progression linéaire; VAP: vitesse le long de la trajectoire moyenne; ALH: amplitude de battement latéral de la tête; BCF: fréquence de croisement de la trajectoire moyenne; STR: rectitude de la trajectoire; LIN : linéarité de la trajectoire.

[z] Indice de fragmentation de l'ADN.

Tableau 3.3. Paramètres de la qualité de la semence des béliers (moyennes ajustées) en fonction des traitements photopériodiques pour la période 2 (juillet à août; n = 12 béliers et 5 récoltes)

	Traitement[t]				Valeur de P[u]		
Paramètre	**LN**	**Photo**	**Photo/LN**	**ÉTM[v]**	**Sem**	**Trt**	**Trt×Sem**
Semence fraîche							
Volume (ml)	2,0	1,0	1,5	0,4	0,0202	0,1863	0,6033
Concentration (spz[w]×10^9/ml)	2,199	1,850	1,688	0,004	0,0019	0,6281	0,1114
Motilité massale	4,7	4,9	4,4	0,8		0,3092	
Motilité totale (%)	87,6	91,2	92,9	1,7	0,0012	0,1008	0,0097
Spz morts (%)	14,7	18,0	15,9	0,9	0,0032	0,0509	<0,0001
Spz RA[x] (%)	7,0	5,4	5,6	1,6	0,6251	0,6783	0,3759
Spz capacités (%)	6,5	4,8	4,1	2,8	0,1692	0,7247	0,9627
≅5 h post-récolte							
Motilité totale, CASA (%)	55,7	60,8	64,7	5,2	0,0036	0,4358	0,1162
Motilité progressive, CASA (%)	32,1	33,1	38,5	7,9	<0,0001	0,8158	0,0147
Paramètres de cinétique[y], CASA							
VCL (µm/s)	183,9	189,6	203,8	19,3	0,0373	0,7374	0,0782
VSL (µm/s)	93,6	95,5	97,6	14,1	0,1363	0,9780	0,6768
VAP (µm/s)	110,7	112,4	117,9	14,2	0,0073	0,9265	0,0936
ALH (µm)	7,3	7,3	8,4	0,1	0,1484	0,0007	0,4671
BCF (Hz)	33,1	34,3	30,7	2,2	0,1024	0,4654	0,9937
STR (%)	80,9	81,9	80,3	3,3	0,6277	0,9266	0,8319
LIN (%)	50,9	51,6	49,1	3,2	0,2979	0,8259	0,2101
Cytométrie en flux							
Spz morts (%)	52,9	48,7	55,7	10,9	0,9107	0,8618	0,3127
Spz vivants + non RA (%)	36,3	38,0	34,0	7,5	0,0153	0,9086	0,7338
Spz RA + capacités (%)	30,3	28,7	31,3	5,1	0,0101	0,9061	0,8278
DFI[z] (%)	20,2	12,9	13,4	4,6	0,6938	0,3548	0,0007

[t] **LN :** lumière naturelle (LN) durant toute l'expérience (groupe *témoin*); **Photo :** photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière); **Photo/LN :** comme le traitement Photo de novembre à mai et retour en lumière naturelle de mai à octobre.

[u] Sem : Semaine; Trt : Traitement.

[v] ÉTM : Écart-type de la moyenne.

[w] Spz : Spermatozoïdes.

[x] Spz RA : Spermatozoïdes ayant subi la réaction acrosomiale.

[y] VCL : vitesse curvilinéaire ; VSL: vitesse de progression linéaire; VAP: vitesse le long de la trajectoire moyenne; ALH: amplitude de battement latéral de la tête; BCF: fréquence de croisement de la trajectoire moyenne; STR: rectitude de la trajectoire; LIN : linéarité de la trajectoire.

[z] Indice de fragmentation de l'ADN.

semaine n'a pas permis d'établir de différence significative entre les traitements, sauf pour le pourcentage de spermatozoïdes morts en juillet (Figure 3.6).

Des corrélations ont été trouvées entre certains paramètres de la qualité de la semence : entre la viabilité et la motilité totale immédiatement après la récolte ($r = 0,20499$; $P = 0,0029$), entre le taux de spermatozoïdes morts après transport (coloration à l'éosine-négrosine) et celui mesuré en cytométrie en flux ($r = 0,24854$; $P = 0,0054$), entre le taux de de spermatozoïdes morts après transport (coloration) et la concentration spermatique ($r = 0,31076$; $P<0,0001$) ainsi qu'entre la motilité massale et la concentration spermatique ($r = 0,39389$; $P<0,0001$).

3.4.5. Concentration de la testostérone sanguine

Pour tous les traitements, les concentrations de testostérone sanguines étaient faibles de janvier à août et élevées en septembre, octobre et novembre (Figure 3.8). Pour la période 1, l'évolution de la testostérone a été différente pour les béliers LN et Photo* (interaction sem × trt; $P = 0,1117$). Chez les béliers LN, la concentration de testostérone était élevée avant le début des traitements, en novembre, et a été faible de décembre à juillet. Cette baisse de testostérone a également été observée chez les béliers soumis au traitement photopériodique (Photo*) et s'est même effectuée plus rapidement chez ces derniers. En effet, entre le début décembre et la mi-janvier, les béliers en photopériode avaient des concentrations de testostérone sanguine plus faibles que les béliers LN. Ainsi, la testostérone des béliers LN a été à son plus bas niveau au début du mois de février, comparativement à décembre pour les béliers Photo*. Les concentrations semblaient remonter vers avril-mai pour les béliers en photopériode. Cependant, cette hausse n'était pas significative. Donc, à la mise en accouplement de mai, la concentration en testostérone était similaire, soit de 3,1, 2,9 ng/ml pour les groupes LN et Photo* respectivement ($P = 0,7989$).

Pour la période 2, seul un effet semaine était détectable ($P < 0,0001$). Les concentrations en testostérone étaient donc comparables entre les trois traitements, notamment avant la mise

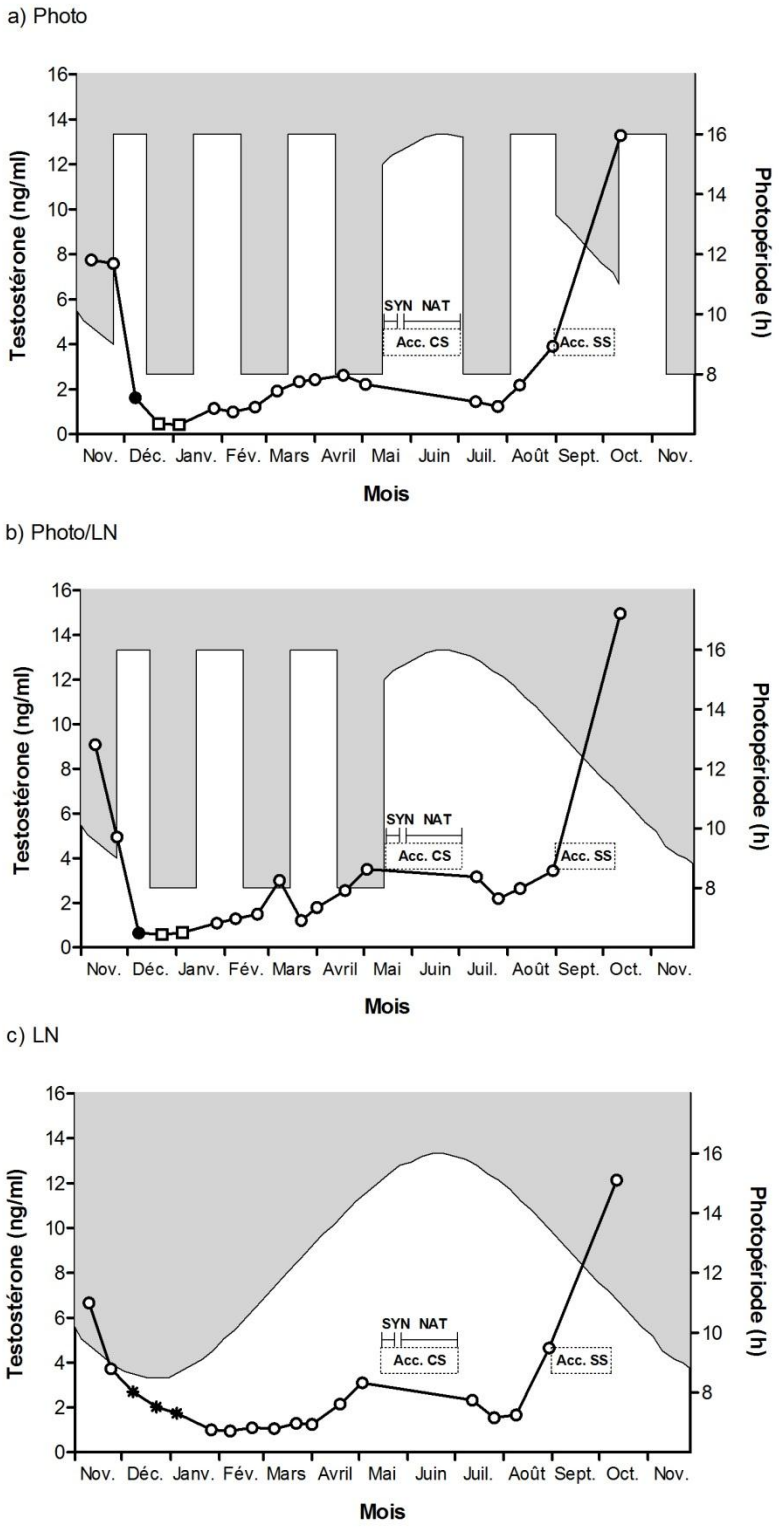

Figure 3.8. Évolution des concentrations de testostérone sanguine (—○—) des béliers selon le traitement photopériodique (—) appliqué. Effet traitement : ✱ vs • P < 0,05 et ✱ vs □ P < 0,10

en accouplements en saison sexuelle (4,7, 3,9 et 3,4 ng/ml pour LN, Photo et Photo/LN respectivement; P = 0,7201).

3.4.6. Capacité de reproduction

Les performances de reproduction en contre-saison et en saison n'ont pas été comparées statistiquement puisque les béliers utilisés aux deux accouplements n'étaient pas les mêmes.

3.4.6.1. Accouplements en contre-saison sexuelle

Sur chaleurs synchronisées. À la suite de la période d'accouplement de trois jours avec des brebis en chaleurs synchronisées, les béliers LN et Photo* ont obtenu des performances reproductives comparables (fertilité et prolificité; Tableau 3.4).

Tableau 3.4. Paramètres de capacité de reproduction des béliers et performances reproductives lors des accouplements sur chaleurs synchronisées en contre-saison sexuelle selon le traitement photopériodique appliqué

	Traitement[x]			
	LN	**Photo***	**ÉTM[y]**	**Valeur de *P***
Béliers				
Nombre	4	4		
Poids (kg)	134,4	135,0	1,8	0,8164
État de chair	3,8	3,7	0,1	0,2070
Circonférence scrotale (cm)	32,4	34,2	1,4	0,3994
Libido[z]	6,0	6,0	3,2	1,0000
Testostérone (ng/ml)	3,1	2,9	0,7	0,7989
Résultats des accouplements				
Nombre de brebis	23	25		
Fertilité à l'agnelage (%)	73,9	76,0	9,2	0,8683
Prolificité (agneaux nés/brebis agnelée)	1,95	1,95	0,72	0,7974
Poids des agneaux à la naissance (kg)	4,5	4,5	0,2	0,9841

[x] **LN :** lumière naturelle (LN) durant toute l'expérience (groupe *témoin*); **Photo* :** photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière).
[y] ÉTM : Écart-type de la moyenne.
[z] Nombre de saillies lors d'une période d'observation de 120 min.

Sur chaleurs naturelles. Malgré un écart de 2,6 cm entre les groupes LN et Photo*, la CS des béliers n'était pas significativement différente à la mise en accouplement sur chaleurs naturelles en contre-saison (P = 0,1644; Tableau 3.5).

Tableau 3.5. Paramètres de capacité de reproduction des béliers et performances reproductives lors des accouplements sur chaleurs naturelles en contre-saison sexuelle selon le traitement photopériodique appliqué

	Traitement[x]			
	LN	**Photo***	**ÉTM[y]**	**Valeur de *P***
Béliers				
Circonférence scrotale (cm)	32,2	34,8	1,2	0,1644
Résultats des accouplements				
Nombre de brebis	59	60		
Intervalle mise au bélier – saillie fécondante (j)	16,0	17,4	1,3	0,4238
Saillies fécondantes dans les premiers 17 j[z] (%)	58,1	44,9		0,2095
Saillies fécondantes entre 18-30 j[z] (%)	34,9	49,0		0,1773
Fertilité à l'agnelage (%)	72,9	81,7		0,2573
Prolificité (agneaux nés/brebis agnelée)	1,51	1,76	0,59	0,0461
Productivité (agneaux nés/brebis mises en acc.)	1,10	1,43		0.0332
Poids des agneaux à la naissance (kg)	5,3	5,3	0,1	0,9185

[x] **LN :** lumière naturelle (**LN**) durant toute l'expérience (groupe *témoin*); **Photo* :** photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière).
[y] ÉTM : Écart-type de la moyenne.
[z] Nombre de jours de la mise aux béliers.

Le pourcentage d'agnelages, quoique numériquement supérieur de 9 % chez les béliers Photo*, n'a pas non plus été significativement différent entre les deux groupes (72,9 vs 81,7 % pour LN et Photo* respectivement; P = 0,2573). Toutefois, la présence du bélier #4 dans le groupe LN a, en quelque sorte, masqué les différences entre les traitements. En effet, ce bélier, tel que mentionné précédemment, avait une CS supérieure à tous les autres béliers du projet et il est, en plus, parvenu à féconder 100 % des femelles de son groupe (Tableau 3.6). L'analyse des résultats sans le bélier #4 fait ressortir une différence significative en faveur du traitement Photo*, par rapport au traitement LN, pour la CS (34,8 vs 30,6 cm; P = 0,0043) et la fertilité (81,7 vs 63,6 %; P = 0,0438).

Tableau 3.6. Différences individuelles dans les performances de reproduction entre les béliers des traitements LN et Photo* lors des accouplements sur chaleurs naturelles en contre-saison

Traitement[z]	No. bélier	CS (cm)	Prolificité	Fertilité (%)
LN	4	37,7	1,40	100,0
	7	30,4	1,50	71,4
	9	31,6	1,50	53,3
	14	29,9	1,70	66,7
Photo*	3	32,1	1,92	86,7
	5	35,3	1,85	86,7
	8	36,0	1,64	73,3
	11	33,5	1,58	80,0

[z] **LN :** lumière naturelle (LN) durant toute l'expérience (groupe *témoin*); **Photo* :** photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière).

La répartition des saillies fécondantes (Figure 3.9), l'intervalle moyen entre la mise au bélier et la saillie fécondante (P = 0,4238), le pourcentage des brebis fécondées dans les premiers 17 jours suivant la mise aux béliers (P = 0,2095) et entre le 18^{e} et le 30^{e} jour (P = 0,1773), ont été comparables entre les traitements.

Une corrélation de 0,70 (P = 0,0533) a été mesurée entre les résultats de fertilité des accouplements sur chaleurs naturelles en contre-saison et la CS des béliers (incluant le bélier #4) (Figure 3.10). Selon l'équation de la droite, chaque augmentation d'un centimètre de la CS des béliers à la mise en accouplement augmente la fertilité des femelles de 3,8 %. Il n'existait pas de corrélation entre la CS des mâles et la prolificité (P = 0,6328).

Enfin, la prolificité des brebis saillies par les béliers préparés en photopériode a été supérieure à celles saillies par les béliers témoins (1,76 vs 1,51 agneau né/brebis; P = 0,0461). La productivité, soit le nombre d'agneaux nés par brebis mises en accouplements, a également été à l'avantage des béliers Photo* (1,10 vs 1,43 pour LN et Photo* respectivement; P = 0,0332).

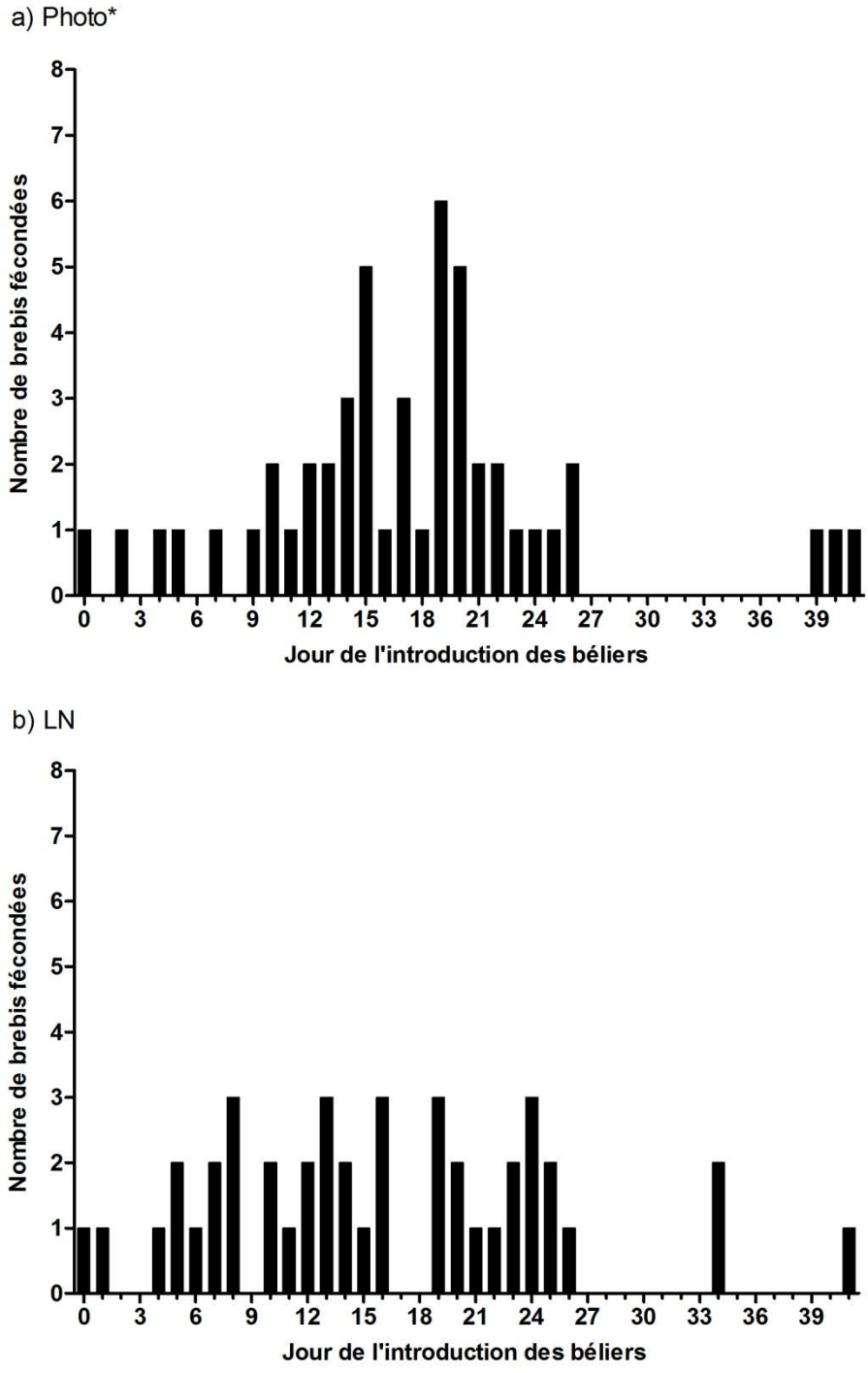

Figure 3.9. Répartition des saillies fécondantes lors des accouplements sur chaleurs naturelles en contre-saison sexuelle. a) Photo* : photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière); b) LN : lumière naturelle (LN) durant toute l'expérience (groupe témoin)

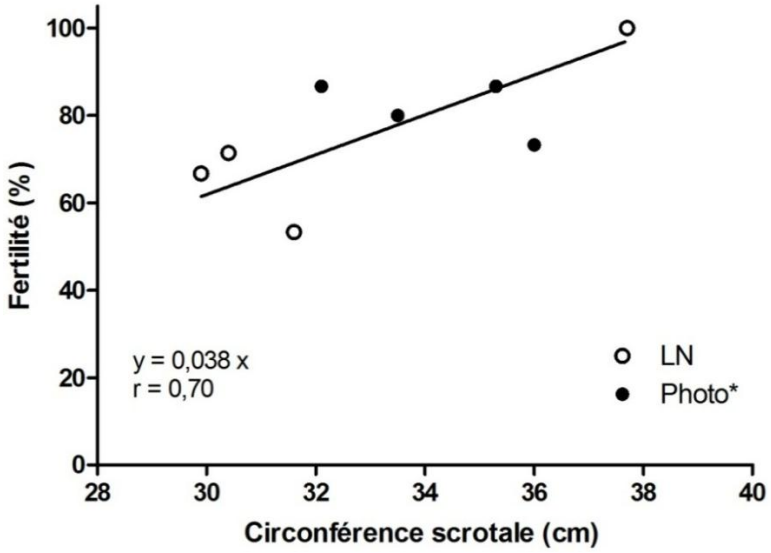

Figure 3.10. Corrélation entre les résultats de fertilité des accouplements sur chaleurs naturelles en contre-saison et la circonférence scrotale des béliers

3.4.6.2. Accouplements en saison sexuelle

La capacité de reproduction des mâles (CS, concentration de testostérone, libido) des trois groupes avant la mise en accouplement en saison sexuelle était similaire (Tableau 3.7). Les résultats de fertilité obtenus en saison sexuelle, soit le pourcentage d'agnelage (81,4 %, 78,6 % et 81,3 % pour LN, Photo et Photo/LN respectivement; P = 0,9371) et la prolificité (1,50, 1,51 et 1,52 agneau/né/brebis, pour LN, Photo et Photo/LN respectivement; P = 0,8789) n'ont pas été significativement différents entre les groupes. À cet accouplement en saison sexuelle, aucune corrélation ne s'est révélée significative entre les performances de reproduction et la CS des béliers (fertilité : P = 0,2584; prolificité : P = 0,7245).

Lors des accouplements en saison sexuelle, la répartition des saillies fécondantes (Figure 3.9), l'intervalle moyen entre la mise au bélier et la saillie fécondante (P = 0,8512) et le pourcentage des brebis fécondées entre le 18^{e} et le 30^{e} jour suivant la mise aux béliers (P = 0,6356), ont été comparables entre les traitements. Par ailleurs, les dosages de progestérone avaient montré que la majorité des femelles (76,4 %) étaient déjà cycliques lors de l'introduction des mâles.

Tableau 3.7. Paramètres de capacité de reproduction des béliers et performances reproductives lors des accouplements en saison sexuelle selon le traitement photopériodique appliqué

	Traitement[w]				
	LN	**Photo**	**Photo/LN**	**ÉTM[x]**	**Valeur de *P***
Béliers					
Nombre	4	4	3		
Poids (kg)	132,3	134,8	132,3	4,9	0,9008
État de chair	3,8	3,9	3,5	0,2	0,5052
Circonférence scrotale (cm)	36,9	37,0	34,5	1,2	0,3187
Libido[y]	2,8	3,8	2,8	0,5	0,2431
Testostérone (ng/ml)	4,7	3,9	3,4	1,1	0,7201
Résultats des accouplements					
Nombre de brebis	43	42	32		
Intervalle mise au bélier – saillie fécondante (j)	19,0	18,1	17,7	1,9	0,8512
Saillies fécondantes dans les premiers 17 j[z] (%)	34,3	39,4	38,5		0,8993
Saillies fécondantes entre 18-30 j (%)	48,6	45,5	57,7		0,6356
Fertilité à l'agnelage (%)	81,4	78,6	81,3		0,9371
Prolificité (agneaux nés/brebis agnelée)	1,49	1,55	1,50	0,51	0,8789
Poids des agneaux à la naissance	6,2	6,0	6,4	0,2	0,2845

[w] **LN :** lumière naturelle durant toute l'expérience (groupe *témoin*); **Photo :** photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière) durant toute l'expérience; **Photo/LN :** même traitement que Photo de novembre à mai et retour en lumière naturelle de mai à octobre.

[x] ÉTM : Écart-type de la moyenne

[y] Nombre moyen de saillies lors de quatre périodes d'observation de 20 min.

[z] Nombre de jours de la mise aux béliers.

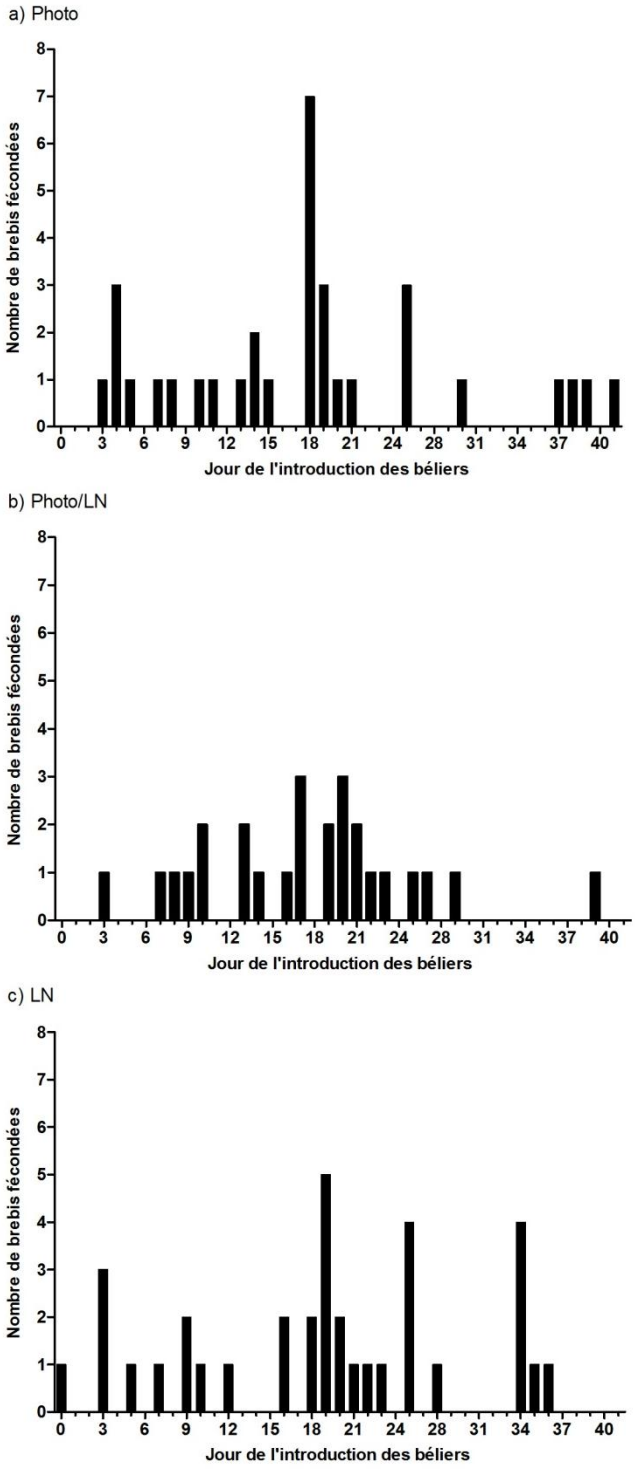

Figure 3.11. Répartition des saillies fécondantes lors des accouplements sur chaleurs naturelles en saison sexuelle. a) Photo : photopériode alternant 1 mois de jours longs (16 h/j de lumière) et 1 mois de jours courts (8 h/j de lumière); b) Photo/LN : comme le traitement Photo de novembre à mai et retour en LN de mai à octobre; c) LN : lumière naturelle (LN) durant toute l'expérience (groupe témoin)

3.5. DISCUSSION

3.5.1. Variations saisonnières en lumière naturelle

Comme anticipé, la CS des béliers en lumière naturelle a chuté en contre-saison sexuelle. Le patron saisonnier observé est comparable à ceux rapportés dans la littérature pour lesquels la croissance testiculaire est à son plus bas à la fin de l'hiver et reprend dès le début du mois de juin pour être à son maximum à la fin de l'été et au début de l'automne (Mickelsen *et al.*, 1981a; Dufour *et al.*, 1984; Schanbacher, 1988; Chemineau *et al.*, 1992; Mandiki *et al.*, 1998) L'évaluation de la CS est, en fait, une mesure indirecte de la production spermatique des béliers (Ott et Memon, 1980; Amann et Schanbacher, 1983) qui, elle aussi, varie entre la saison et la contre-saison (Ortavant et Thibault, 1956; Colas *et al.*, 1972). La production spermatique totale, qui nécessite plusieurs éjaculations le même jour, n'a toutefois pas été évaluée directement dans le présent projet.

Des variations saisonnières plus ou moins grandes de certains paramètres de qualité de la semence sont également rapportées dans la littérature chez les béliers en LN (Colas *et al.*, 1972; Colas, 1980; Dacheux *et al.*, 1981; Mandiki *et al.*, 1998; Karagiannidis *et al.*, 2000; Kafi *et al.*, 2004). Malgré des variations importantes d'une récolte à l'autre, l'analyse de l'évolution des paramètres de qualité de la semence dans le temps pour les béliers LN a permis de déceler un effet de la saison seulement pour le volume de l'éjaculat et le pourcentage de spermatozoïdes morts. En effet, les volumes de semence récoltés ont été plus élevés en saison qu'en contre-saison. Certains auteurs ont noté des volumes supérieurs d'environ 0,3 à 0,5 ml à l'automne comparativement au printemps avec des récoltes deux fois par semaine ou aux deux semaines (Karagiannidis *et al.*, 2000; Kafi *et al.*, 2004). Dans l'étude de Karagiannidis *et al.* (2000), la concentration en spermatozoïdes des éjaculats récoltés a aussi été plus élevée l'automne. Toutefois, comme la quantité de gamètes recueillie, dans les cas de récoltes hebdomadaires ou aux deux semaines, est beaucoup plus faible que la quantité produite ou mise en réserve par les mâles, le volume d'un éjaculat aux deux semaines n'est pas un bon indicateur de la production spermatique réelle (Colas *et al.*, 1972). Quant à la variabilité entre les récoltes de la qualité de la semence récoltée par électroéjaculation, elle a été répertoriée pour la première fois en 1939 par Brady et Gildow.

Ceux-ci affirmaient que la récolte de semence de bélier par électroéjaculation était sujette à d'importantes variations d'une fois à l'autre, variations pouvant être associées à la saison, mais également à l'âge ainsi qu'à certaines conditions physiques. Moore, en 1985, affirmait pour sa part que la qualité de la semence récoltée par vagin artificiel (VA) était plus répétable d'une récolte à l'autre que par électroéjaculation. Toutefois, l'évolution des appareils d'électroéjaculation dans les dernières années fait en sorte que les études anciennes sont de moins bonnes références dans ce domaine. À cet effet, une étude plus récente (Marco-Jiménez *et al.*, 2005), utilisant un appareil de la même génération que celui qui a été utilisé dans l'actuel projet, faisait trois constats : (i) l'efficacité de la récolte (taux de succès) à l'électroéjaculation était de 80 %, comparativement à 100 % avec un VA, résultats découlant de la contamination de la semence avec de l'urine ou simplement de l'absence de réponse du bélier à la stimulation électrique ; (ii) la qualité de la semence fraîche n'était pas significativement différente entre les deux techniques de récolte (électroéjaculation vs VA), excepté pour la concentration spermatique ; (iii) en semence congelée, un nombre supérieur de spermatozoïdes stables et fonctionnels (nombre supérieur de spermatozoïdes vivants et non-capacités, vivants et à l'acrosome intact et vivants et ayant subi la réaction acrosomiale) a été trouvé, post-décongélation, dans la semence récoltée par électroéjaculation que par VA.

Dans la présente étude, le taux des spermatozoïdes morts a été inférieur en saison sexuelle. Mandiki *et al.* (1998) ont, eux aussi, rapporté des variations des pourcentages de spermatozoïdes morts au fil des saisons, mais, dans leur étude, ces différences semblaient plus liées à l'âge, puisqu'il diminuait chez les béliers entre 10 mois et 3 ans. La motilité massale ou totale, tout comme dans la présente étude, serait un paramètre indépendant des saisons (Colas, 1980; Langford *et al.*, 1987; Mandiki *et al.*, 1998). Seuls Kafi *et al.* (2004) ont rapporté de meilleures motilités massales à l'automne.

Plusieurs études déterminent la qualité de la semence sur la base du taux de spermatozoïdes anormaux. La plupart ont constaté une diminution du nombre de spermatozoïdes anormaux à l'automne (Colas, 1980; Mickelsen *et al.*, 1981b; Mandiki *et al.*, 1998; Karagiannidis *et al.*, 2000). Cette variable n'a cependant pas été mesurée dans le présent projet. Par ailleurs,

de nombreux autres paramètres plus « élaborés » de la qualité de la semence ont été évalués (motilité et cinétique du mouvement au CASA, viabilité, réaction acrosomiale, capacitation, intégrité de l'ADN en cytométrie en flux), mais aucun de ceux-ci n'a présenté de patrons saisonniers clairs. Certains des paramètres de qualité de la semence mesurés ont varié d'une récolte à l'autre, mais ces variations semblent principalement le reflet de la qualité de l'éjaculat à proprement parler, sans lien direct avec la saison de récolte.

La testostérone est une hormone impliquée dans plusieurs évènements physiologiques liés à la fonction reproductive mâle. La variation saisonnière de la sécrétion de cette hormone, tout comme la fonction reproductive elle-même, est bien documentée dans la littérature (Schanbacher et Lunstra, 1976; Dufour *et al.*, 1984; Pelletier et Almeida, 1987) et a également été observée dans la présente étude. Les concentrations de testostérone des béliers LN étaient effectivement maximales en septembre, octobre et novembre et plus basses de décembre à juillet, un patron et des concentrations comparables à ceux rapportés par Schanbacher et Lunstra (1976) et Dufour *et al.* (1984) chez des béliers Suffolk. Les JL ou croissants auraient un effet inhibiteur sur l'axe hypothalamo-hypophyso-testiculaire, ce qui fait qu'au printemps et en été (JL), une baisse de la sécrétion de testostérone est généralement observée (Langford *et al.*, 1987; Pelletier et Almeida, 1987). Les variations de testostérone liées aux changements de saison ou de photopériode correspondent généralement aux variations concomitantes observées sur la taille des testicules (Schanbacher et Lunstra, 1976; Dufour *et al.*, 1984; Pelletier, 1986; Langford *et al.*, 1999), comme il a été le cas pour les béliers en LN.

3.5.2. Effet de la préparation photopériodique des béliers sur la reproduction en contre-saison sexuelle

Chez des béliers soumis à des traitements de photopériode de cycles longs (3-6 mois de JL ou croissants et 3-6 mois de JC ou décroissants), la taille des testicules (Lincoln et Davidson, 1977; D'Occhio *et al.*, 1984; Lindsay *et al.*, 1984; Poulton et Robinson, 1987; Sanford *et al.*, 1993; Sanford et Baker, 2010), la quantité et/ou certains paramètres de qualité de la semence (Colas *et al.*, 1985; Langford *et al.*, 1987) ainsi que la concentration de testostérone dans le sang (Lincoln et Davidson, 1977; D'Occhio *et al.*, 1984; Pelletier,

1986; Langford *et al.*, 1987; Poulton et Robinson, 1987; Sanford *et al.*, 1993; Sanford et Baker, 2010) sont favorisés en JC et défavorisés en JL. Cependant, peu d'études ont été menées afin d'évaluer l'impact des traitements de photopériode de cycles courts (1-2 mois de JL et 1-2 mois de JC) sur ces variables liées à la capacité de reproduction des béliers.

Un des objectifs du présent projet consistait à vérifier l'hypothèse selon laquelle la préparation photopériodique des béliers, consistant à l'alternance mensuelle continue de JC (8 h de lumière/j) et de JL (16 h de lumière/j), permettrait de prévenir les variations saisonnières de la CS, de la qualité de la semence et de la concentration de testostérone sanguine en contre-saison sexuelle. La CS des béliers Photo* (deux béliers Photo et deux béliers Photo/LN ayant reçu la même préparation photopériodique jusqu'aux accouplements en contre-saison sexuelle) a évolué différemment de celui des béliers maintenus en lumière naturelle. Malgré une chute de CS plus rapide en début de traitement, le protocole de photopériode a ultimement permis aux béliers d'atteindre une CS sensiblement plus élevée que les béliers LN lors de la mise en accouplement en contre-saison en mai. Par ailleurs, les béliers étant âgés de seulement 16 mois au début de l'étude, les différences de CS entre les groupes LN et Photo* auraient pu être sous-évaluées. En effet, Mandiki *et al.* (1998) ont rapporté des valeurs de diamètres scrotaux plus élevées et des variations saisonnières plus marquées au cours de la troisième année d'âge des béliers suivis depuis l'âge de 10 mois. Le patron de CS mesuré dans la présente étude s'accorde avec ceux obtenus par Schanbacher (1988) et Pelletier *et al.* (1985). En effet, dans l'étude de Schanbacher (1988), les cycles de photopériode artificielle d'une durée de 2 mois (un mois de JC et un mois de JL) appliqués à partir de la mi-décembre ont permis de contrer la baisse saisonnière de l'activité testiculaire de béliers Suffolk en contre-saison et d'augmenter le diamètre des testicules en juin à un niveau comparable à celui observé en saison sexuelle. Avec le même type de programme photopériodique, Pelletier *et al.* (1985) ont également rapporté que les béliers Ile-de-France, une race moins saisonnière, présentaient une augmentation progressive de leur poids testiculaire pour atteindre un maximum en juin. Toujours dans cette étude, le poids testiculaire s'était ensuite stabilisé près du niveau maximal, variant peu pendant les 12 mois de traitement suivants. En fait, avec ce programme, l'amplitude de la variation du poids testiculaire avait été quatre fois

moins importante que celle observée avec un régime lumineux de six mois (Pelletier *et al.*, 1985), régime s'apparentant à la variation saisonnière de la durée du jour. Toutefois, dans la présente étude, il n'a pas été possible d'établir si la CS des béliers en traitement photopériodique était plus stable que celle des béliers LN en raison de la courte durée d'expérimentation (10 mois vs 18 mois dans l'étude de Pelletier *et al.* (1985)) et du fait que le traitement photopériodique des béliers était entrecoupé de périodes d'accouplements en lumière naturelle. Par contre, dans la présente étude, la CS des mâles LN et Photo était semblable en saison sexuelle.

Pour ce qui est de la qualité de la semence, elle n'a pas été affectée de façon évidente par le traitement de photopériode et seules quelques différences ponctuelles entre les béliers des différents traitements ont été notées pour le volume, le pourcentage de spermatozoïde morts, le pourcentage de spermatozoïdes ayant subi la réaction acrosomiale et la motilité totale au CASA. La variation de la qualité de la semence chez des béliers maintenus sous alternance continue de cycles photopériodiques courts ne semble pas avoir fait l'objet d'aucune autre étude auparavant. Schanbacher (1979) a montré que des béliers soumis à neuf semaines de JC depuis février avaient un nombre supérieur de spermatozoïdes avec des acrosomes normaux en avril par rapport à des béliers témoins maintenus en LN en contre-saison (63 vs 36 %). Dans cette dernière étude, la motilité, le taux de spermatozoïdes morts et la morphologie des spermatozoïdes n'ont pas été affectées par le traitement de JC.

Étonnamment, dans la présente étude, la sécrétion de testostérone des béliers soumis au programme de photopériode a suivi un patron saisonnier similaire à celui des béliers LN. Le traitement d'alternance photopériodique n'a donc pas permis de contrer les variations saisonnières de sécrétion de testostérone en contre-saison sexuelle. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans l'étude d'El-Alamy *et al.* (2001) dans laquelle les concentrations de testostérone ont suivi un patron saisonnier, indépendamment du traitement de photopériode appliqué. Dans cette expérimentation, un groupe de béliers était soumis, à partir de la mi-décembre, à près de 3 mois de JC et 3 mois de JL et un second groupe au traitement inverse. Ces auteurs ont émis l'hypothèse qu'un rythme circannuel endogène était le principal agent impliqué dans la régulation des changements hormonaux.

Toutefois, la CS des béliers n'a pas été évaluée par El-Alamy *et al.* (2001) et peu de différences ont été notées dans la production spermatique qui, comme discuté précédemment, est reconnue pour être étroitement liée à la CS.

Aussi, les béliers en photopériode ont montré des patrons de CS différents de ceux des concentrations de testostérone, laissant de prime abord présager l'absence d'une relation de causalité entre les deux. Pourtant, dans l'étude de Poulton et Robinson (1987), qui portait des béliers sous une photopériode artificielle de 3 mois de JC et de JL en alternance, les plus grandes valeurs de testostérone sanguine coïncidaient avec les données les plus élevées des volumes scrotaux, tout comme dans l'étude de D'Occhio *et al.* (1984). Toujours dans les travaux de Poulton et Robinson (1987), l'activité sexuelle maximale était associée à la fin de la phase de développement et au début de la phase de régression testiculaire, avec un intervalle de six à sept semaines entre le volume scrotal maximal et le pic de la réponse sexuelle. Tulley et Burfening (1983) avaient également conclu que les JC de l'automne et de l'hiver entrainaient une augmentation de la CS et de la libido, mais aucune relation n'a été trouvée par ces auteurs entre la CS et le nombre de montes et de saillies. Fourie *et al.* (2005) ont pour leur part trouvé une corrélation positive entre les concentrations de testostérone et les valeurs de CS de béliers de race Dorper. Par contre, d'autres auteurs n'ont pas pu mettre en évidence cette relation chez cette même race (Schoeman *et al.*, 1987; Greyling et Taylor, 1999). Pourtant, la baisse de production de testostérone, survenant lors de la régression saisonnière des testicules, serait directement expliquée par l'atrophie des cellules de Leydig dans les testicules chez des béliers de race Soay (Hochereau-de Reviers *et al.*, 1985). En effet, les tubes séminifères ainsi que les compartiments intertubulaires des testicules seraient affectés par la photopériode. Toutefois, il n'y aurait pas de changement ou de variations du nombre de cellules de Sertoli ou de Leydig. La différence s'observerait plutôt dans la taille du noyau des cellules de Sertoli et dans le volume des cellules de Leydig, les deux augmentant en JC et régressant en JL. Ces changements cellulaires seraient corrélés avec les concentrations en FSH et en testostérone dans le sang des tissus périphériques, indiquant que la régression sous les JL serait due à la réduction de la sécrétion des hormones gonadotrophiques (Hochereau-de Reviers *et al.*, 1985).

Toutefois, la légère augmentation des concentrations en testostérone vers les mois d'avril et de mai chez les béliers en traitement photopériodique, quoique non significativement différente des béliers LN, aurait peut-être pu être suffisante pour induire la croissance testiculaire des béliers Photo*. En effet, une différence de la taille des testicules entre les deux groupes de béliers a été observée à la mise aux béliers en contre-saison, mais aucune différence n'a été perçue concernant les concentrations de testostérone. Une autre étude sur les cycles courts a également montré que les faibles variations de concentration en testostérone sanguine pouvaient être suffisantes pour induire un changement testiculaire (Almeida et Pelletier, 1988). En effet, Almeida et Pelletier (1988) ont noté que les concentrations de testostérone variaient avec la photopériode imposée pendant un traitement lumineux alternant des cycles courts de deux mois (un mois de JL et un mois de JC). Cependant, les concentrations mesurées chez ces béliers en photopériode depuis plus d'un an et demi étaient demeurées inférieures à 2,5 ng/ml au cours des six mois d'investigation (prélèvements de novembre à avril), ce qui est bien en deçà de ceux observés en saison sexuelle. Au moment des prélèvements, la taille des testicules était à peu près stable autour de 300 g, ce qui est au-dessus des valeurs observées au printemps (< 200 g) rapportées par Pelletier et Ortavant (1970).

De plus, puisque la testostérone est une hormone dont la sécrétion présente un patron pulsatile, la fréquence des prélèvements sanguins dans cette recherche n'a peut-être pas permis de bien représenter la production journalière de cette hormone. Il n'est donc pas possible de savoir si la fréquence des pics de testostérone a été la même entre les différents groupes de béliers. Le choix de la fréquence des prélèvements (trois fois par jour) avait plutôt été effectué dans le but d'atténuer les variations de concentrations à l'intérieur d'une même journée.

Un autre des objectifs visés par le présent projet consistait à vérifier l'hypothèse selon laquelle une préparation photopériodique des béliers (Photo*), à l'automne et à l'hiver, consistant à l'alternance mensuelle continue de JC et de JL améliorerait les performances reproductives des béliers (libido, fertilité et prolificité) lors d'accouplements en contre-saison sexuelle. Il a été montré à plusieurs reprises que le désir sexuel (libido) des béliers

influence positivement la fertilité des brebis (Perkins *et al.*, 1992; Kilgour, 1993; Ibarra *et al.*, 2000; Stellflug *et al.*, 2008a). Par contre, la relation entre la libido des béliers et la fertilité des brebis (Kilgour et Wilkins, 1980; Mickelsen *et al.*, 1982) ou entre la libido des béliers et le pourcentage de brebis montée (Kelly *et al.*, 1975) n'a pu être établie dans certaines études.

Dans le présent projet, à la mise en accouplement en contre-saison, les béliers LN et Photo* avaient une libido comparable. Ces résultats sont contradictoires avec plusieurs études montrant que la libido des mâles est normalement plus faible au printemps et à l'été en JL (Pepelko et Clegg, 1965; Land, 1970; Derycke *et al.*, 1990). Toutefois, puisqu'il existe une forte relation entre la testostérone et le comportement sexuel des béliers (Poulton et Robinson, 1987) et que tous les béliers présentaient des niveaux de testostérone comparables à ce moment, il est cohérent de n'avoir obtenu aucune différence de libido entre les différents groupes de béliers.

Lors des accouplements sur chaleurs synchronisées en contre-saison, la fertilité totale des brebis accouplées par des béliers préparés en photopériode n'a pas été meilleure que celle des brebis saillies par les béliers témoins. Le fait de placer les béliers dans une situation de « sollicitation sexuelle » plus élevée aurait pu accentuer les différences entre les béliers, tel qu'énoncé par Stellflug *et al.* (2008a). Cependant, le faible nombre de brebis venues en chaleur avec la méthode de synchronisation n'a pas permis de mettre au défi les béliers autant que souhaité (seulement 6 brebis/bélier). Malgré cela, le ratio 1:6 est un ratio bélier:brebis couramment utilisé par les éleveurs pour des saillies sur œstrus synchronisés. Ainsi, la libido des béliers de tous les groupes a été suffisante pour répondre à la demande et la préparation photopériodique des béliers n'a pas eu d'avantage dans ces conditions.

Quoique différente numériquement de 9 %, la fertilité des béliers en situation d'accouplements sur chaleurs naturelles en contre-saison n'a pas différé de manière significative entre les groupes Photo* et LN. Les résultats « extrêmes » pour la CS et la fertilité d'un des béliers du groupe LN semblent avoir contribué à atténuer les écarts entre les traitements lors des accouplements sur chaleurs naturelles en contre-saison. Malgré tout,

et ce, sans égard au traitement, il a été possible d'établir une relation linéaire entre la CS des mâles et la fertilité des brebis en contre-saison. Ainsi, plus la CS était élevée, meilleure a été la fertilité. Il faut toutefois rappeler que le nombre de béliers constituant la corrélation était relativement faible (n=8). Il est plausible que le traitement de photopériode, ayant favorisé la croissance testiculaire des béliers en contre-saison en mai, favorise également l'atteinte de meilleurs taux de fertilité. Toutefois, peu d'études ont montré directement un lien entre la CS et la fertilité *in vivo* chez le bélier.

Parmi celles-ci, l'étude de Duguma *et al.* (2002) a fait ressortir un effet significatif de la CS sur la fertilité des brebis à partir de données récoltées de 1986 à 1998, sur lesquelles ils ont effectué des probabilités de fertilité, en fonction de la CS des béliers. La fertilité prévue des brebis accouplées avec des béliers ayant une CS de situant entre 24 et 30 cm était de 88 %, tandis que cette fertilité était de 96 % et de 95 % lorsque les brebis étaient accouplées avec des béliers ayant une CS de 31 à 35 cm et de 36 à 40 cm, respectivement. Par contre, cette étude ne traitait pas de programmes photopériodiques, ni d'accouplements en contre-saison sexuelle. Ces résultats corroboraient ceux rapportés par Bunge *et al.* (1990). Dans cette étude, la CS n'a pas eu un effet significatif sur la prolificité. Toutefois, la relation entre la CS et la fertilité a été positive et constante, au cours des trois années d'étude et significativement différente de zéro la dernière année d'étude. Le coefficient de régression des trois années d'étude réunies ensemble indiquait qu'une augmentation de la CS de 2 cm chez un bélier permettait d'espérer une hausse de la fertilité des femelles de 5,8 %. Encore une fois, il ne s'agit toutefois pas d'une étude traitant de programmes photopériodiques et les résultats ont été obtenus en saison sexuelle. Également, dans une expérience de Barwick *et al.* (1989), le taux de gestation des brebis montées (et non le nombre de brebis mises en accouplement) a augmenté de 2,2 % avec une augmentation de 1 cm du diamètre testiculaire des béliers. Cependant, le taux de gestation global des brebis n'a pas augmenté significativement avec l'augmentation du diamètre testiculaire, ce qui indique que, dans cette étude, les béliers ayant un plus grand diamètre testiculaire n'ont pas monté plus de brebis, mais que leurs saillies se sont avérées plus efficaces. D'autres auteurs (Whiteman *et al.*, 1982), ne parlant toutefois pas directement de relation linéaire entre la CS et la fertilité, ont tout de même obtenus des résultats de fertilité inférieurs lors d'accouplements en

contre-saison sexuelle (mai-juin) avec des béliers dont la CS avait diminué de deux pouces d'octobre à janvier (béliers considérés comme étant saisonniers), comparativement aux béliers qui eux avaient subi une baisse de moins de deux pouces (béliers non saisonniers) (32,9 % vs 59,8 %). La relation entre la CS et la fertilité pourrait s'expliquer en partie par le fait que le nombre de spermatozoïdes produits par gramme de testicules par jour est constant, soit d'environ 20 millions par gramme par jour (Croker, 1996). À l'inverse, certains auteurs n'ont trouvé aucune relation entre la CS des mâles et la fertilité des femelles accouplées avec ceux-ci (Mickelsen *et al.*, 1981a; Gizaw et Thwaites, 1997).

Concernant les résultats de prolificité lors des accouplements naturels en contre-saison, les brebis saillies par les béliers préparés en photopériode ont obtenu une prolificité supérieure à celles saillies par les béliers exposés à la lumière naturelle. La productivité, déterminée par le nombre d'agneaux nés par brebis mises en accouplements, a également été supérieure pour le groupe accouplé avec les béliers Photo*. Ces deux résultats n'ont pas été obtenus lors des accouplements avec les brebis dont les chaleurs avaient été synchronisées. Puisque ces chaleurs « artificielles » sont totalement indépendantes des béliers, il est possible de poser l'hypothèse que, à l'inverse, les chaleurs induites par les béliers en accouplements naturels auraient été plus « belles » et auraient mené à de meilleures ovulations, tant en nombre qu'en qualité. Comme mentionné précédemment, les tests de libido effectués dans cette étude n'ont pas permis de montrer une différence entre les traitements. La technique choisie mesurait principalement un nombre de saillies à l'intérieur d'une période de temps précise. Toutefois, d'autres éléments, tels que le comportement sexuel des béliers avec les femelles (reniflement de la région génitale, indice du Flehmen, etc.) ainsi que les phéromones dégagées par le bélier ont pu différer entre les groupes et ainsi influencer l'intensité de la venue en chaleur des brebis. Le moment de la venue en chaleur n'a pas différé entre les deux traitements, puisqu'aucune différence n'a pu être établie pour l'intervalle entre l'introduction des mâles et la saillie fécondante. Un effet bélier, c'est-à-dire l'apparition des chaleurs et des ovulations entre 18 et 25 jours suivant l'introduction d'un bélier dans un groupe de brebis en anoestrus saisonnier, était par contre attendu. C'est l'odeur dégagée par le mâle ainsi que son comportement qui semblent être responsables des évènements physiologiques conduisant au déclenchement de ce phénomène (Martin *et al.*,

1986). Cependant, la répartition des saillies fécondantes observée dans la présente étude n'a pas été typique de ce phénomène puisque moins de 50 % sont survenues entre 18 et 30 jours suivant le début des accouplements. En réponse à l'effet bélier, la majorité des saillies auraient dû se produire dans la deuxième moitié de la période d'accouplement (Thimonier *et al.*, 2000). Selon les données rapportées par Lindsay et Signoret (1980), dans un groupe de brebis de race désaisonnée (DP) comme le nôtre, où environ 25 % des brebis étaient cycliques, près de 75 % des brebis auraient dû répondre à ce stimulus.

Enfin, il est difficile de comparer les résultats des performances d'accouplements des béliers dans la présente étude, puisqu'aucune étude antérieure n'a porté sur la fertilité *in vivo* des béliers soumis à des programmes de photopériode de cycles courts. Toutefois, certains chercheurs ont obtenu des pourcentages d'agnelage supérieurs avec des béliers préparés en JC pendant une période de 13 semaines en contre-saison (février à mai) (Schanbacher, 1979 ; 67,2 % pour les béliers traités et 32,0 % pour les béliers témoins) ou traités avec des implants de mélatonine mimant les JC au printemps (Fitzgerald et Stellflug, 1991; 86 et 91 % pour les groupes traités et 59 et 62 % pour les groupes témoins), en comparaison avec des béliers en lumière naturelle. Dans l'étude de Schanbacher (1979), la prolificité a été numériquement supérieure chez les brebis accouplées avec des béliers préparés en JC par rapport à ceux laissés en lumière naturelle (1,95 vs 1,72 agneau né/brebis agnelée). Indirectement, les résultats de Colas *et al.* (1985) corroborent aussi ceux de la présente étude. Ces derniers ont montré que la semence récoltée en JC (six mois de lumière croissante et six mois de lumière décroissante), et utilisée pour des inséminations avec la semence fraîche, permettait d'obtenir une fertilité supérieure à l'agnelage, comparativement à de la semence récoltée en JL. En plus, ces résultats en IA témoignent de l'influence directe de la qualité des spermatozoïdes, sans égard à la libido du mâle ou à la quantité de semence produite, qui était similaire entre les groupes dans la présente étude. Ces auteurs n'ont pas noté d'effet direct de la préparation photopériodique des béliers sur la prolificité, mais une corrélation positive entre la fertilité et la prolificité a été relevée : plus le bélier était fertile, plus la prolificité était élevée. La qualité de la semence, propre aux béliers recevant un traitement lumineux, pourrait donc favoriser la fécondation des ovocytes et/ou la survie des embryons dans le tractus femelle (Schanbacher, 1979; Colas *et*

al., 1985). Dans l'étude de Hulet *et al.* (1965), la prolificité des brebis a été positivement corrélée avec plusieurs paramètres de la qualité de la semence récoltée par vagin artificiel, dont la motilité de la semence de béliers, la viabilité ainsi que certains traits morphologiques des spermatozoïdes. Entre autres, les anomalies au cou et à la pièce intermédiaire des spermatozoïdes ont été négativement corrélées avec la prolificité, avec des coefficients de corrélation de - 0,42 et - 0,44 respectivement. Ces anomalies n'ont pas été étudiées dans la présente étude. Toutefois, malgré le nombre important de paramètres évalués, les particularités des spermatozoïdes responsables du « pouvoir fécondant » n'ont pas pu être mises en évidence. À titre d'hypothèse, le degré de maturation des spermatozoïdes dans l'épididyme, pouvant s'observer par exemple par la présence de gouttelettes cytoplasmiques sur les spermatozoïdes, pourrait être impliqué puisqu'il influencerait la mortalité embryonnaire (Fournier-Delpech *et al.,* 1982 cités par Colas *et al.*, 1985). L'étude de la migration des spermatozoïdes dans le mucus cervical, ainsi que les critères de qualité directement associés à la fécondation de l'ovocyte seraient également très intéressants à étudier. La distance de migration de la semence de béliers dans un capillaire de mucus cervical bovin serait meilleure pour de la semence récoltée en JC, comparativement à celle récoltée en JL (Mole et Fitzgerald, 1990). Selon les mêmes auteurs, l'agglutination tête-à-tête des spermatozoïdes serait également inférieure pour la semence récoltée en JC.

3.5.3. Effet de la préparation photopériodique des béliers sur la reproduction en saison sexuelle

En saison sexuelle, la CS, la libido, les concentrations de testostérone et les performances reproductives (fertilité et prolificité) des béliers sous alternance photopériodique d'un mois de JL et d'un mois de JC (Photo) ont été comparables à ceux des béliers LN. En effet, la CS des béliers LN et Photo étaient alors à des niveaux équivalents à ceux obtenus initialement en novembre, et supérieurs ou égaux à ceux mesurés en contre-saison et leurs concentrations en testostérone était en augmentation. Aucune corrélation significativement différente de zéro n'a été obtenue entre la fertilité et la CS des béliers en saison. Certains chercheurs n'ont pas non plus observé de relation entre la CS des béliers et la fertilité ou la qualité de la semence en saison sexuelle (Mickelsen *et al.*, 1981a).

Un autre des objectifs du présent projet consistait à vérifier l'hypothèse selon laquelle, en comparaison avec les béliers LN et Photo, les béliers préparés en photopériode pour les accouplements en contre-saison et retournant en lumière naturelle après ce traitement (Photo/LN) verraient la reprise de leur activité sexuelle retardée l'automne suivant. Certaines études ont montré que les béliers préparés en photopériode pour des saillies en contre-saison et remis en lumière naturelle à la suite de ces accouplements subissaient un effet « résiduel » du traitement. En effet, l'automne suivant, la taille des testicules de ces béliers était diminuée, en comparaison à des béliers gardés en photopériode ou en lumière naturelle (Ortavant, 1977; Colas *et al.*, 1987). Lors de la saison sexuelle, les résultats de CS tendent à appuyer cette hypothèse. Numériquement, la CS mesurée chez les béliers du traitement Photo/LN dans les semaines précédant la mise au bélier de septembre était inférieure à celle des béliers Photo et LN. Par contre, à la sortie des accouplements à la mi-octobre, la CS des béliers Photo/LN était comparable à celle des béliers LN. Par ailleurs, les concentrations de testostérone, la libido et la qualité de la semence des béliers Photo/LN ont été semblables à ceux des autres traitements, ce qui s'est reflété de façon logique lors des accouplements où la fertilité et la prolificité ont été similaires dans les différents groupes.

3.6. CONCLUSIONS

Le but de la présente étude était d'évaluer les effets d'une préparation photopériodique des béliers, afin d'optimiser l'activité de reproduction durant toute l'année. La préparation photopériodique des béliers n'a pas clairement permis d'obtenir des paramètres de reproduction variant indépendamment de la photopériode naturelle, mais certains résultats laissent toutefois présager un accroissement de la productivité annuelle des élevages ovins.

En contre-saison, l'atteinte de valeurs supérieures concernant la taille des testicules ainsi que pour les performances reproductives (fertilité, prolificité et productivité en saillies naturelles) par les béliers préparés en photopériode montre l'avantage d'un programme photopériodique à cycles courts sur la capacité de reproduction. La mise en évidence d'une

corrélation positive entre la taille des testicules et la fertilité en contre-saison a permis de confirmer que le traitement photopériodique des béliers favorise l'atteinte de meilleurs taux de fertilité. La présente étude serait la première à établir clairement un lien entre la préparation photopériodique des béliers et la productivité en contre-saison sexuelle. Par ailleurs, une meilleure libido des béliers ne serait pas à l'origine de ces meilleurs résultats puisque la préparation photopériodique n'a influencé ni la sécrétion de testostérone ni le comportement sexuel des mâles. Malgré le nombre important de paramètres reliés à la qualité de la semence évalués dans la présente étude, aucun n'a été amélioré de façon substantielle par le traitement de photopériode.

Afin de valider la reproductibilité de ces conclusions à plus grande échelle, il serait intéressant de répéter ce protocole de photopériode avec un effectif de béliers plus nombreux, ainsi qu'avec d'autres races de béliers. Il serait également pertinent de vérifier les performances à plus long terme des béliers soumis à des traitements de photopériode en continu. D'un point de vue pratique, l'évaluation de la CS et la préparation photopériodique (traitement ponctuel ou en continu) des mâles sont deux techniques qui devraient être adoptés par les producteurs ovins pour améliorer les performances reproductives en contre-saison.

3.7. LISTES DES OUVRAGES CITES

Almeida, G. et J. Pelletier. 1988. Abolition of seasonal testis changes in the Ile-de-France ram by short light cycles: relationship to luteinizing hormone and testosterone release. Theriogenology 29: 681-691.

Amann, R.P. et B.D. Schanbacher. 1983. Physiology of male reproduction. J. Anim. Sci. 57: 380-403.

Bamba, K. 1988. Evaluation of acrosomal integrity of boar spermatozoa by bright field microscopy using an eosin-nigrosin stain. Theriogenology 29: 1245-1251.

Barwick, S.A., R.J. Kilgour, D.G. Fowler, J.F. Wilkins et W.R. Harvey. 1989. Ram mating performance in Border Leicesters and related breed types 3. Relationships of ram serving capacity, testis diameter, liveweight, breed and age with flock fertility. Aust. J. Exp. Agric. 29: 17-22.

Brady, D.E. et E.M. Gildow. 1939. Characteristics of ram semen as influenced by the method of collection. Am. Soc. Anim. Prod. 1939: 250-254.

Bunge, R., D.L. Thomas et J.M. Stookey. 1990. Factors affecting productivity of Rambouillet ewes mated to ram lambs. J. Anim. Sci. 68: 2253-2262.

Chemineau, P., B. Malpaux, J.A. Delgadillo, Y. Guérin, J.P. Ravault, J. Thimonier et P. Pelletier. 1992. Control of sheep and goat reproduction: use of light and melatonin. Anim. Reprod. Sci. 30: 157-184.

Chemineau, P., J. Pelletier, Y. Guérin, G. Colas, J.P. Ravault, G. Touré, G. Almeida, J. Thimonier et R. Ortavant. 1988. Photoperiodic and melatonin treatments for the control of seasonal reproduction in sheep and goats. Reprod. Nutr. Dev. 28: 409-422.

Colas, G. 1980. Variations saisonnières de la qualité du sperme chez le bélier Ile-de-France. I. Étude de la morphologie cellulaire et de la motilité massale. Reprod. Nutr. Dev. 20: 1789-1799.

Colas, G., Y. Guerin, M. Briois et R. Ortavant. 1987. Photoperiodic control of testicular growth in the ram lamb. Anim. Reprod. Sci. 13: 255-262.

Colas, G., Y. Guérin, V. Clanet et A. Solari. 1985. Influence de la durée d'éclairement sur la production et la fécondance des spermatozoïdes chez le bélier adulte Ile-de-France. Reprod. Nutr. Dev. 25: 101-111.

Colas, G., A. Laszczka, G. Brice et R. Ortavant. 1972. Variations saisonnières de la production de sperme chez le bélier. Seasonal variations in semen production in the ram. Acta Agraria et Silvestria Series Zootechnia 12: 3-15.

Conseil canadien de protection des animaux (CCPA). 2009. Lignes directrices sur : le soin et l'utilisation des animaux de ferme en recherche, en enseignement et dans les tests, CCPA, Ottawa, ON. 161 pp.

Croker, K. 1996. Getting more from your rams Farmnote No. 1998. Agriculture Western Autralia, South Perth.

D'Occhio, M.J., B.D. Schanbacher et J.E. Kinder. 1984. Profiles of luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, testosterone and prolactin in rams of diverse breeds: effects of contrasting short (8L:16D) and long (16L:8D) photoperiods. Biol. Reprod. 30: 1039-1054.

Dacheux, J.L., C. Pisselet, M.R. Blanc, M.T. Hochereau-de-Revier et M. Courot. 1981. Seasonal variations in rete testis fluid secretion and sperm production in different breeds of ram. J. Reprod. Fertil. 61: 363-371.

Derycke, G., R. Paquay et J.L. Bister. 1990. Étude de la capacité de reproduction du bélier en différentes races en fonction de la saison. 41^{e} Réunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie, Toulouse. 244-245.

Dufour, J.J., M.H. Fahmy et F. Minvielle. 1984. Seasonal changes in breeding activity, testicular size, testosterone concentration and seminal chararteristics in rams with long or short breeding season. J. Anim. Sci. 58: 416-421.

Duguma, G., S.W.P. Cloete, S.J. Schoeman et G.F. Jordaan. 2002. Genetic parameters of testicular measurements in Merino rams and the influence of scrotal circumference on total flock fertility. S. Afr. J. Anim. Sci. 32: 76-82.

El-Alamy, M.A., R.H. Foote et E. Hare. 2001. Sperm output and hormone concentrations in Finn and Dorset rams exposed to long- and short-day lighting. Theriogenology 56: 839-854.

Fitzgerald, J.A. et J.N. Stellflug. 1991. Effects of melatonin on seasonal changes in reproduction of rams. J. Anim. Sci. 69: 264-275.

Fourie, P.J., L.M. Schwalbach, F.W.C. Neser et J.P.C. Greyling. 2005. Relationship between body measurements and serum testosterone levels of Dorper rams. Small Rumin. Res. 56: 75-80.

Gizaw, S. et C.J. Thwaites. 1997. Changes in liveweight, body condition and scrotal circumference and their relationships with sexual activity and flock fertility in Ethiopian Horro rams over a 3-cycle joining period. J. Agric. Sci. Camb. 128: 117-121.

Greyling, J.P.C. et G.J. Taylor. 1999. The effect of the anabolic agent, nandrolone laurate, on certain production and reproduction parameters in ram lambs, under intensive and extensive feeding regimes. S. Afr. J. Anim. Sci. 29: 179-188.

Hochereau-de Reviers, M.T., C. Perreau et G.A. Lincoln. 1985. Photoperiodic variations of somatic and germ cell populations in the Soay ram testis. J. Reprod. Fertil. 74: 329-334.

Hulet, C.V., W.C. Foote et R.L. Blackwell. 1965. Relationship of semen quality and fertility in the ram to fecundity in the ewe. J. Reprod. Fertil. 9: 311-315.

Ibarra, D., D. Laborde et E. van Lier. 2000. Repeatability and relationship with field mating performance of a serving capacity pen test in rams. Small Rumin. Res. 37: 165-169.

Kafi, M., M. Safdarian et M. Hashemi. 2004. Seasonal variation in semen characteristics, scrotal circumference and libido of Persian Karakul rams. Small Rumin. Res. 53: 133-139.

Karagiannidis, A., S. Varsakeli, C. Alexopoulos et I. Amarantidis. 2000. Seasonal variation in semen characteristics of Chios and Friesian rams in Greece. Small Rumin. Res. 37: 125-130.

Kelly, R.W., A.J. Allison et G.H. Shackell. 1975. Libido testing and subsequent mating performance in rams. Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod. 35: 204-211.

Kilgour, R. et J. Wilkins. 1980. Effect of serving capacity of the ram syndicate on flock fertility. Aust. J. Exp. Agric. 20: 662-666.

Kilgour, R.J. 1993. The relationship between ram breeding capacity and flock fertility. Theriogenology 40: 277-285.

Land, R.B. 1970. The mating behaviour and semen characteristics of Finnish Landrace and Scottish Blackface rams. Anim. Prod. 12: 551-560.

Langford, G.A., L. Ainsworth, G.J. Marcus et J.N.B. Shrestha. 1987. Photoperiod entrainment of testosterone, luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, and prolactin cycles in rams in relation to testis size and semen quality. Biol. Reprod. 37: 489-499.

Langford, G.A., L.M. Sanford, G.J. Marcus et J.N.B. Shrestha. 1999. Seasonal cyclic pituitary and testicular activities in rams. Small Rumin. Res. 33: 43-53.

Lincoln, G.A. et W. Davidson. 1977. The relationship between sexual and aggressive behaviour, and pituitary and testicular activity during the seasonal sexual cycle of rams, and the influence of photoperiod. J. Reprod. Fertil. 49: 267-276.

Lincoln, G.A., M.J. Peet et R.A. Cunningham. 1977. Seasonal and circadian changes in the episodic release of follicle-stimulating hormone, luteinizing hormone and testosterone in rams exposed to artificial photoperiod. J. Endocrinol. 72: 337-349.

Lindsay, D.R., J. Pelletier, C. Pisselet et M. Courot. 1984. Changes in photoperiod and nutrition and their effect on testicular growth of rams. J. Reprod. Fertil. 71: 351-356.

Lindsay, D.R. et J.P. Signoret. 1980. Influence of behaviour on reproduction. Proc. 9th Int. Congr. Anim. Reprod. and A. I., Madrid. 83-92.

Mandiki, S.N.M., G. Derycke, J.L. Bister et R. Paquay. 1998. Influence of season and age on sexual maturation parameters of Texel, Suffolk and Ile-de-France rams 1.Testicular size, semen quality and reproductive capacity. Small Rumin. Res. 28: 67-79.

Marco-Jiménez, F., S. Puchades, J. Gadea, J.S. Vicente et M.P. Viudes-de-Castro. 2005. Effect of semen collection method on pre- and post-thaw Guirra ram spermatozoa. Theriogenology 64: 1756-1765.

Martin, G.B., C.M. Oldham, Y. Cognié et D.T. Pearce. 1986. The physiological responses of anovulatory ewes to the introduction of rams — A review. Liv. Prod. Sci. 15: 219-247.

Mickelsen, W.D., L.G. Paisley et J.J. Dahmen. 1981a. The effect of scrotal circumference, sperm motility and morphology in the ram on conception rates and lambing percentage in the ewe. Theriogenology 16: 53-59.

Mickelsen, W.D., L.G. Paisley et J.J. Dahmen. 1981b. The effect of season on the scrotal circumference and sperm motility and morphology in rams. Theriogenology 16: 45-51.

Mickelsen, W.D., L.G. Paisley et J.J. Dahmen. 1982. The relationship of libido and serving capacity test scores in rams on conception rates and lambing percentage in the ewe. Theriogenology 18: 79-86.

Mole, J.R. et J.A. Fitzgerald. 1990. Comparison of ram sperm interaction with bovine cervical mucus. Theriogenology 33: 1031-1043.

Moore, R.W. 1985. A comparison of electro-ejaculation with the artificial vagina for ram semen collection. New Zeal. Vet. J. 33: 22-23.

Morrier, A., F. Castonguay et J.L. Bailey. 2002. Glycerol addition and conservation of fresh and cryopreserved ram spermatozoa. Can. J. Anim. Sci. 82: 347 –356.

Ortavant, R. 1977. Photoperiodic regulation of reproduction in the sheep. Proc. Symp. Management of Reproduction in Sheep and Goats. Univ. of Wisconsin, Madison. 58-71.

Ortavant, R. et C. Thibault. 1956. Influence de la durée d'éclairement sur les productions spermatiques du bélier. C.r. Scéanc. Soc. Biol. 150: 358-362.

Ott, R.S. et M.A. Memon. 1980. Breeding soundness examinations of rams and bucks, a review. Theriogenology 13: 155-164.

Pelletier, J. 1986. Contribution of increasing and decreasing daylength to the photoperiodic control of LH secretion in the Ile-de-France ram. J. Reprod. Fertil. 77: 505-512.

Pelletier, J. et G. Almeida. 1987. Short light cycles induce persistent reproductive activity in Ile-de-France rams. J. Reprod. Fertil. Suppl. 34: 215-226.

Pelletier, J., V. Brieu, D. Chesneau, C. Pisselet et M. de Reviers. 1985. Abolition partielle des variations saisonnières du poids testiculaire chez le bélier par diminution de la période du cycle lumineux. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie 301: 665–668.

Pelletier, J. et R. Ortavant. 1970. Influence du photopériodisme sur les activités sexuelle, hypophysaire et hypothalamique du bélier Ile-de-France. Dans: J. Benoît and I. Assenmacher (éds.). La photorégulation de la reproduction chez les oiseaux et les mammifères. p. 483-495. CNRS, Montpellier, France.

Pepelko, W.E. et M.T. Clegg. 1965. Influence of season of the year upon patterns of sexual behavior in male sheep. J. Anim. Sci. 24: 633-637.

Pérez, L.J., A. Valcárcel, M.A. de las Heras, D. Moses et H. Baldassarre. 1996. Evidence that frozen/thawed ram spermatozoa show accelerated capacitation in vitro as assessed by chlortetracycline assay. Theriogenology 46: 131-140.

Perkins, A., J.A. Fitzgerald et E.O. Price. 1992. Sexual performance of rams in serving capacity tests predicts success in pen breeding. J. Anim. Sci. 70: 2722-2725.

Poulton, A.L. et T.J. Robinson. 1987. The response of rams and ewes of three breeds to artificial photoperiod. J. Reprod. Fertil. 79: 609-626.

Sanford, L.M. et S.J. Baker. 2010. Prolactin regulation of testosterone secretion and testes growth in DLS rams at the onset of seasonal testicular recrudescence. Reproduction 139: 197-207.

Sanford, L.M., J.K. Voglmayr, W.W. Vale et B. Robaire. 1993. Photoperiod-mediated increases in serum concentrations of inhibin, follicle-stimulating hormone, and luteinizing hormone are accentuated in adult shortened-scrotum rams without corresponding decreases in testosterone and estradiol. Biol. Reprod. 49: 365-373.

Sanford, L.M., J.S.D. Winter, W.M. Palmer et B.E. Howland. 1974. The profile of LH and testosterone secretion in the ram. Endocrinology 95: 627-631.

SAS Institute Inc. 2001. SAS User's Guide : Statistic, SAS for Windows, version 8.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Schanbacher, B.D. 1979. Increased lamb production with rams exposed to short day lengths during the nonbreeding season. J. Anim. Sci. 49: 927-932.

Schanbacher, B.D. 1988. Responses of market lambs and Suffolk rams to a stimulatory skeleton photoperiod. Reprod. Nutr. Dev. 28: 431-441.

Schanbacher, B.D. et D.D. Lunstra. 1976. Seasonal changes in sexual activity and serum levels of LH and testosterone in Finish Landrace and Suffolk rams. J. Anim. Sci. 43: 644-650.

Schoeman, S.J., C. Maree et G.C. Combrink. 1987. The relationship between testis size and stimulated plasma testosterone concentrations and its influence on mating performance in Dorper rams. S. Afr. J. Anim. Sci. 17: 63-69.

Stellflug, J.N., N.E. Cockett et G.S. Lewis. 2008a. The influence of breeding intensity on above- and below-average sexual performance rams in single- and multiple-sire breeding environments. Anim. Reprod. Sci. 104: 248-256.

Stellflug, J.N., G.S. Lewis, C.A. Moffet et T.D. Leeds. 2008b. Evaluation of three-ram cohort serving capacity tests as a substitute for individual serving capacity tests. J. Anim. Sci. 86: 2024-2031.

Sweeney, T., A. Donovan, F.J. Karsch, J.F. Roche et D. O'Callaghan. 1997. Influence of previous photoperiodic exposure on the reproductive response to a specific photoperiod signal in ewes. Biol. Reprod. 56: 916-920.

Tardif, S., M.-A. Sirard, R. Sullivan et J.L. Bailey. 1999. Identification of capacitation-associated phosphoproteins in porcine sperm electroporated with ATP-γ-32P. Mol. Reprod. Dev. 54: 292-302.

Thimonier, J. 2000. Détermination de l'état physiologique des femelles par analyse des niveaux de progestérone. Production Animale 13: 177-183.

Thimonier, J., Y. Cogné, N. Lassoued et G. Khaldi. 2000. L’effet mâle chez les ovins : une technique actuelle de maîtrise de la reproduction. INRA Prod. Anim. 13: 223-231.

Tulley, D. et P.J. Burfening. 1983. Libido and scrotal circumference of rams as affected by season of the year and altered photoperiod. Theriogenology 20: 435-448.

Whiteman, J.V., K.A. Ringwall et R.P. Wettemann. 1982. Factors related to ram fertility during May and June. Agric. Exp. Stn. Okla. State Univ. 112: 30-33.

CHAPITRE 4.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Le rythme de reproduction, correspondant au nombre d'agnelages/brebis/année, est généralement faible dans les entreprises ovines. La saisonnalité de la reproduction des ovins est responsable en grande partie de ce manque de productivité. La baisse de fertilité lors des accouplements en contre-saison (printemps et été) cause ainsi un ralentissement du rythme de reproduction global du troupeau et, en l'occurrence, bien des maux de tête aux producteurs. Pour contrer ceci, l'augmentation de l'efficacité des performances en contre-saison est donc une des avenues sur laquelle il semble essentiel de travailler.

Dans la présente étude, il a été possible, à l'aide de la préparation photopériodique des mâles, d'augmenter la prolificité lors d'accouplements en contre-saison sexuelle. Cette augmentation de la prolificité des brebis saillies par les béliers préparés en photopériode, comparativement à celles saillies par des béliers non préparés, a été de 0,25 agneau né/brebis. Ces résultats novateurs sont d'autant plus intéressants considérant que l'amélioration des résultats des accouplements en contre-saison est un des aspects sur lequel les efforts doivent se concentrer afin d'améliorer la situation financière des élevages. Il est toutefois important de mentionner que l'augmentation de la taille des portées s'accompagne généralement d'une variation d'autres paramètres zootechniques, tels que le taux de mortalité des agneaux, le poids des agneaux à la naissance, le taux de croissance des agneaux, le coût de l'alimentation des agneaux et des brebis, la densité de l'élevage et enfin, aspect non négligeable, le temps de travail. Toutefois, selon l'approche par modélisation de l'outil de simulation « Simulovins » de Demers Caron en 2010[7], l'augmentation de la prolificité de 1,5 à 1,8 agneau né/brebis/agnelage permettrait d'augmenter la marge brute annuelle d'une entreprise[8] de 9 166 $. Cette simulation correspond toutefois à une augmentation de prolificité de 0,3 agneau né/brebis/agnelage sur

[7] Demers Caron, V. Impact de la prolificité sur la rentabilité de l'entreprise ovine québécoise : approche par modélisation. 2010. Mémoire de maîtrise. Université Laval, Québec, QC, Canada.
[8] Simulation d'un troupeau de 500 brebis dans un système de production accéléré de 3 agnelages en deux ans.

une année entière, ce qui est différent de l'amélioration des résultats de prolificité attendue en contre-saison uniquement avec des béliers préparés en photopériode. Malgré cela, ce calcul indique qu'une amélioration considérable des résultats financiers d'une entreprise peut être le fruit d'une légère augmentation de la prolificité.

Dans la présente étude, l'augmentation de la prolificité des femelles accouplées avec des béliers préparés en photopériode obtenue en contre-saison pourrait dépendre des races des animaux utilisés. Les races Dorset (DP) et Suffolk (SU) ne sont pas des races considérées comme étant prolifiques. La moyenne d'agneaux nés/brebis/agnelage est de 1,52 pour la race DP et de 1,57 pour la race SU (CEPOQ, 2010[9]). Il est donc possible de se demander si cette augmentation de la prolificité en contre-saison serait encore plus prononcée avec des animaux de génotypes plus prolifiques. Une étude avec des femelles plus prolifiques aurait donc tout intérêt à être réalisée. Aussi, le fait d'étudier l'effet de la photopériode sur d'autres races ovines ne permettrait pas uniquement de valider si l'augmentation de la prolificité était bonifiée chez des génotypes plus prolifiques, mais permettrait également de valider que cet effet positif sur la prolificité se reproduit également chez d'autres races, puisque le cheptel ovin au Québec comprend plusieurs races et croisements.

Dans cette étude, la fertilité en contre-saison, quoi que non différente significativement entre les groupes de béliers, était tout de même supérieure de 9 % chez les brebis accouplées sur chaleurs naturelles avec les béliers préparés en photopériode. Cette différence pourrait également se traduire par des résultats économiques intéressants pour une entreprise ovine, puisque pour un troupeau de 500 femelles par exemple, 9 % de fertilité pourrait correspondre à 45 brebis gestantes supplémentaires. Ce nombre ou cette situation est non négligeable, surtout dans les entreprises qui recherchent une augmentation du rythme d'agnelage. De plus, ce pourcentage aurait pu être encore plus élevé puisqu'un des béliers du groupe LN est venu, en quelque sorte, masquer les résultats inférieurs obtenus par les autres béliers de son groupe lors des accouplements en contre-saison. Également, la CS des béliers préparés en photopériode a été plus élevée que celle des

[9] Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ). 2010. Programme d'évaluation génétique à domicile GenOvis. La Pocatière, QC, Canada.

béliers LN lors des accouplements en contre-saison. Cette différence est d'autant plus importante puisqu'une corrélation positive de 0,70 a été mesurée entre les résultats de fertilité de cet accouplement et la CS des béliers. Toutefois, cette corrélation n'a pas été observée lors des deux autres périodes d'accouplement. De plus, le nombre de béliers entrant dans le calcul de ces corrélations est relativement faible.

D'un point de vue pratique, l'évaluation de la CS et la préparation photopériodique (traitement seulement à l'automne et à l'hiver ou en continu) des mâles sont deux techniques qui pourraient être adoptées par les producteurs ovins pour améliorer les performances reproductives en contre-saison. En effet, puisque les résultats suggèrent qu'il n'y a aucun effet négatif à la préparation des béliers uniquement pour les accouplements en contre-saison, l'utilisation de la photopériode chez le bélier pourrait être utilisée seulement pour la préparation à ces accouplements.

De plus, il est intéressant de souligner que les surprenants résultats en contre-saison ont été obtenus après seulement six mois de préparation photopériodique (novembre à mai). Donc, une préparation photopériodique débutant en novembre, soit après les accouplements en saison sexuelle, serait suffisamment longue pour permettre à des béliers d'être « prêts » pour les accouplements en contre-saison sexuelle et ainsi espérer de meilleures performances. D'autre part, une plus longue préparation photopériodique aurait peut-être permis d'obtenir des résultats de fertilité et de prolificité encore plus marqués entre les groupes de béliers.

Dans le futur, certains programmes photopériodiques pourraient également être intéressants à étudier. Parmi ceux-ci, la photopériode fractionnée, qui consiste à exposer les animaux à un flash lumineux en guise de jours longs (JL), a obtenu, dans le cadre de recherches scientifiques, des résultats intéressants. Les travaux ayant étudié cette technique indiquent que la technique du flash lumineux est une technique efficace permettant de diminuer la durée d'éclairement en jours longs (JL) et ainsi de réduire les coûts d'électricité liés à ce protocole. Aussi, les programmes de photopériode en continu qui implique l'exposition à des JC de façon continue ont également fait l'objet de recherches

intéressantes. En effet, certains auteurs ont montré que l'état photoréfractaire n'était pas toujours présent de façon évidente chez le bélier, car le maintien pendant toute l'année de la fonction testiculaire ainsi que d'une bonne qualité de semence a été possible en exposant les béliers à une photopériode continue de JC.

À la suite de ces résultats prometteurs, il serait important de répéter ce protocole de photopériode avec d'autres races certes, mais également avec un effectif de béliers plus nombreux, afin de valider la reproductibilité de ces conclusions à plus grande échelle. Il serait également pertinent de vérifier les performances à plus long terme des béliers soumis à des traitements de photopériode en continu. Enfin, la solide expertise en récolte et en évaluation de semence que le projet a permis de développer pourra être mise à profit dans le futur.

Annexe A.

Évolution des paramètres de qualité de la semence

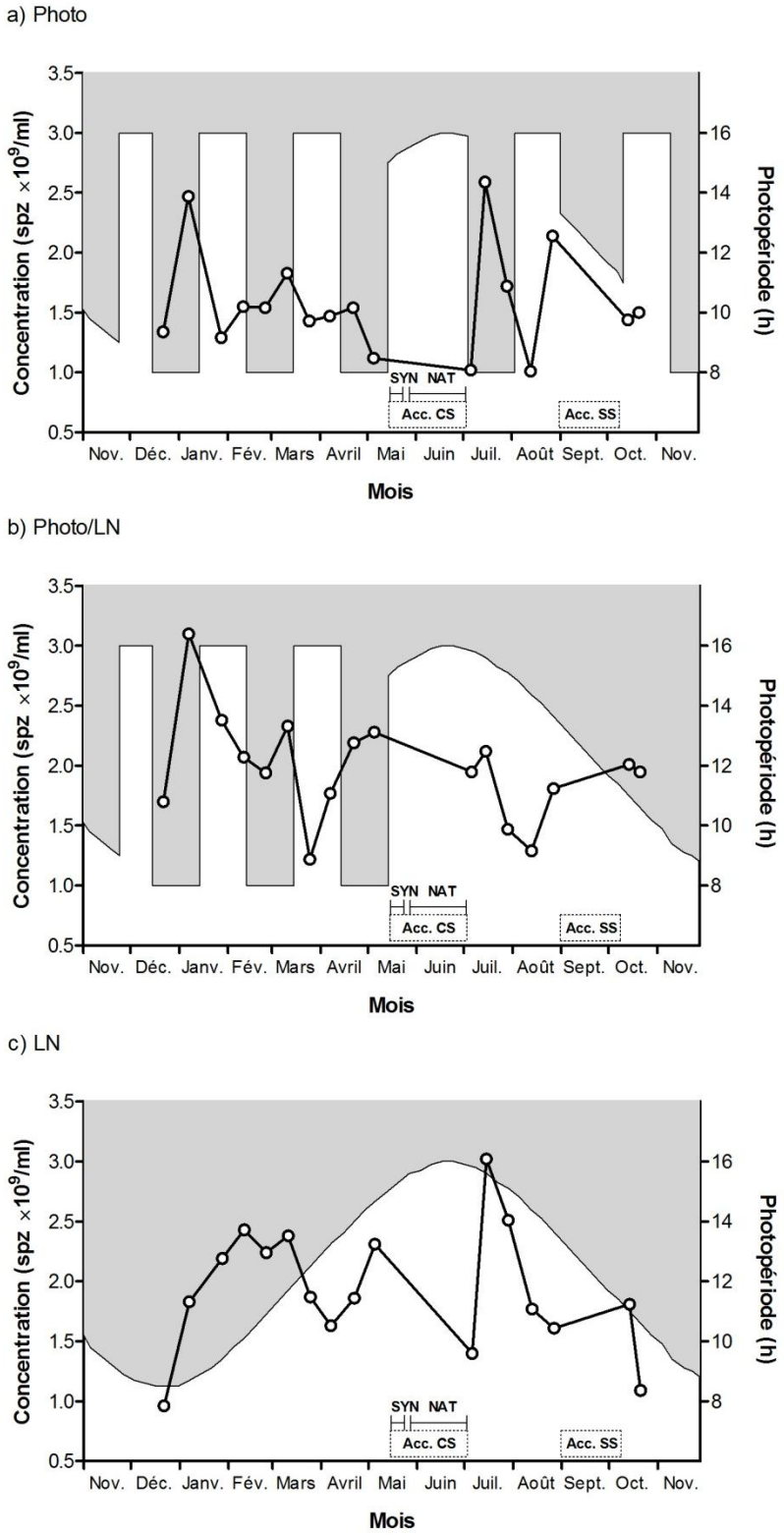

Figure A.1. Évolution de la concentration spermatique (—○—) des éjaculats selon le traitement photopériodique (—) appliqué

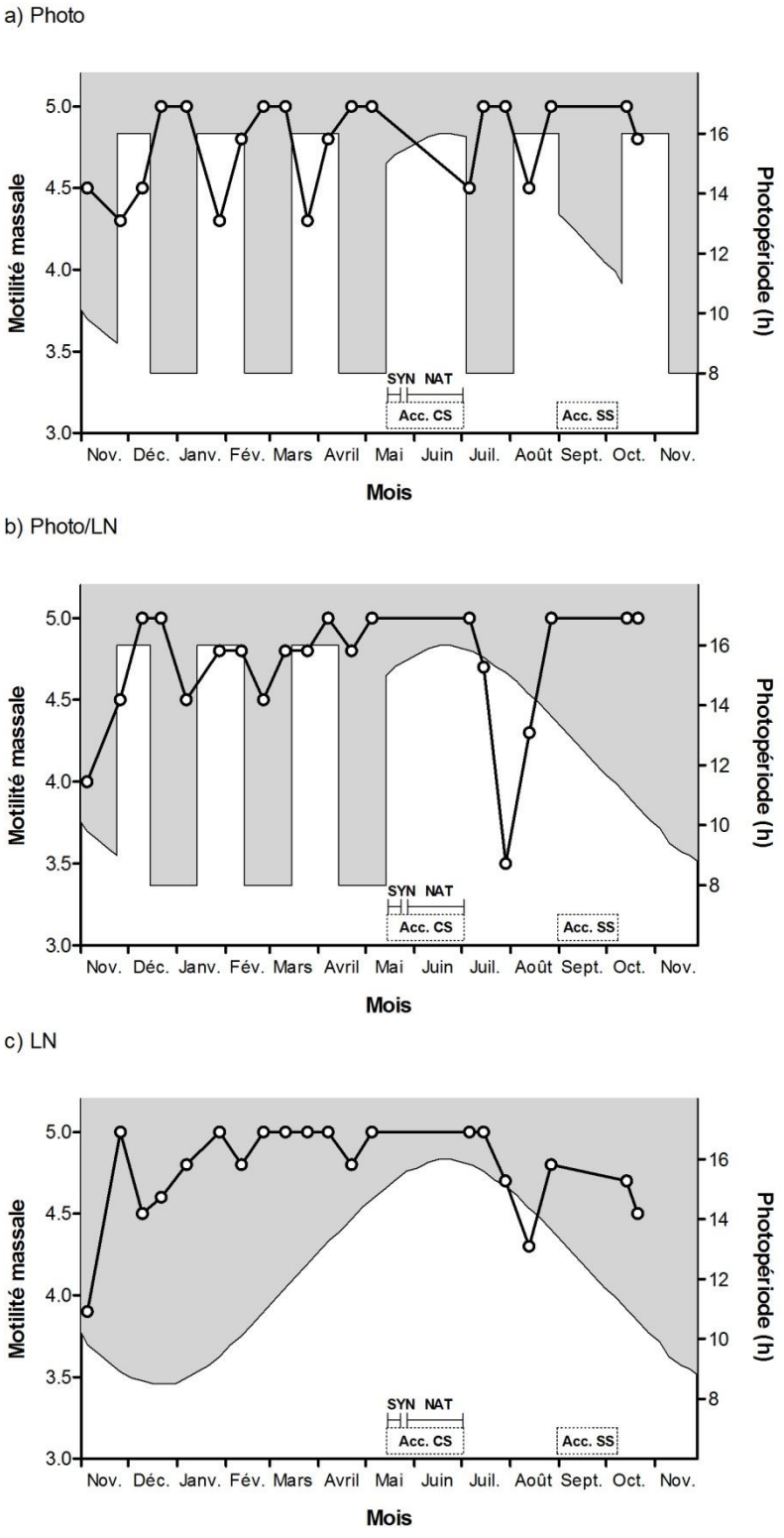

Figure A.2. Évolution de la motilité massale des éjaculats (—○—) selon le traitement photopériodique (—) appliqué

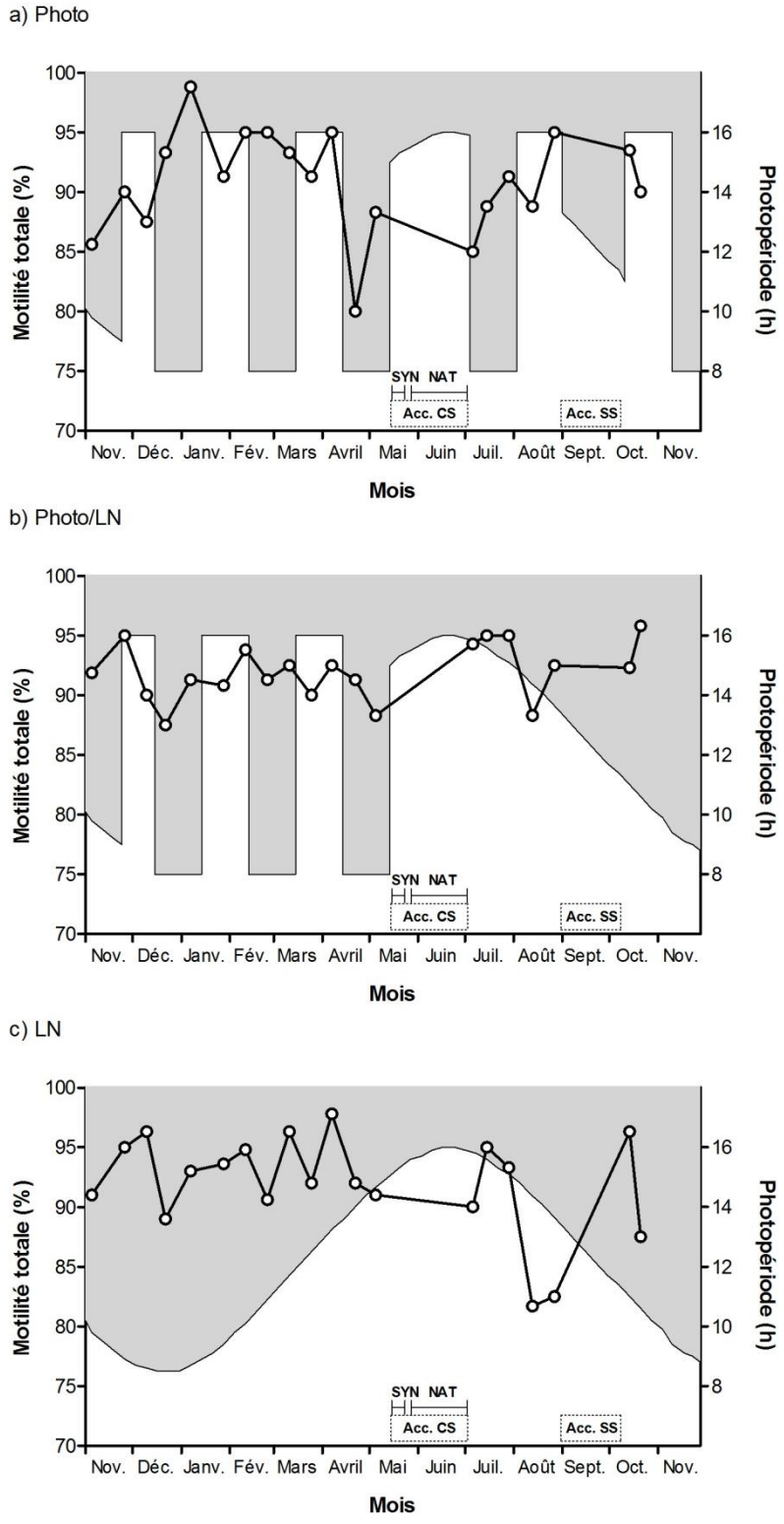

Figure A.3. Évolution de la motilité totale (—○—) des spermatozoïdes (semence fraîche) selon le traitement photopériodique (—) appliqué

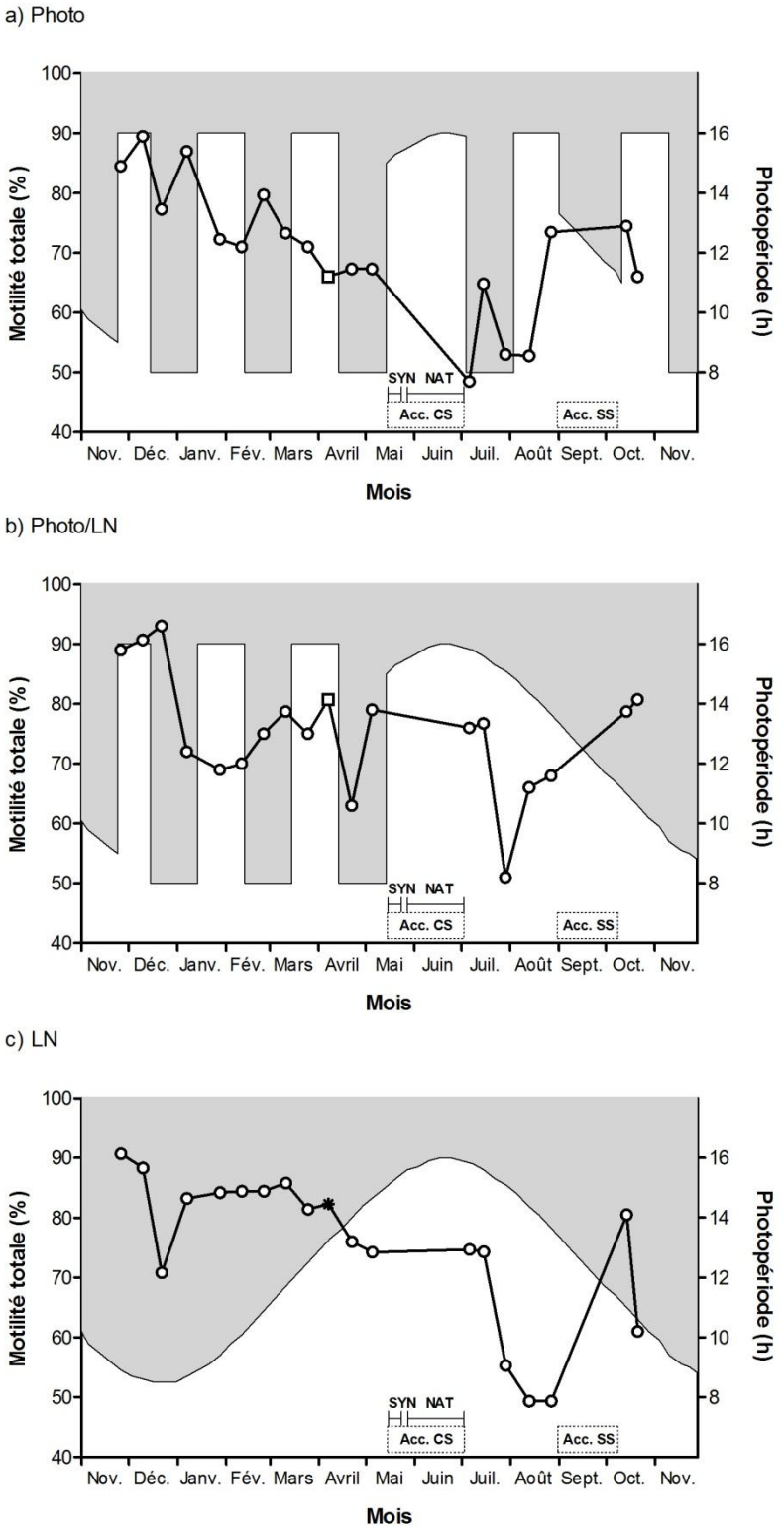

Figure A.4. Évolution de la motilité totale (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

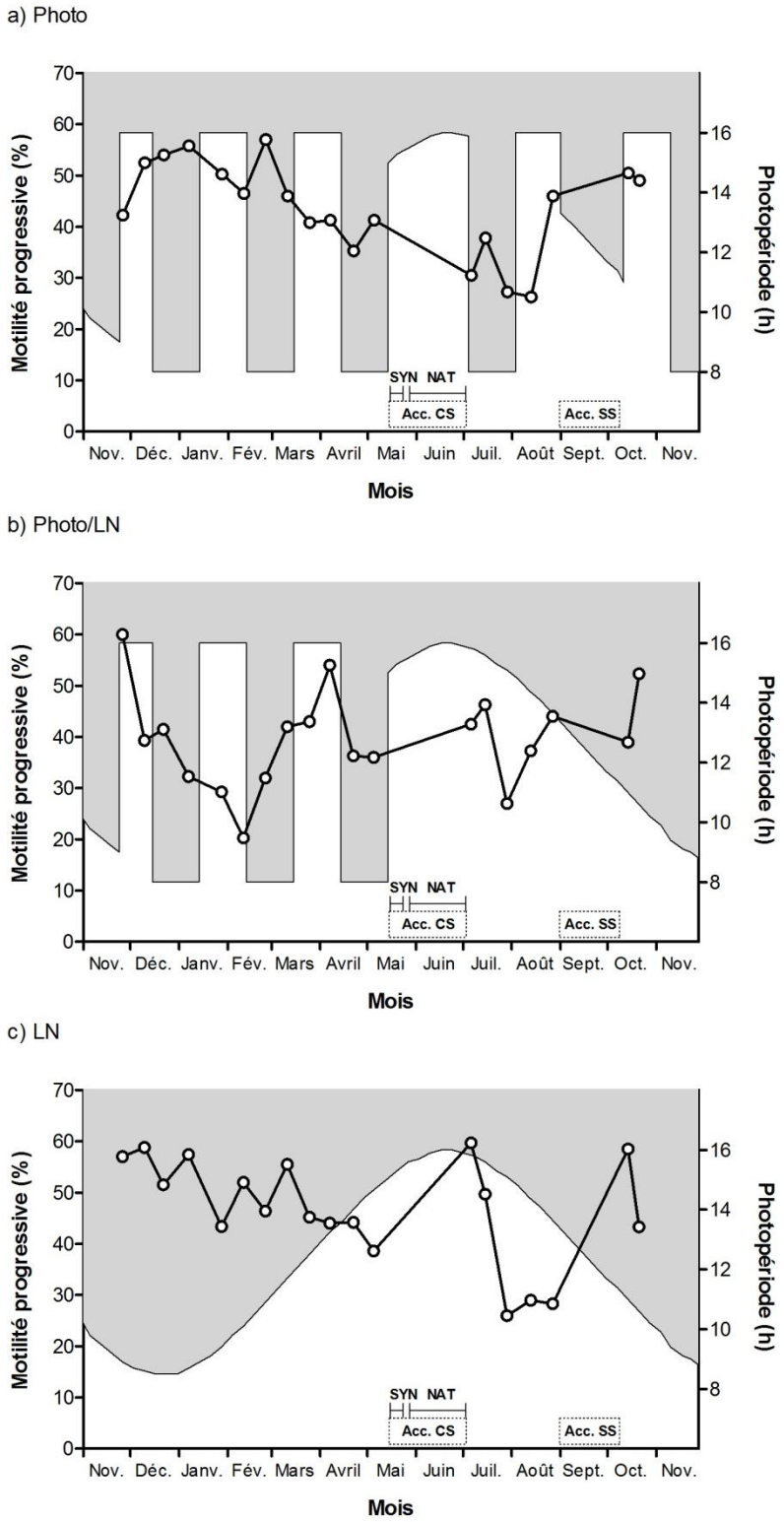

Figure A.5. Évolution de la motilité progressive (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

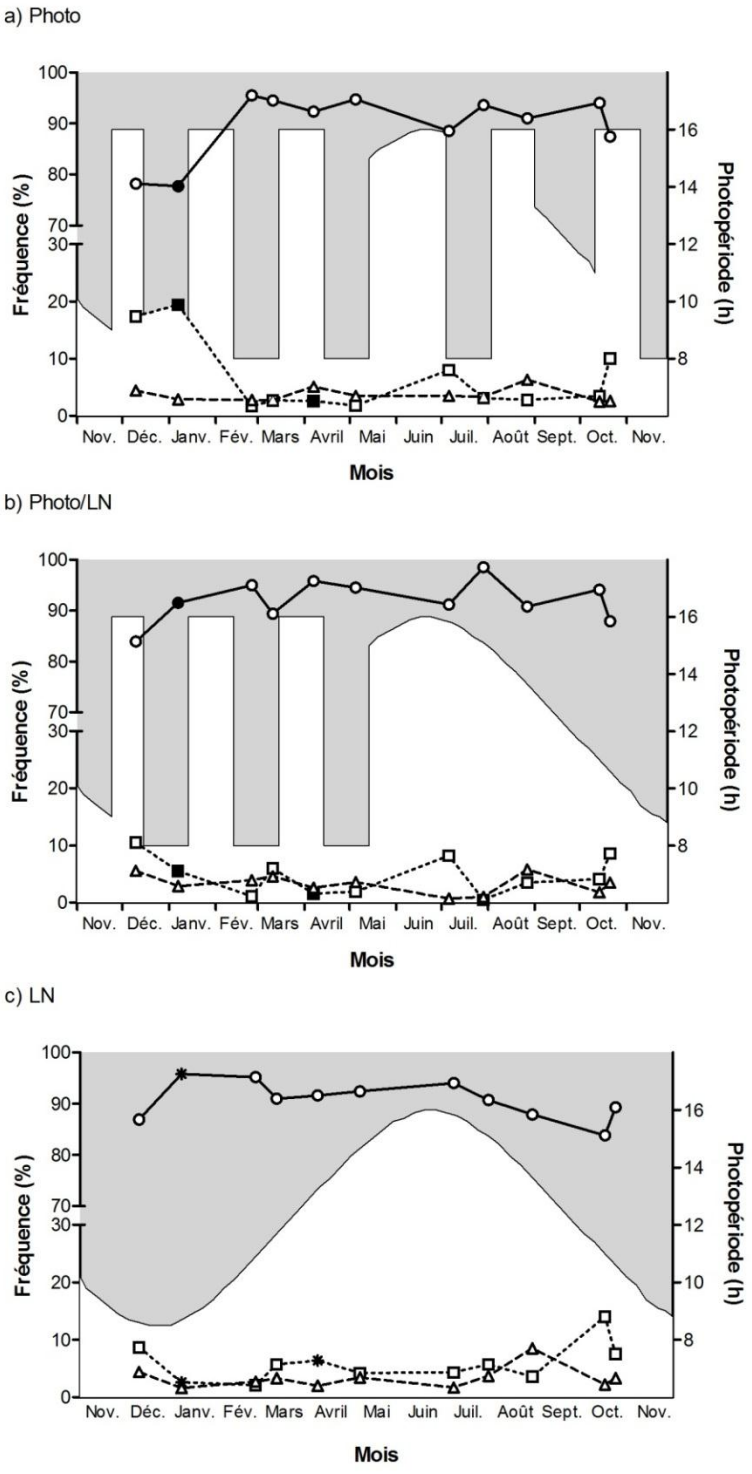

Figure A.6. Évolution des différents patrons de capacitation (F : non capacités (—○—), B : capacités mais n'ayant pas subi la réaction acrosomiale (—□—), AR : capacités et ayant subi la réaction acrosomiale (—△—)) des spermatozoïdes, selon le traitement photopériodique (—) appliqué. Effet traitement : ✱ vs • P < 0,05 et ✱ vs ◘ P < 0,10

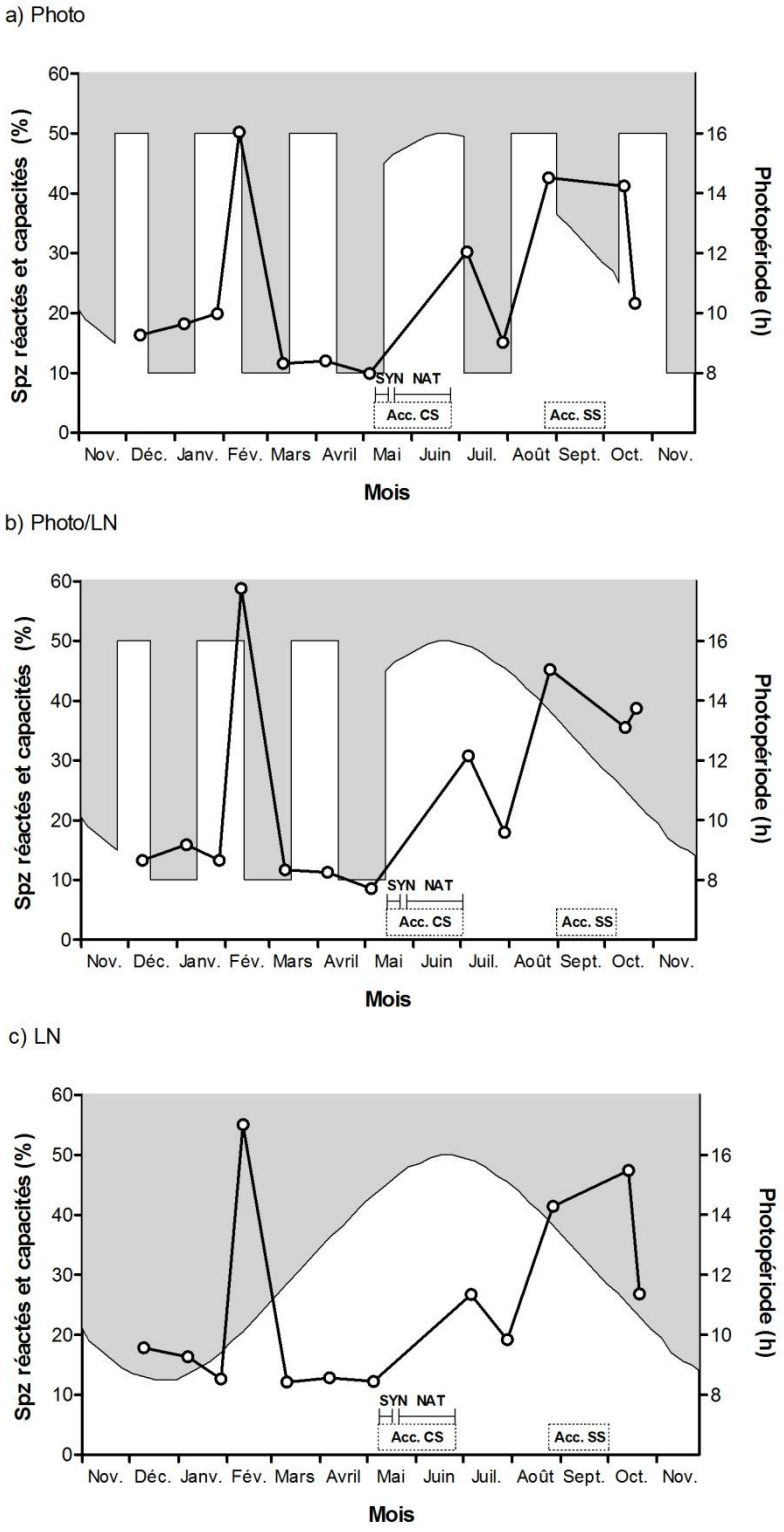

Figure A.7. Évolution du pourcentage de spermatozoïdes capacités et ayant subi la réaction acrosomiale (—○—), évalué par cytométrie en flux, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

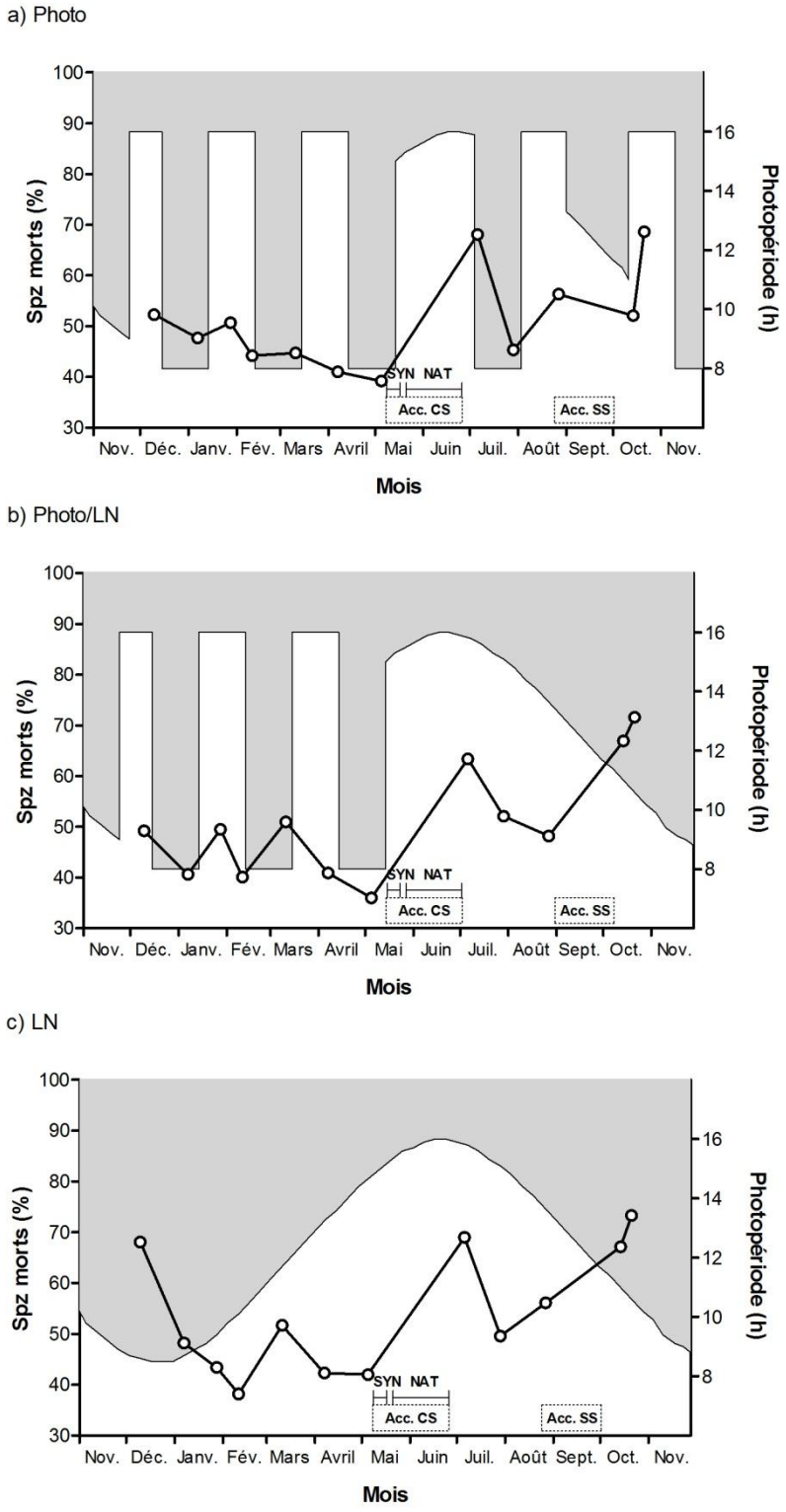

Figure A.8. Évolution du pourcentage de spermatozoïdes morts (—○—), évalué par cytométrie en flux, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

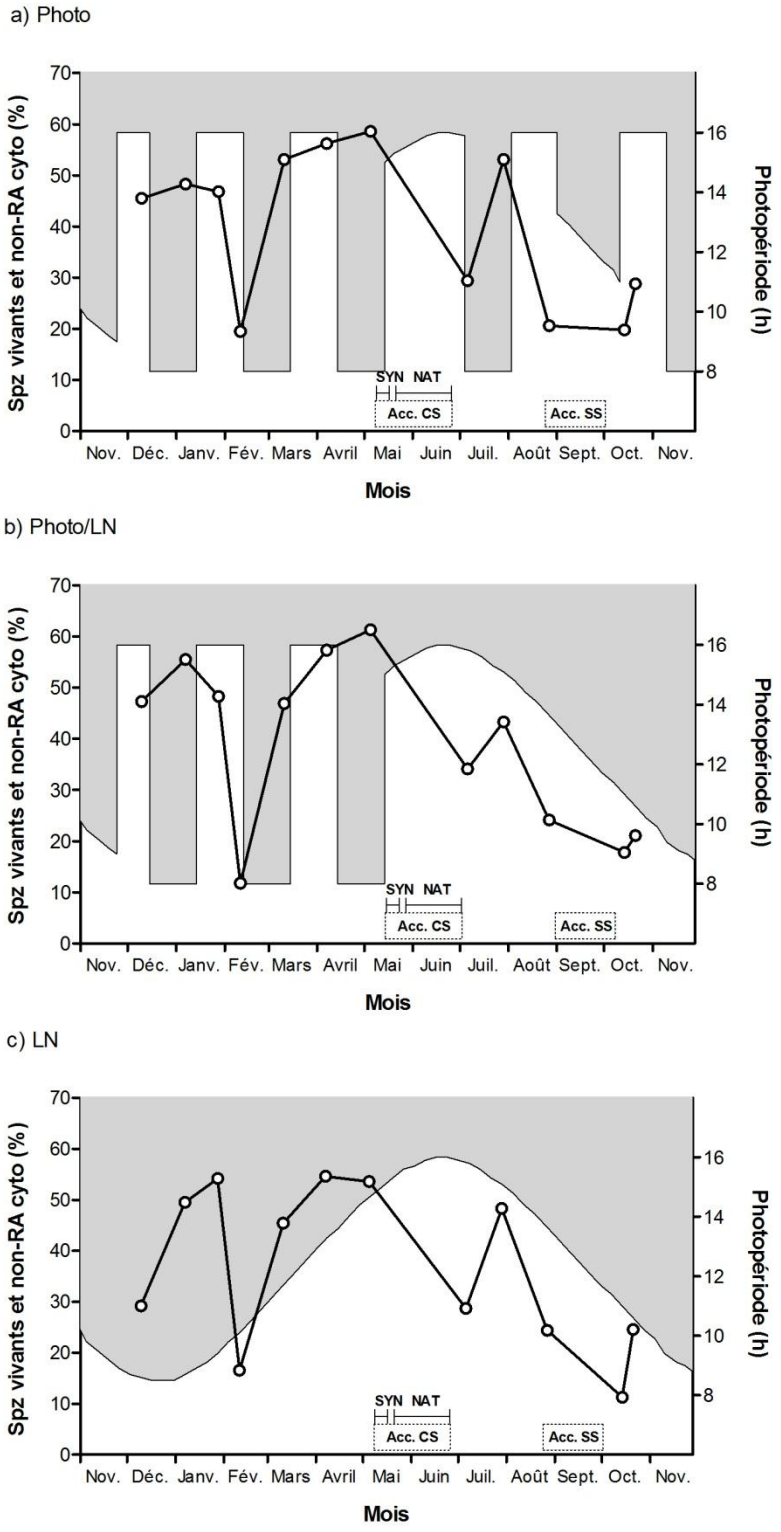

Figure A.9. Évolution du pourcentage des spermatozoïdes vivants et n'ayant pas fait leur réaction acrosomiale (non-RA) (—○—), évalué en cytométrie en flux, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

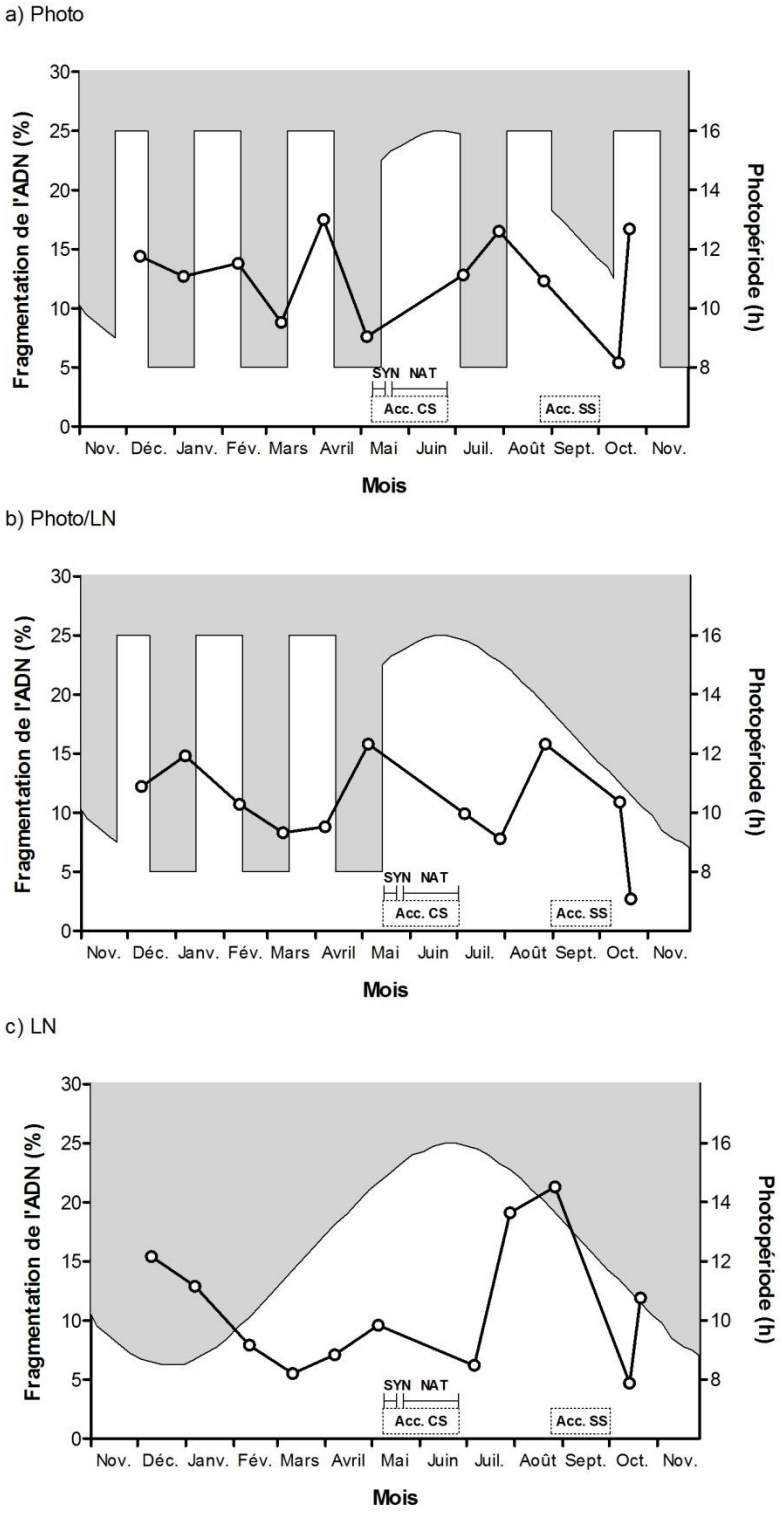

Figure A.10. Évolution de l'indice de fragmentation de l'ADN (—○—), évalué en cytométrie en flux, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

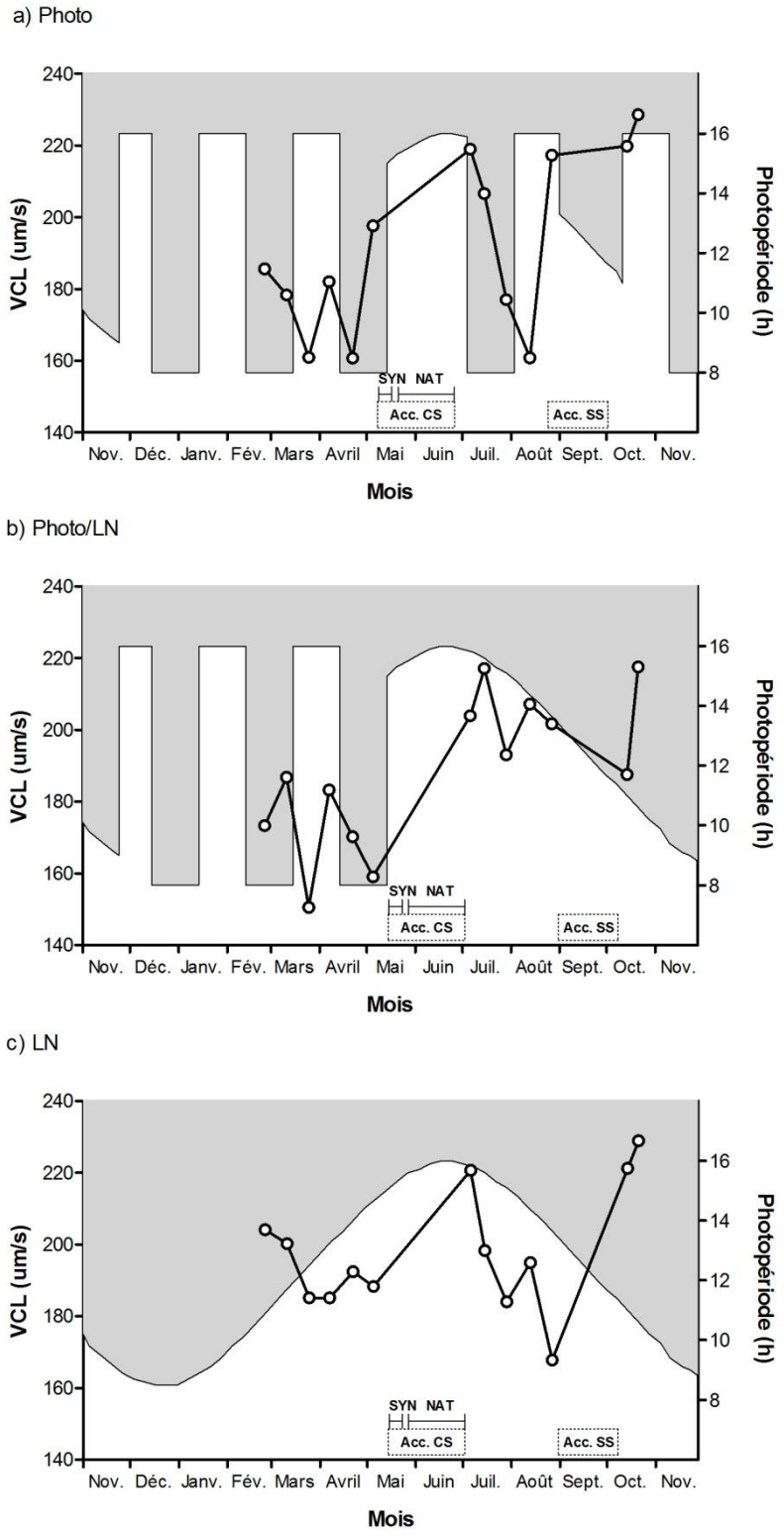

Figure A.11. Évolution de la vitesse curvilinéaire (VCL) (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

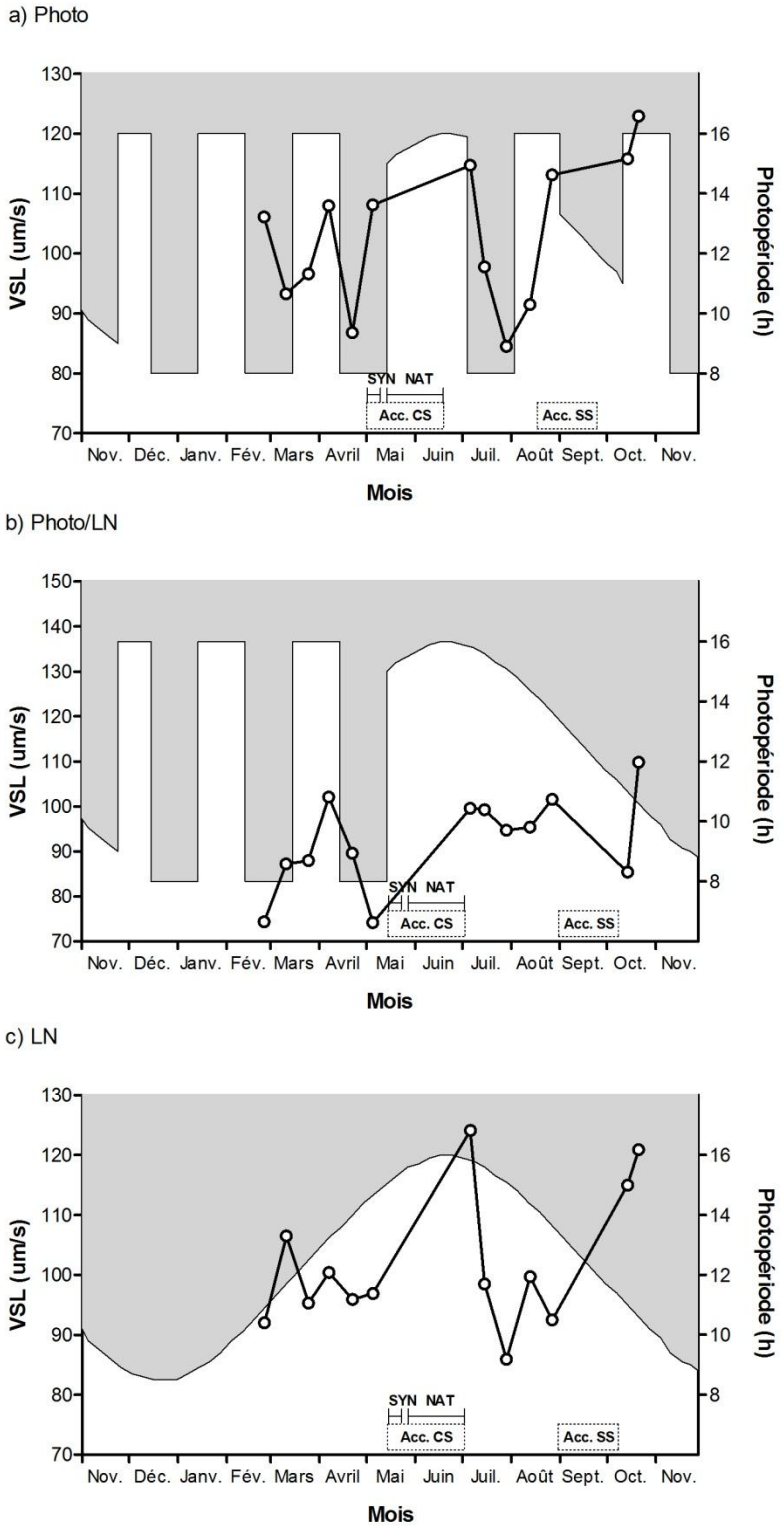

Figure A.12. Évolution de la vitesse de progression linéaire (VSL) (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

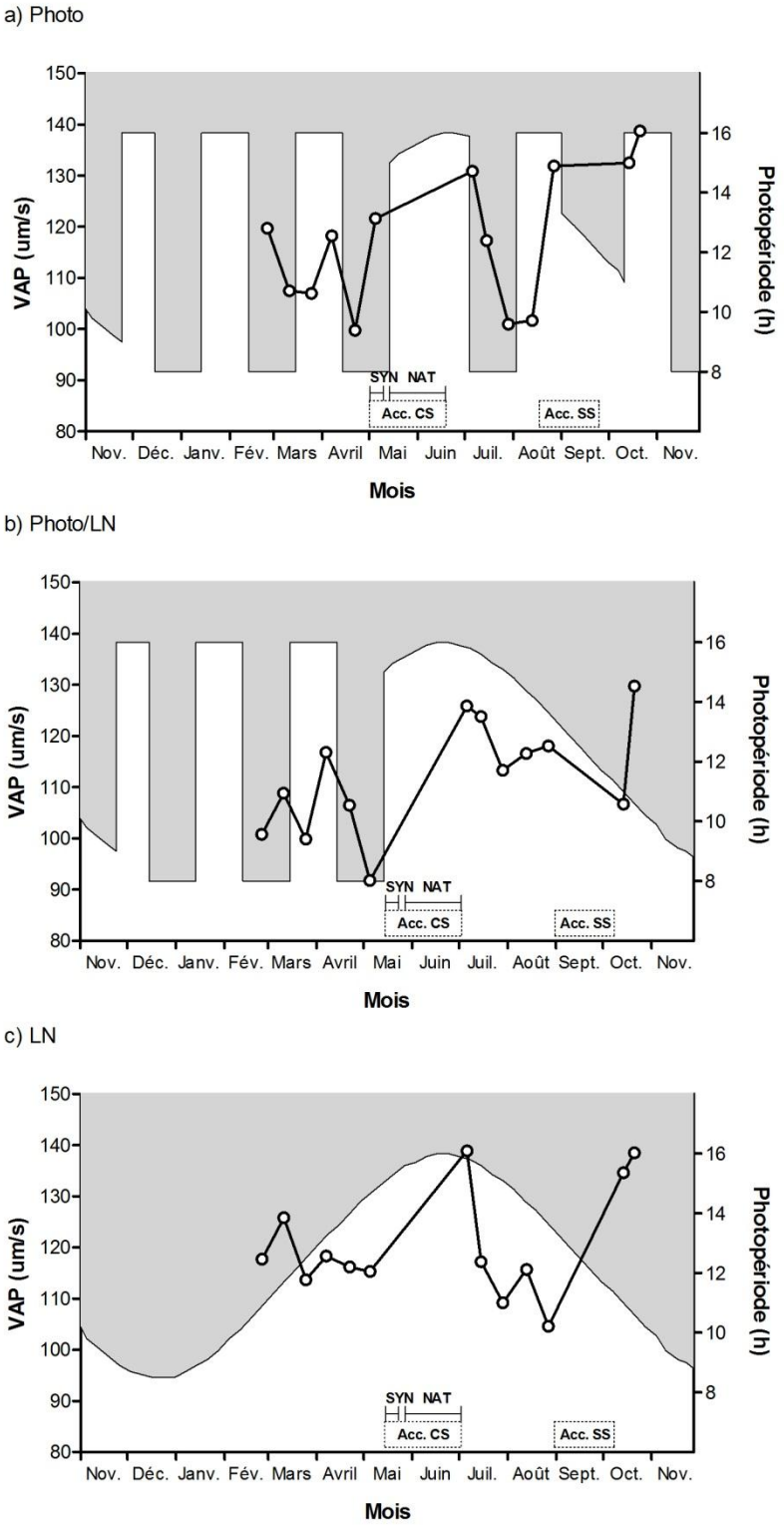

Figure A.13. Évolution de la vitesse moyenne sur le parcours lissé (VAP) (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

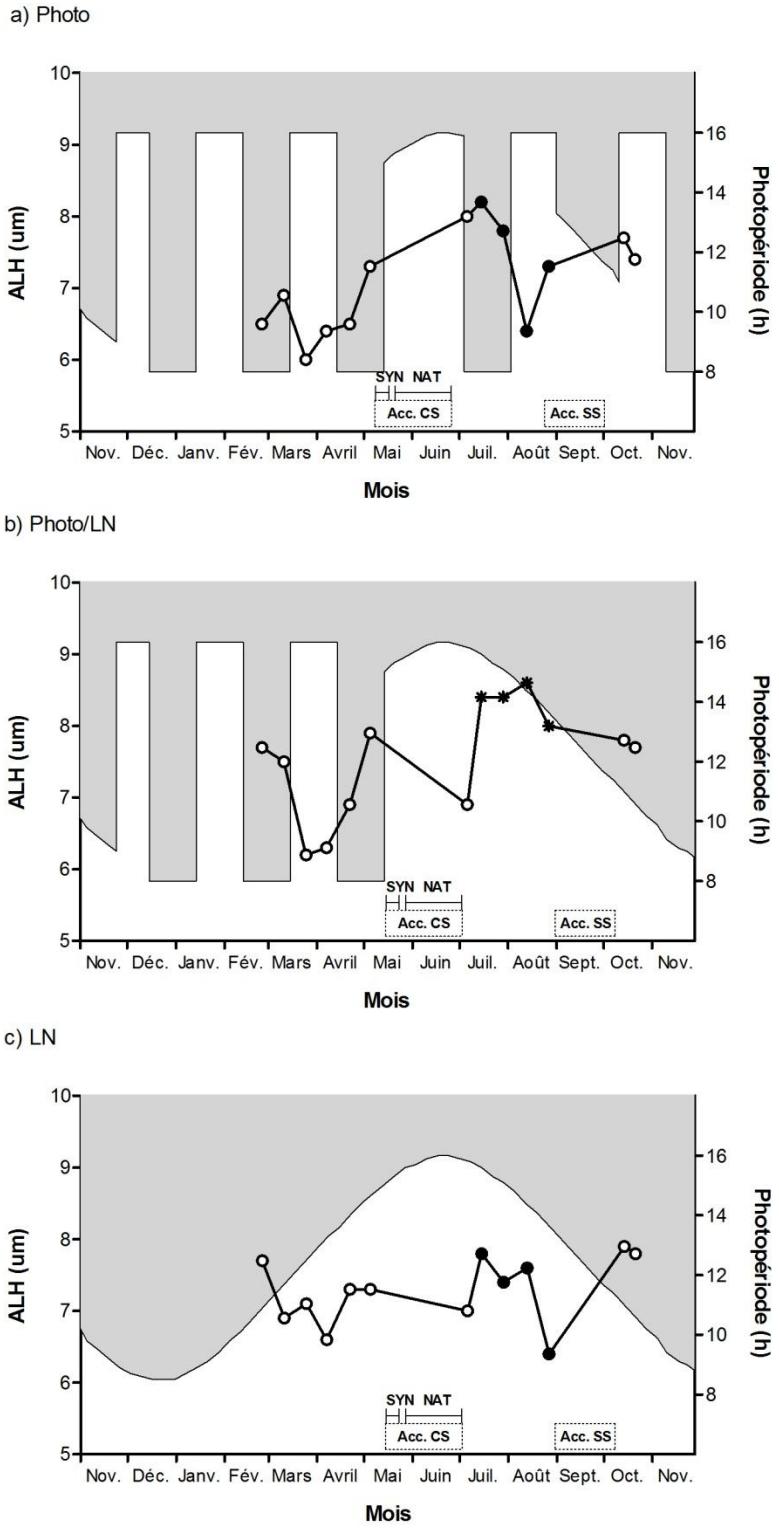

Figure A.14. Évolution de l'amplitude de battement latéral de la tête (ALH) (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué. Effet traitement : ❋ vs • P < 0,05

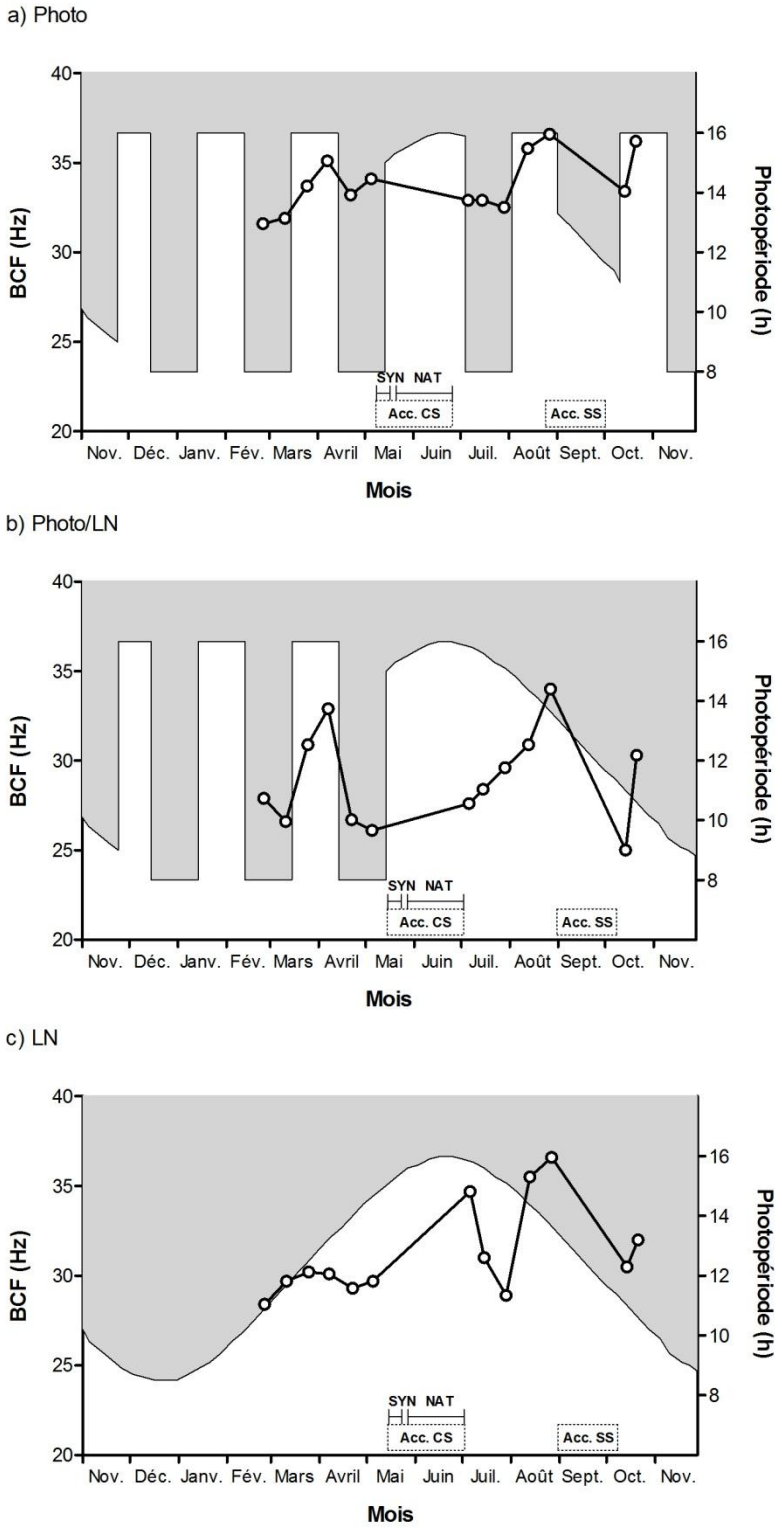

Figure A.15. Évolution de la fréquence de la trajectoire moyenne (BCF) (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

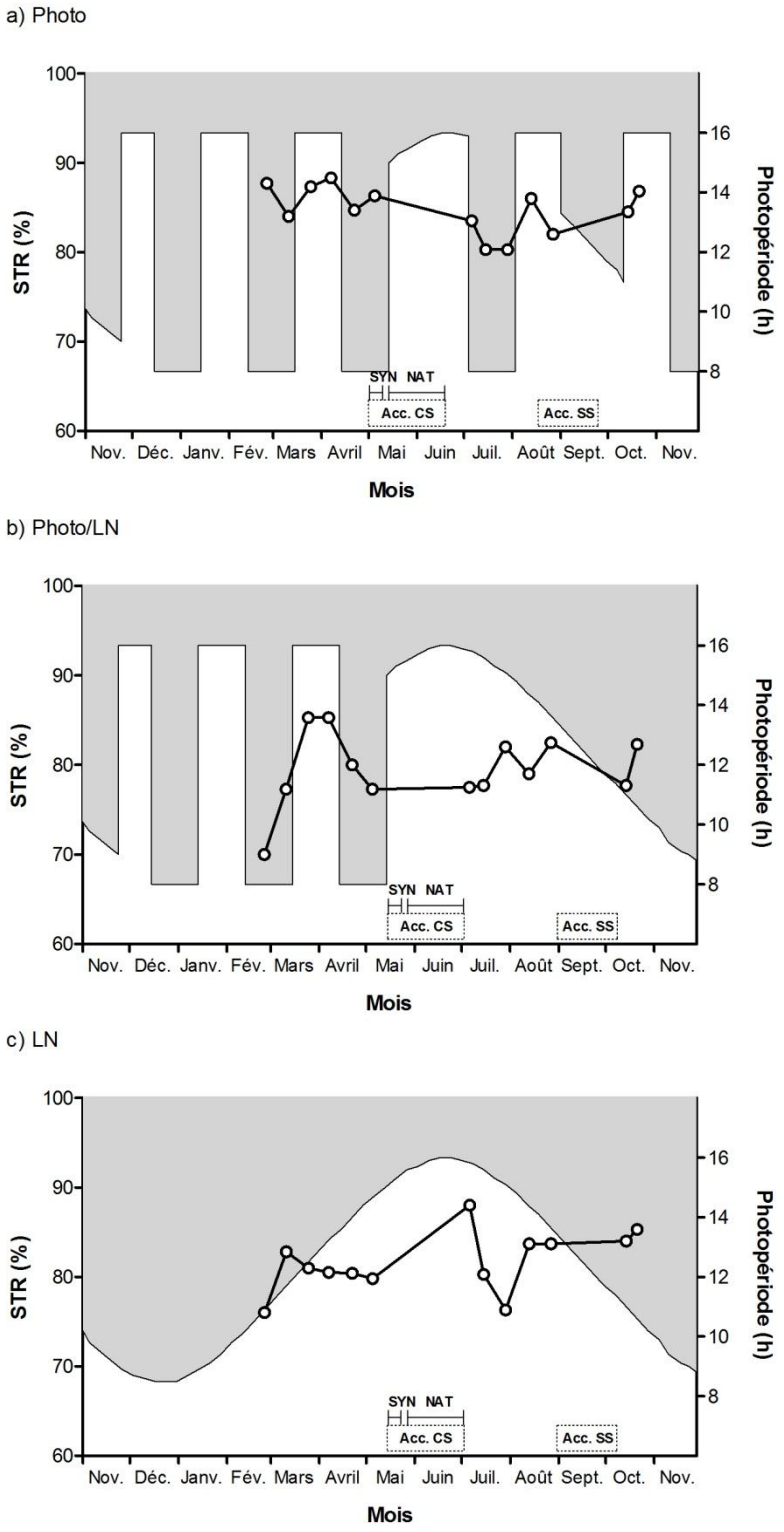

Figure A.16. Évolution de la rectitude de la trajectoire (STR) (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué

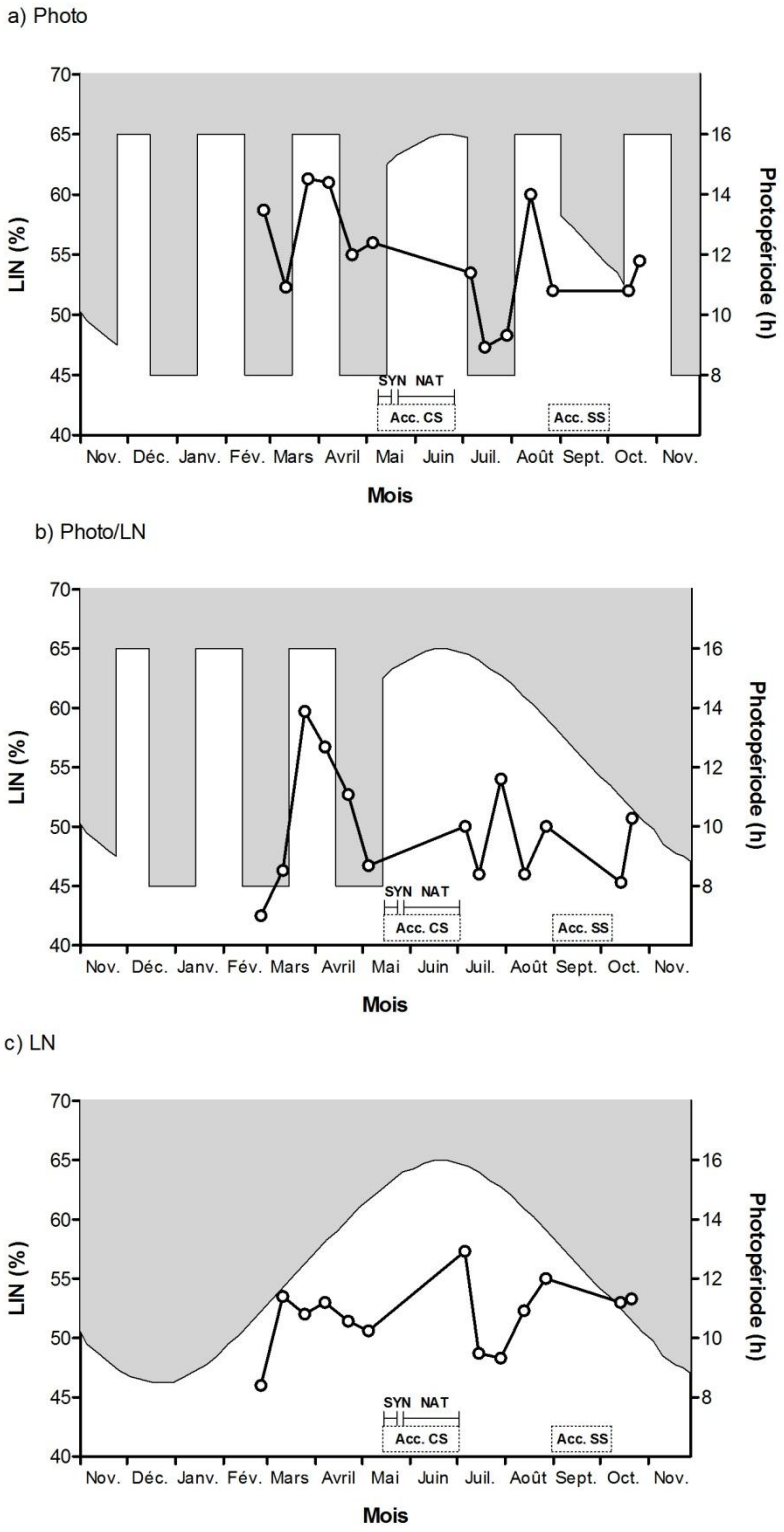

Figure A.17. Évolution de la linéarité de la trajectoire (LIN) (—○—) des spermatozoïdes, évaluée par le CASA, selon le traitement photopériodique (—) appliqué