

208THV  
XCLU BV PRST



208THV-1

**République algérienne démocratique et populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université SAAD DAHLAB Blida**  
**Faculté des sciences agro-vétérinaires et biologiques**

**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme**  
**Docteur vétérinaire**

**THEME**

**Etude bibliographique des mécanismes cérébraux impliqués dans les interactions des rythmes biologiques et cosmiques chez les animaux durant la reproduction.**

**Réalisé par:**

**M<sup>elle</sup> CHENAH Amina**

**Soutenu devant les membres du jury :**

**Mr : BERBER A, Chef de département et chargé de cours à SAAD DAHLAB..... Président**  
**Mme : BENSOLTANA D, Maître assistante à l'USTHB ..... Promotrice**  
**Mr : KELANEMER, Chargé de cours à SAAD DAHLAB..... Examineur**  
**Mr : YAHIMI, Chargé de cours à SAAD DAHLAB..... Examineur**

**Année Universitaire : 2006 - 2007**

# *Dédicace*

*De par cet humble travail ...  
De par la volonté, et l'espoir ...  
De par les incessants efforts ...*

*Je dédie ce mémoire à :*

*La mémoire de mes défunts grands-parents,  
Ma très chère Maman,  
Mon très cher Papa,  
Mon très cher Frère Ali,  
Mes très chères sœurs,  
Ma grand-mère,  
Tous les oncles et tantes,  
Tous les cousins et les cousines,  
Tous les enseignants,  
Tous les amis.*

# Remerciements

❖ Je remercie le bon Dieu, qui ma donné la force et le courage d'entreprendre et d'achever ce travail, et je le prie pour qu'il ne soit pas le dernier.

❖ Je remercie profondément et chaleureusement ma promotrice, Madame, Maître assistante BENSOLJANA D, de m'avoir prise en charge et soutenue, pour son extrême gentillesse, pour ces encouragements, pour sa grande patience et sa générosité à mon égard, tout le mérite lui revient.

❖ Mes sincères remerciements à Mr BERBER A, qui a accepté de présider mon jury, et son extrême gentillesse, et ces conseils durant tout le cycle universitaire.

❖ Je remercie tous les membres du jury, Mr KELANEMER ET Mr YAHJMI, un par un, de m'avoir accordé une partie de leurs temps, de s'être intéressés à mon sujet, et à leurs encouragements.

❖ Je remercie également, tous les professeurs des années précédentes, pour les efforts fournis pour nous transmettre leurs savoirs.

❖ A tous mes amis et à tous les étudiants qui liront ce mémoire, mes vifs et sincères remerciements leurs sont exprimés.

CHENAF Amina

## SOMMAIRE

Introduction	1-2
Objetif	3
<b>CHAPITRE I:Etude bibliographiue des rythmes biologique</b>	
<b>I- ORGANISATION DES RYTHMES BIOLOGIQUES :</b>	4
I-1- Classification des rythmes biologiques	4-5
I-2- Alternance jour/nuit influence et effet sur les animaux :	6
I-2-1- Rythmes circadiens :	6
A- le rythme d'activité des animaux :	6
B- L'adaptation à la vie nocturne :(La vue ,l'ouïe)	7-8
I-2-2- Rythmes circannuels : (Quelques exemples : Les migrations des oiseaux, L'hibernation, L'évolution du pelage et du plumage )	9
I-2-3- Effet de la nuit, la lumière, le champ magnétique sur les êtres vivant	10
A- L'effet de la nuit sur les êtres vivants	10/11/2012
B-les effets de la lumière solaire sur les êtres vivants :	13
C- L'effet du champ magnétique sur les êtres vivants	14
C-1) Le champ magnétique terrestre	14-15-16
<b>CHAPITRE II:Etude bibliographique de l'organisation neuro-anatomo-fonctionelle de l'interaction photopériode-reproduction</b>	
<b>I- ORGANISATION VISUELLE :</b>	17
I-1- La perception visuelle :	17
I-1-1- Définition	17
I-1-2- Le fonctionnement général	17
I-1-2-1-Les photorécepteurs : Les cônes et les bâtonnets	17
A- Le fonctionnement	18
B- Les différentes répartitions des cônes et des bâtonnets	19-20
I-1-2-2- Le câblage de la rétine	21
A- Câblage général	21
B- Différents types de câblage	21-22-23-24
I-2-Chez les animaux	24
I-2-1- les différentes perceptions et leurs buts	25-26-27
I-2-2-Exemple de la vision chez certains êtres vivants	28-29-30-31-32
<b>II- ORGANISATION NEUROVISUELLES</b>	33
II-1- Les horloges biologiques	33-34-35
A- Rôle et fonctionnement des noyaux supra chiasmatique	35
A-1-Role et influence des NSC	35-36
A-2-Fonctionnement des NSC	36-37-38-39
B- Des hormones donneuses de temps	40
B-1-Identification de la mélatonine	40
B-2-Synthèse de la mélatonine	41-42
B-3-L'hormone adrénocorticotrope	43-44
C-La reproduction	45
C-1-Définition de la reproduction	45-46
C-2- Le cycle sexuel de la vache (non saisonniers)	
C-3- Rythmes saisonniers de reproduction chez les animaux domestiques : modèles d'étude et applications élevage	47-48-49-
<b>CHAPITRE III:Quelques travaux réaliés par différents chercheurs concernant l'étude</b>	
<b>I- TRAVAUX RÉALISÉS SUR LA VISION</b>	50
I-1-La rétine neurale: entrée neuro-sensorielle du cycle circadien	50
I-2-Des profils d'expression des transcrits du gène nocturnin dans la rétine d'une souris atteinte de dégénérescence photorécepteurs	50
I-3- La suppression des bulbes olfactifs modifie la période et l'entraînement par la lumière des rythmes circadiens chez un primate	51
<b>II- TRAVAUX RÉALISÉS SUR LE NSC</b>	
II-1-Analyse structurale des noyaux suprachiasmatiques chez deux rongeurs : La gerbille et la souris en photopériode standard : 12L / 12D	52
II-2-Les feuillets intergéniculés latéraux (FIL) ne sont pas nécessaires à l'inhibition de l'hibernation par l'activité de roue chez le Hamster doré :	53
II-3- Construction de signaux saisonniers par les NSC	54-55
<b>III- TRAVAUX RÉALISÉS SUR LA REPRODUCTION</b>	56
III-1-Photopériodisme et reproduction chez les caprins	56

III-1-1- Variations saisonnières d'activité sexuelle	56-57-58
III-1-1-1-Saisonnement des activités oestrienne et ovulatoire chez la chèvre	59-60-61
III-1-1-2- Saisonnement de l'activité sexuelle chez le bouc	62
III-1-2- Contrôle de l'activité sexuelle par les changements de la photopériode	62
III-1-2-1- Entraînement photopériodique de l'activité sexuelle	62
III-1-2-2- Rôle de la mélatonine dans le contrôle photopériodique de l'activité sexuelle	63
III-1-3- Principes d'utilisation et conditions d'application des traitements photopériodiques chez les caprins	64
III-1-3-1-Principes généraux propres aux traitements photopériodiques	65-66
III-1-3-2- Nécessité d'utiliser l'alternance "jours longs"- "jours courts"	67
III-1-3-3-Nécessité d'utiliser "l'effet bouc" avec des mâles traités	68
III-1-4-Caractéristiques des traitements et résultats obtenus chez les chèvres	68
III-1-4-1-Durée du traitement "jours longs"	69
III-1-4-2-Traitement "jours courts" et dose de mélatonine	
III-1-4-3-Intervalle fin de "jours longs"- introduction des boucs, répartition des saillies fécondantes :	70
III-1-4-4- Association avec des traitements hormonaux "classiques" (éponges + PMSG) pour mise en place de l'IA	71
III-1-4-5- Effets sur l'ingestion et la production laitière des chèvres :	72
III-1- 5- Traitements photopériodiques des boucs	72
III-1-5-1-Traitements utilisables en ferme	72
III-1-5-2-Traitements utilisables dans les centres d'insémination artificielle	72-73-74
IV-TRAVAUX RÉALISÉS SUR LES HORMONES :	75
IV-1- Influences de la mélatonine et de la testostérone sur l'activité circadienne chez des males de caillies japonaise	75
IV-2-Variations saisonnières des hormones stéroïdes sexuelles chez le lapin domestique <i>Oryctolagus cuniculus</i> :	76
Discussion	77-78-79-81-82-83
Conclusion	84-85-86
Glossaire	
Références bibliographiques	
Annex	

## ABRÉVIATION

INDICES	DEFINITION
<b>LD</b>	Light darkness (lumière obscurité)
<b>DD</b>	Darkness (obscurité complète)
<b>JL</b>	Jours longs
<b>JC</b>	Jours courts
<b>IA</b>	Insémination artificielle
<b>PC</b>	Photopériode courte
<b>NA</b>	Noradrénaline
<b>VP</b>	Vasopressine
<b>VIP</b>	Vasoactive intestinal peptide
<b>GRP</b>	Gastrin releasing peptide
<b>NVP</b>	Noyau paraventriculaire
<b>NSC</b>	Noyau supra-chiasmatique
<b>FIL</b>	Feuillets intergéniculaires latéraux
<b>GnRH</b>	Gonadotropin-Hormone Releasing Hormone
<b>HIOMT</b>	Enzyme hydroxyindole-o-méthyltransférase
<b>ACTH</b>	Hormone corticostimuline
<b>FSH</b>	Hormone folliculostimulante
<b>LH</b>	Hormone lutéinisante
<b>5 HT</b>	5-hydroxy-triptamine
<b>GABA</b>	Acide gamma-aminobutyrique
<b>CRH</b>	Hormone de libération de la corticostimuline
<b>Capri IA</b>	Centre coopératif de production de semence caprine
<b>RT-PCR</b>	Technique de base de la biologie moléculaire
<b>LA</b>	Activité locomotrice
<b>Tb</b>	Body temperature (température corporelle)
<b>P.M.S.G.</b>	Hormone gonadotrope sérique de jument gravidé, terme anglais : gonadotropine from pereggrant mares



*INTRODUCTION*

Les rythmes biologiques ont longtemps été considérés comme un simple asservissement de nos fonctions vitales au milieu extérieur, et la prévalence au début du siècle du concept de constance du milieu intérieur en physiologie a fait que ce n'est que très récemment qu'une physiologie des rythmes s'est mise en place et s'est développée et (Boissin, 1988).

Même si des les années (1920-1930) des résultats majeurs furent apportés, de l'avis général; l'acte de naissance de la science des rythmes biologiques est daté de 1960 (cold spring Harbor Symposium-biological clocks, New York).

Depuis cette date le développement des recherches fut, et est toujours explosif, et dès lors des études systématiques précises de l'organisation temporelle des fonctions, la tentation de constituer une discipline scientifique individualisée ayant une méthodologie propre, et des buts précis s'est fait jour dans les années (1970-1980). Très vite toutefois il est apparu que les « rythmes biologiques correspondaient à une dimension particulière de la physiologie » qui devait être abordée par les scientifiques au sein de leurs disciplines respectives (Pévet, 2002): endocrinologie, neurologie, étude des comportements, physiologie cellulaire, biologie moléculaire etc.....

L'approche pluridisciplinaire est nécessaire à la compréhension des mécanismes impliqués et peu de disciplines peuvent se vanter de rassembler des chercheurs d'horizons aussi divers; associant des biologistes, des médecins, des vétérinaires, des physiciens spécialistes du traitement du signal ou de la modélisation.

En fait, les rythmes journaliers et saisonniers observés dans les processus biologiques, physiologiques et comportementaux sont une donnée fondamentale de tous les êtres vivants (végétaux et animaux allant de l'organisme unicellulaire à l'homme). Pour survivre, les êtres vivant doivent s'adapter et anticiper les changements physiologiques de l'environnement (cycle jour/nuit, variations climatiques associées aux saisons). Les rythmes biologiques reflètent donc la nécessité pour certains événements de se produire de façon optimale à un moment précis du jour ou de l'année. Le cycle veille/sommeil, le cycle d'activité locomotrice (diurne ou nocturne selon les espèces), l'involution et la reprise de l'activité sexuelle au cour de l'année, le cycle d'hibernation, les cycles



métaboliques sont des exemples précis de ces processus physiologiques d'adaptation (Pévet.2002).

L'existence des rythmes participe à l'autonomie de l'être vivant en lui permettant de vivre en symbiose avec son environnement. A ce titre, l'étude des rythmes biologiques peut se rattacher à la physiologie, et, comme elle concerne tous les organismes vivants, à la physiologie comparée. Cependant, les mécanismes fonctionnels utilisés à cet effet par les êtres vivants sont commandés par des systèmes temporels internes, dits « horloges biologiques ». Un certain nombre de ces horloges sont désormais identifiées.

Chez les mammifères, dont l'homme, l'une d'elles est situé au niveau des noyaux suprachiasmatiques (NSC) du cerveau (Veilleux, 2002). Un exemple clé de l'action de cette horloge interne est la production de mélatonine (du grec melas, « noir », et tonos, « tension »), car cette hormone est principalement sécrétée la nuit, d'où son nom d'« hormone du noir ». La lumière captée par la rétine est transportée sous forme d'influx nerveux jusqu'aux NSC, d'où elle est transmise à une petite glande endocrine, la pinéale, qui produit la mélatonine. Découverte en (1958) seulement par Aaron Lerner, de l'école de médecine de Yale, la mélatonine constitue pour les scientifiques un vaste champ de recherches, d'applications et souvent de divergences.

Les rythmes biologiques rattachés à chaque être vivant sont également influencés par des signaux provenant de l'environnement extérieur. Les spécialistes leur ont donné le nom de « synchroniseurs » ou, plus scientifiquement, de Zeitgeber, « donneurs de temps ». Le synchroniseur principal est celui qui est le plus stable et le plus précis.

Pour les rythmes biologiques de nombreuses espèces animales et végétales, le principal synchroniseur est l'alternance de la lumière et de l'obscurité (suivant une période de vingt-quatre heures sous nos latitudes) ; il est marqué par des signaux clairement perceptibles, comme l'aube et le crépuscule.

Il existe plusieurs autres synchroniseurs dont les actions s'additionnent. Les cycles de veille et de sommeil, les variations de température extérieure, les bruits, les odeurs, etc., sont autant de signaux des synchroniseurs.

## **L'objectif de notre étude bibliographique est d'étudier :**

❖ Grâce à une analyse synthétique et comparative des travaux de recherche réalisés sur le domaine étudié.

🌈 Les rythmes biologiques, en particulier les mécanismes cérébraux mis en jeu par l'organisme animal pour s'adapter aux variations astronomiques, journalières et saisonnières de l'environnement.

🌈 La maîtrise de la reproduction des différentes espèces de mammifères domestiques d'intérêt zootechnique en fonction des contraintes socio-économiques des différents systèmes d'élevage; par le développement de traitements utilisant la photopériode et la mélatonine.

### **On porte l'accent sur :**

1- Les mécanismes rétiniens sous-jacents mis en jeu lors de l'intégration du message lumière/obscurité qui permettent l'entraînement de l'horloge centrale et sa synchronisation avec cycle jour/nuit.

2- Les mécanismes impliqués en chronobiologie et à priori la photoreception liée à la photopériode.

3- L'information du trajet ou cheminement de ces rayons pour déclencher l'élaboration des éléments répondant aux rythmes et stimulant le déclenchement des hormones.

4- Les afférences et efférences optiques et nerveuses « rythmiques » traduits codés et; utilisés par l'horloge pour distribuer les messages temporels à l'organisme

### **❖ On prédit :**

La modalisation schématique des éléments définis cérébraux intervenant dans la réalisation fondamentale de l'interaction de la réponse de l'horloge biologique; à la stimulation lumineuse périodique et l'induction sélective de la reproduction.

*CHAPITRE I :*

*LES RYTHMES BIOLOGIQUES*

# I- ORGANISATION DES RYTHMES BIOLOGIQUES :

## I-1- Classification des rythmes biologiques :

Les rythmes biologiques peuvent être classés selon de nombreux critères (Cugini, 1993).

### a- Classification physique :

Cette classification est basée sur la longueur de la période d'oscillation (tab.1)

Tableau (1) – Classification temporelle des rythmes biologiques :

Domaine	Ultradien	Circadien	Dien	Infradien	Circaseptien	Circadiseptien	Circatrigintien	Circannuel
Période	< 20h	24 +/- 4h	24+/-2h	>28h	7 +/- 3j	14 +/- 3j	30 +/- 5h	1 a +/- 2m

(+/-) plus ou moins -, h : heure, j : jours, a : année, m : mois.

Les rythmes qui ont une période d'oscillation de 24 +/- heures sont définis comme "Circadien" (de Circa dies, c'est à dire, à peu près un jour). Les événements cycliques avec une période de moins de 20 heures ou plus de 28 heures sont dit respectivement "Ultradiens" et "Infradiens".

### b- Classification mathématique :

L'examen de phénomène rythmique dans la matière organique révèle qu'il existe des événements qui se répètent après un certain laps de temps à des occurrences isolées. Il y a des "rythmes qualitatifs, ponctuels, discrets ou épisodiques" qui expriment par une condition binaire, c'est à dire, présent ou absent, selon un ou un non-événement. Par exemple le cycle menstruel, (Cugini, 1988)

Les rythmes qualitatifs sont descriptibles mathématiquement en terme de quantités finies (0 ou 1) et comptés comme des fréquences numériques. Ainsi, les rythmes qualitatifs peuvent s'appeler aussi "rythmes fréquentiels".

Dans les organismes vivants on peut remarquer que plusieurs phénomènes se répètent comme des événements qui varient dans un "continuum". C'est à dire, que le phénomène est toujours présent et mesurable, bien que changeant en fonction du temps. Sa grandeur garde le même niveau suivant une période de temps donné. Ainsi, la période de ce phénomène est donnée par sa durée dans laquelle la courbe atteint le niveau identique après une oscillation complète. Ces événements périodiques ont ainsi une expression quantitative si leur variabilité peut être identifiée comme "des rythmes analogiques ou continus ou quantitatifs". Ces rythmes s'expriment mathématiquement par des valeurs d'un ordre potentiellement infini, (Battisti, 1988).

D'un point de vue de classification, il existe un troisième type de rythme biologique consistant en des pics isolés sur la courbe d'oscillation quantitative. Si ces sauts montrent une cadence dans le temps, ils peuvent être définis comme "rythmes épisodiques".

#### **c- Classification descriptive :**

Cette classification est principalement utilisée pour la description de rythmes épisodiques ou quand il est nécessaire de décrire un événement périodique en relation avec ces pics. Les rythmes inclus dans ce type sont diurnes, nocturnes, "serotins", vespérales, matinaux, journaliers, hebdomadaires, mensuels, saisonniers, annuels, etc, (Cugini, 1993) On peut noter, cependant, que ces conditions définissent la périodicité de manière descriptive et ne s'ajoutent pas à une quelconque conclusion sur la durée effective de la période du phénomène récurrent. Ainsi, un rythme diurne n'est pas implicitement Circadien ; il peut être Ultradien.

#### **d- Classification en durée :**

En considérant les rythmes biologiques, on peut constater que certains sont "permanents ou avec une longue durée" et d'autres "transitoires ou temporaires". Le cycle ovarien est un rythme typiquement "provisoire" par ce qu'il disparaît avec la ménopause. Le rythme de la température du corps est par contre un rythme permanent que l'on peut toujours observer dans les 24 heures après la mort, (Murano, 1988).

### **e- Classification fonctionnel :**

En plus de classification physique il existe une subdivision basée sur des concepts fonctionnels qui reconnaissent quatre variétés de rythmes biologiques, c'est à dire, Alpha, Bêta, Gamma et Delta. Les rythmes Alpha coïncident avec les oscillations spontanées des fonctions biologiques. Les rythmes Alpha sont sous divisés en Alpha(s) et Alpha (f) selon qu'ils soient produits dans des conditions de "synchronisation" ou de "mouvement libre" ("free-running"). Les rythmes Bêta correspondent à la périodicité de la réponse des fonctions biologiques en cas de stimulations ou d'inhibition pour différents temps. Les Bêta rythmes existe aussi en variété Bêta(s) et Bêta (f) en relation de la présence soit de conditions synchronisation ou de "mouvement libre" (free running). Ces deux variétés sont sous divisés en Bêta (s1) ou Bêta (f1) si la perturbation est physiologique, et Alpha (s2) ou Bêta (f2) si la perturbation n'est pas due à un phénomène physiologique.

Les rythmes Gamma concernent les oscillations périodiques de fonctions biologiques qui sont modulées, perturbées ou influencées par des facteurs déterministes soit physiologiques, c'est à dire, Gamma (s1) ou Gamma (f1), ou non physiologiques, c'est à dire, Gamma (s2) ou Gamma (f2). Ici à nouveau, la différenciation entre les variétés Gamma(s) et Gamma (f) dépendent de la présence soit de conditions de synchronisation ou de mouvement libre (free-running). Enfin, les rythmes Delta, qui sont sous divisés en variétés (s) et (f), correspondent à la modification dans l'oscillation périodique d'une fonction biologique donnée secondaire de la manipulation d'un rythme Alpha, Bêta ou Gamma.

## **I-2- Alternance jour/nuit influence et effet sur les animaux :**

### **I-2-1- Rythmes circadiens :**

#### **A- le rythme d'activité des animaux :**

Il permet de définir les animaux diurnes, actifs le jour, et des animaux nocturnes, actifs la nuit, qu'il s'agisse d'invertébrés ou de vertébrés. Les formes de vie sont diversifiées, occupant tous les espaces géographiques et les espaces-temps disponibles sur la planète. Qu'il s'agisse d'insectes, de batraciens, d'oiseaux, de mammifères, les animaux sont

généralement adaptés à un régime diurne ou nocturne. Cette adaptation revêt des aspects différents car les conditions de leur alimentation diffèrent.

## **B- L'adaptation à la vie nocturne :**

### **B-1) La vue :**

Chez les animaux supérieurs, strictement nocturnes, la pupille est ronde et large, très dilatable, ce qui permet à l'oeil de capter le plus de lumière possible la nuit.

Les yeux sont parfaitement adaptés à la réception de la lumière grâce aux cellules photo réceptrices : cônes et bâtonnets :

- les cônes servent à la vision et à la différenciation des couleurs. Leur sensibilité à la lumière est très faible mais leur perception des détails et des couleurs, très grande;
- au crépuscule, quand la lumière baisse, les bâtonnets qui sont environ 100 fois plus sensibles à la lumière que les cônes savent distinguer les nuances du noir et du gris.

La prépondérance des bâtonnets sur les cônes est d'autant plus marquée que la vision nocturne est plus développée (le cas extrême est celui des lémuriens qui ne supportent pas la lumière du jour). Les animaux qui ont à sortir de jour possèdent généralement une pupille en fente qui se ferme mieux qu'une pupille ronde (SI).

Cas des rapaces nocturnes : leurs proies, des petits rongeurs, sont souvent nocturnes. Ils ont de très gros yeux qui leur permettent de bien voir dans l'obscurité. La tête tourne jusqu'à l'arrière pour apercevoir la proie sans déplacer le corps.

### **B-2) L'ouïe :**

L'efficacité à la chasse des rapaces nocturnes s'explique aussi par une ouïe si fine que certaines espèces sont capables de fondre sur une proie même dans la plus complète obscurité.

Certaines descriptions d'oiseaux évoquent l'hypothèse que l'acuité de la vision et de l'ouïe serait renforcée par la forme particulière de leur face, un disque qui ferait penser à l'effet parabole concentrant les impressions sensorielles reçues. Cependant ni les yeux ni les oreilles ne sont au foyer de cette parabole (SI).



**Photo n°1 : Oiseaux nocturnes (SI)**



**Photo n°2 : Une vache dans la nuit (SI)**



**(a)**



**(b)**

**Photo n°3 : a) rapace nocturne : choette effraie (SI)  
b) rapace diurne : buse variable**



**Photo n°4 : Oiseaux migrateurs (SI)**



## **I-2-2- Rythmes circannuels :**

### **+Quelques exemples :**

#### **-Les migrations des oiseaux :**

Quand le jour s'allonge, il déclenche le retour des oiseaux migrateurs vers leurs sites de reproduction. Quand le jour diminue, il impose le départ vers leurs sites d'hivernage. Explication : l'allongement du jour a une action stimulante sur l'hypophyse qui conditionne l'activité des glandes sexuelles. De même la diminution de la longueur du jour entraîne une activité hormonale déterminant le départ même si la nourriture est encore disponible (cas des martinets).

#### **-L'évolution du pelage et du plumage :**

Les changements s'expliquent de même façon. La mue et la repousse de plumes neuves mettent l'oiseau en bon état de vol pour son départ post-nuptial.

L'épaississement de la fourrure des mammifères est d'origine hormonale sous l'influence du raccourcissement des jours.

#### **-La quiescence des insectes :**

Les travaux scientifiques ont montré que l'état de repos des insectes diurnes est déclenché par la diminution de la longueur du jour.

#### **-L'hibernation :**

Anticiper les rigueurs de l'hiver en accumulant des graisses pour passer l'hiver en état d'hibernation est un phénomène comparable. La diminution de la longueur du jour détermine l'entrée en hibernation et c'est l'augmentation de la température souvent liée à l'allongement du jour qui déclenche la sortie de cette torpeur.

<Pour satisfaire leurs besoins alimentaires, les animaux ont besoin les uns du jour, les autres de la nuit, tributaires qu'ils sont de proies présentes de façon diurne ou nocturne.>

### **I-2-3- Effet de la nuit, la lumière, le champ magnétique sur les êtres vivants :**

#### **A- L'effet de la nuit sur les êtres vivants :**

##### **-La nuit en royauté absolue :**

Pour les plantes, comme pour les animaux, la nuit est indispensable à l'élaboration de plusieurs processus complexes, dont celui de la reproduction. Ces processus ont été étudiés en chronobiologie. La vie des plantes observe un cycle qui passe le jour par une exposition à la lumière (phénomène de la photosynthèse) et la nuit par un séjour dans l'obscurité ; leur activité suit globalement le même rythme (Arbona, 2002).

Les plantes dont la floraison est activée par une longue période d'obscurité sont dites « de nuits longues », comme les chrysanthèmes et le tabac. À l'inverse, celles qui fleurissent plus facilement à la lumière sont dites « de jours longs », tels les iris et les épinards.

On a pu établir le même classement pour certaines espèces animales, dites « de jours courts » et donc de nuits longues : leur reproduction est liée à l'obscurité et à une importante sécrétion de la fameuse hormone du noir, la mélatonine. Le mouton entre dans cette catégorie. En chronologie appliquée, cela a permis de développer l'élevage du Bétail : d'une façon générale, l'administration de mélatonine aux ovins, caprins et bovins accélère la reproduction et favorise la production de viande ou de laine. Citons, par ailleurs, deux espèces radicalement différentes, occupant des milieux diamétralement opposés, et dont la reproduction à l'automne coïncide avec des périodes de nuits longues : le cerf, tel qu'on le connaît sous nos latitudes, et le manchot empereur, qui vit au pôle sud Antarctique.

Cette dernière constatation fait référence à la biodiversité et à ses richesses.

En réalisant des inventaires, les biologistes ont en effet remarqué que les zones les plus peuplées en espèces étaient celles où l'obscurité était totale. Or, le royaume où la nuit règne de manière incontestée est situé très loin de la voûte céleste, dans le sol. Il est peuplé par les espèces lucifuges (qui fuient la lumière). Mille-pattes, araignées, scorpions, opilions (plus connus sous le nom de « faucheux »), coléoptères en tout genre vivent sous l'écorce, les feuilles, les pierres, les mousses ou dans l'humus, le sable, les vases, les berges et les grottes. Pour ces espèces presque toutes nocturnes, la lumière agit comme un

répulsif. Ce phénomène est longtemps passé inaperçu, car chez la petite faune du sol, la discrétion est de mise. Pour les apercevoir, il faut non pas se lever de bonne heure, mais se coucher fort tard. Inutile de compter sur l'éclairage de la Lune, car les espèces lucifuges évitent de passer dans les taches de lumière, la leur incluse. Dans les forêts tropicales, certaines espèces seraient même sensibles à des luminosités inférieures à celle d'un quart de Lune (SI). Leur rôle au sein des écosystèmes reste à étudier, mais leur participation au brassage du sol et à la formation de l'humus est avérée en pédologie (science qui étudie la structure du sol). Rappelons que les carabes, ces magnifiques coléoptères aux reflets métalliques, comptent plus de 20 000 espèces dans le monde. En France, le grand calosome est employé dans le cadre de la lutte biologique.

#### **-Un noir manteau protecteur :**

Chez un grand nombre de mammifères et d'oiseaux, la mue du pelage et des plumes ou l'hibernation sont soumises à l'obscurité. Mais les animaux nocturnes, autrement dit l'ensemble de la faune qui s'active la nuit, regroupent des espèces appartenant à toutes les classes répertoriées par les zoologistes (Reinberg, 1997) : mammifères, reptiles, oiseaux, poissons, amphibiens et insectes... profitent du noir pour s'alimenter ou se reproduire (Alamie, 2002). Pour la faune qui est chassée ou dérangée par l'homme, la nuit est plus qu'un habitat : elle constitue un véritable refuge. Là encore, les naturalistes ont constaté que les espèces autrefois répandues et désormais menacées, tels les ours, les chauves-souris, les lynx et les loups, survivent mieux (ou exclusivement) dans les lieux identifiés comme des zones d'ombre sur les images aériennes ou satellitaires. Chez les anatidés, les canards sauvages quittent les aires de repos (mares ou étangs) qu'ils fréquentent durant le jour et s'envolent au crépuscule vers les zones dites de « gagnage » (prairies, pâturages), où ils se nourriront.

Chez ces oiseaux, comme chez leurs congénères qui se rassemblent deux fois par an pour entreprendre le long voyage qui les mènera du Nord au Sud, la plupart des migrations ont lieu la nuit. On sait que les oiseaux migrateurs diurnes ou nocturnes utilisent comme outils de navigation leur odorat, leur vue et, pour certains, leur sensibilité au champ magnétique terrestre (SI).

Un autre phénomène spectaculaire, plus facile à observer car plus près de nous, est celui de la bioluminescence. En effet, les organismes vivants sont capables d'émettre de la lumière dans la nuit et cette faculté existe chez plusieurs centaines de genres différents du règne animal ou végétal.

Les principales fonctions remplies par la bioluminescence concernent la reproduction, la protection contre les prédateurs ou, au contraire, l'attraction des proies. Dans les océans, des algues planctoniques ont développé ce phénomène de bioluminescence. Dans les forêts tropicales, certains champignons émettent une pâle lueur. L'hypothèse avancée par les entomologistes serait qu'ils attirent ainsi des insectes participant à la dispersion de leurs spores.

Visibles notamment en Europe, les lucioles (dont l'autre nom est « mouches à feu ») et les lampyres (plus connus en tant que « vers luisants ») brillent, pendant les nuits de mai à juillet, parmi les prairies, sur les talus et au bord des chemins de l'Hexagone (SI).

Les différents rôles et mécanismes biochimiques qui sont à l'origine de ce phénomène ne sont pas encore tous compris des scientifiques, car ces deux données peuvent varier d'une espèce à l'autre. Le système bioluminescence qui a été le plus étudié est celui de la luciole. Chez ce coléoptère, les mâles et les femelles ont l'extrémité de leur abdomen lumineuse. Les cellules de cet organe contiennent une protéine, la luciférine, et une enzyme, la luciférase, qui réagissent au contact de l'oxygène en produisant de la lumière froide. De fait, 100 % ou presque de l'énergie chimique est transformée en lumière et fort peu sous forme de chaleur.

De quoi faire rêver, à l'échelle humaine, tous les protagonistes des économies d'énergie ! Les lucioles, qui utilisent aussi leur abdomen brillant lors des parades nuptiales, ont un mauvais goût pour leurs prédateurs et, après en avoir consommé, ils éviteront de s'attaquer à ces insectes. Ce moyen de défense est surtout présent chez les animaux marins, depuis le zooplancton jusqu'aux méduses, en passant par les étranges formes qui peuplent les abysses. Les biologistes commencent seulement à découvrir les fantastiques propriétés de ce monde plongé dans l'obscurité totale, où la majorité des organismes qui l'habite est pourvue de cellules lumineuses (SI).

## **B-les effets de la lumière solaire sur les êtres vivants :**

Chez les vertébrés supérieurs, dotés d'un organe de la vue bien différencié et d'une rétine, l'information sur la présence ou l'absence de la lumière emprunte des voies nerveuses multiples (Citron ,1997), qui ont pour effet d'activer ou de désactiver certains centres nerveux.

**-Première voie :** rétine - tubercule quadrijumeau antérieur - centre ciliospinal de la épinière - ganglion sympathique cervical supérieur - activation de fibres adrénér-giques qui accompagnent des vaisseaux sanguins vers l'épiphyse"glande pinéale", où est activée une enzyme, la N-acétyltransférase. La lumière a ici une action inhibitrice sur le ganglion cervical supérieur, donc sur l'activité de l'épiphyse.

**-Seconde voie:** rétine - noyau supra chiasmatique de l'hypothalamus antérieur (un des noyaux-clés de l'horloge interne qui règle les rythmes circadiens) - formation réticulée du mésencéphale - centre ciliospinal.

Nous verrons sous peu ce qui, dans ces centres nerveux, est activé par la lumière, et dans quel sens.

Toujours est-il que, chez les oiseaux et les mammifères, la lumière joue un rôle direct dans la reprise hivernale de l'activité sexuelle: la photogonadostimulation est une action réflexe à point de départ rétinien, et dont le centre de contrôle se situe au niveau de l'hypothalamus antérieur. Seule la phase de développement des gonades est régulée ; dès que l'activité des glandes génitales est maximale, leur fonctionnement n'est plus photo régulé : on dit alors que les glandes génitales entrent en phase photo réfractaire : il y a une période en-dehors de laquelle l'influence de la lumière n'a aucun effet (Boissin-agasse, 1988).

-Pour notre sujet, l'intérêt semble ici de remarquer que les variations lumineuses modifient l'activité d'un programme génétique qui existe de toute manière indépendamment de la lumière : la lumière est prise comme synchroniseur de processus internes, mais certes pas comme cause absolue de ces processus. Si bien que, nous le verrons, lorsque la lumière ne fait pas l'affaire (variations insuffisantes, par exemple), ce sont d'autres phénomènes naturels qui sont pris comme synchroniseurs par les mêmes

horloges biologiques. Il convient d'en déduire que c'est la sensibilité à la photopériode qui est programmée dans le génome, mais qu'elle pourrait tout aussi bien ne pas l'être (Millet, 1988).

### **C- L'effet du champ magnétique sur les êtres vivants :**

Les études scientifiques sur l'influence des champs magnétiques sur le comportement du vivant sont nombreuses et variées, même si le protocole d'expérience n'est pas toujours irréprochable, et l'échantillonnage de cas observés quantitativement limité. En voici un résumé extrêmement rapide. En présence d'un champ magnétique :

\* "le sang se coagule moins vite, les propriétés défensives des leucocytes s'accroissent, la sédimentation globulaire se ralentit, la perméabilité des cellules change, l'intensité de la respiration baisse, l'activité du système nerveux est limitée, et les tumeurs malignes de faibles dimensions régressent chez les animaux (Emme, 1966) et (Gauquelin, 1973).

\* Chez des vaches laitières, l'appétit s'est trouvé accru, le taux de progestérone dans le plasma sanguin a augmenté, ainsi que le contenu en gras du lait (R, 1996)

\* Chez des souris soumises à des champs magnétiques en rotation, il y a modification de la sécrétion de mélatonine, une hormone impliquée dans la régulation des rythmes biologiques et des émotions (SV, 1995).

#### **C-1) Le champ magnétique terrestre :**

Il existe un champ magnétique propre à la planète Terre. De nombreuses observations semblent montrer que beaucoup d'animaux, et jusqu'à l'homme lui-même, possèdent, en des endroits variés de leur corps, des cristaux de magnétite, qui leur permettraient de s'orienter dans leurs déplacements en fonction de ce champ magnétique terrestre:

\* Les mollusques Nassarius obsoletus se déplacent en fonction de ce champ magnétique : de même les vers plats du genre Dugesia, les requins et les raies (Gauquelin, 1996)

\* les rouges-gorges migrateurs se dirigent grâce à la perception du champ magnétique,

\* chez les pigeons, des particules magnétiques d'oxyde ferrique  $Fe_3 O_4$  sont situées entre la boîte crânienne et l'enveloppe externe du cerveau, dans de petites zones de tissus richement innervées (Walcott,1979) et dans les muscles du cou (Prest,1980) et (Pettigrew,1980). De plus, les pigeons sont sensibles aux perturbations du champ magnétique terrestre lorsque des orages magnétiques solaires viennent le perturber,

\* les abeilles peuvent réguler leur propre rythme circadien grâce aux variations quotidiennes du champ magnétique terrestre (Harroise-Monin), Chez elles, la magnétite est située dans la partie avant de l'abdomen, (Reille, 1980) et (Gould, 1988),

\* des bactéries s'orientent dans la vase parallèlement au champ magnétique local (Blakemore, 1982) et (Frankel, 1982).

\* Kirschvink à Princeton a mesuré dans le tissu des glandes surrénales un moment magnétique élevé, sans doute lié à une forte concentration de magnétite dans cet organe, (Lecocq, 1981),

\* chez l'homme, le siège de la "boussole" pourrait être l'épiphyse (glande pinéale sécrétant la mélatonine, hormone majeure de nos rythmes circadiens). Chez les cobayes, l'épiphyse engendre un champ magnétique à peu près comparable au champ magnétique terrestre de surface. Ajoutons pour mémoire les célèbres expériences du professeur Yves Rocard, tendant à démontrer que le corps humain est sensible au champ magnétique terrestre : la possibilité de détecter des nappes d'eau souterraines en serait un indice (sourcellerie), [(Ferrara), SV, date non déterminée].

Tableau (très simplifié) des localisations anatomiques des cristaux de magnétite chez diverses espèces vivantes, d'après (Harrois-Monin), SV, date non déterminée :

Localisation anatomique	Animaux	utilisation supposée
Radule	Chiton	orientation (?)
En chaîne droite dans l'axe de la bactérie	Bactérie aquatique	Pour se diriger vers les fonds boueux
Partie avant de l'abdomen	Abeille	Mise à l'heure de leur orloge interne
A la base du cerveau, sous le crâne	Pigeon	Orientation par temps couvert. Retour au pigeonnier
Entre le crâne et la dure-mère	Dauphin	Orientation
Entre le crâne et la dure-mère	Dauphin	Orientation



*CHAPITRE II :*

*ORGANISATION  
NEURO-ANATOMO-  
FONCTIONNELLE  
DE  
L'INTERACTION :  
PHOTOPÉRIODE-  
REPRODUCTION*

# **I- ORGANISATION VISUELLE :**

## **I-1- La perception visuelle :**

### **I-1-1- Définition :**

La lumière, au cours de son trajet dans l'œil subit différentes modifications. Cependant, celles-ci n'ont fait que dévier et filtrer le trajet de la lumière. A ce stade, l'information fournie par la lumière n'existe pas encore dans le cerveau ; elle a besoin d'être transformée pour être "lisible" par ce dernier (Tortora, 1993). C'est la rétine qui va alors jouer le rôle de transducteur. Ce principe est universel pour tous les animaux qui possèdent des yeux, pourtant chaque animal à sa vision propre. Nous nous intéresserons donc au fonctionnement de la rétine en mettant en avant le rôle prépondérant des photorécepteurs de l'œil : les cônes et les bâtonnets, puis nous étudierons les différences dans la vision de certains animaux.

### **I-1-2- Le fonctionnement général :**

#### **I-1-2-1- Les photorécepteurs : Les cônes et les bâtonnets :**

La rétine comporte deux types de cellules sensibles à la lumière, les cônes et les bâtonnets, qui sont juxtaposés à la manière d'une mosaïque (130 millions de bâtonnets et 6,5 millions de cônes pour l'homme). Ce sont des neurones très courts qui possèdent un segment externe, de forme cylindrique pour les bâtonnets, et conique pour les cônes. Ce dernier, renferme de nombreuses molécules de pigments photosensibles (100 millions de molécules de rhodopsine dans un seul bâtonnet) (Tortora, 1993)



**Photo n°5 : Organisation des cônes et bâtonnets (SI)**

#### **A- Le fonctionnement :**

\*L'absorption de lumière par ces pigments déclenche une cascade d'événements cellulaires qui, en modifiant les propriétés électriques du cône ou du bâtonnet, aboutissent à la naissance d'un message nerveux. Cependant, ce n'est pas exactement au niveau des photorécepteur<sup>s</sup> que naît le message nerveux, mais c'est au niveau des neurones ganglionnaires ; c'est à dire les cellules nerveuses dont les axons se regroupent au niveau de la papille pour former les fibres du nerf optique : un million de fibres nerveuses quittent ainsi la rétine (SI).

Rappelons que l'observation microscopique de la rétine a montré en outre que les photorécepteurs, qui constituent la couche la plus externe de la rétine au contact de la choroïde, ne sont pas connectés directement aux neurones ganglionnaires mais qu'ils le sont par l'intermédiaire d'une couche médiane de neurones bipolaires.

\*Le système des bâtonnets à un faible pouvoir séparateur (mauvaise résolution spatiale) mais il est très sensible à la lumière. Au contraire, le système des cônes a une résolution spatiale très élevée mais il est moins sensible à la lumière (alors qu'un bâtonnet peut être sensible à un seul photon, il en faut 100 pour activer un cône).

Les bâtonnets contiennent tous le même pigment dont le maximum d'absorption est situé entre le vert et le bleu. En revanche, il existe trois types de cônes qui se distinguent par le pigment qu'il renferme : chacun présente un maximum d'absorption pour une longueur d'onde déterminée. Ainsi il existe des cônes sensibles au bleu (grandes longueurs d'onde), d'autres verts (longueur d'onde moyenne) et les troisièmes au rouge (longueur d'onde courte).

Ces propriétés spécifiques des cônes et des bâtonnets, ainsi que leur inégale répartition sur la rétine, expliquent certaines propriétés de la vision.

#### **B- Les différentes répartitions des cônes et des bâtonnets :**

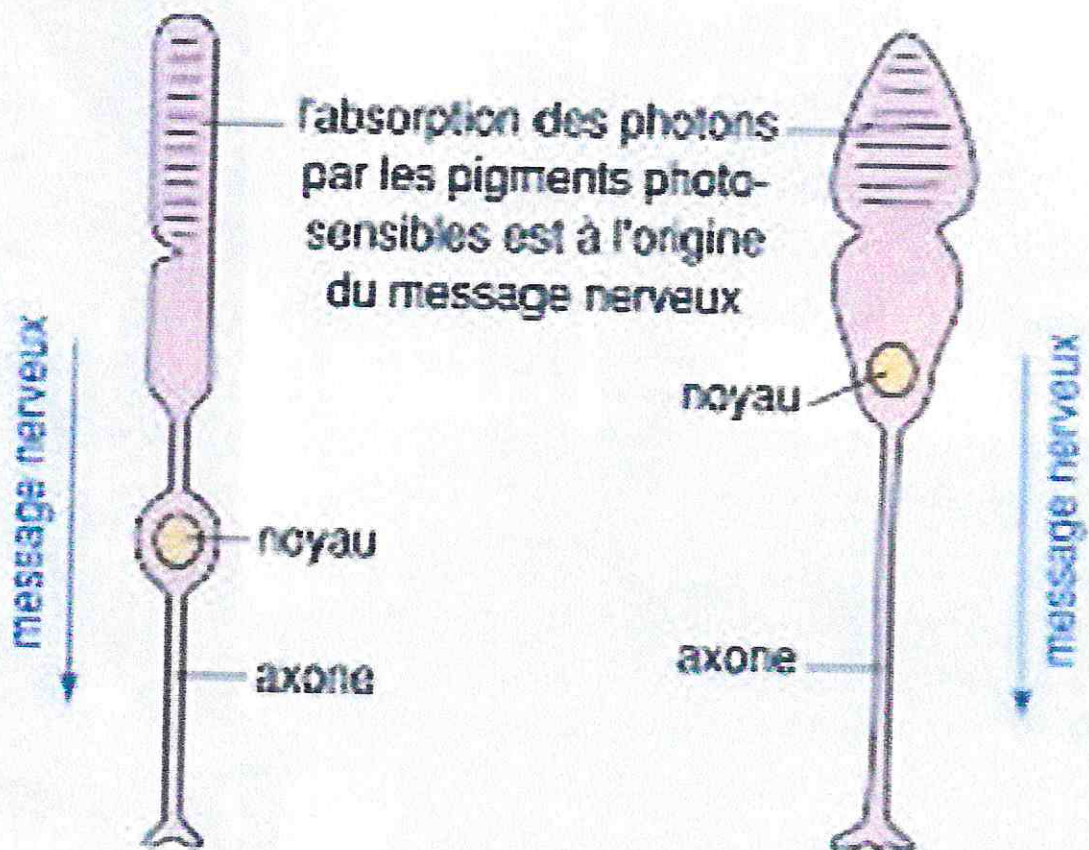
La répartition des cônes et des bâtonnets dans la rétine présente d'importantes variations:

\*Dans la fovéa (ou tache jaune ou encore macula), petite dépression centrale de la rétine située dans l'axe optique de l'œil, il n'y a que des cônes et leur densité est maximale.

\*Quand on s'éloigne de la fovéa, il y a de moins en moins de cônes et de plus en plus de bâtonnets.

\*Il existe aussi une autre zone où la présence des cônes et des bâtonnets est particulière : le point aveugle. En effet, cette région est caractérisée par l'absence de photorécepteurs et cela parce que toute la structure neuronique converge vers ce point qui est directement relié au nerf optique (Tortora, 1993).

■ **Les bâtonnets et les cônes ont des « fonctions » différentes**



**Bâtonnets :**

- Cellules photoréceptrices extrêmement sensibles à la lumière et qui ne fonctionnent qu'en faible éclaircissement.
- Vision en noir et blanc (en nuances de gris).

**Cônes :**

- Cellules photoréceptrices qui ne fonctionnent que si la luminosité est importante.
- Vision en couleurs.
- Trois types de cônes qui possèdent chacun leur propre pigment photosensible au vert, au bleu ou au rouge.

**Fig (1) :** Schéma représentant les différentes fonctions des cônes et des bâtonnets (SI)

## **B- Les différentes répartitions des cônes et des bâtonnets :**

La répartition des cônes et des bâtonnets dans la rétine présente d'importantes variations:

\*Dans la fovéa (ou tache jaune ou encore macula), petite dépression centrale de la rétine située dans l'axe optique de l'œil, il n'y a que des cônes et leur densité est maximale.

\*Quand on s'éloigne de la fovéa, il y a de moins en moins de cônes et de plus en plus de bâtonnets.

\*Il existe aussi une autre zone où la présence des cônes et des bâtonnets est particulière : le point aveugle. En effet, cette région est caractérisée par l'absence de photorécepteurs et cela parce que toute la structure neuronique converge vers ce point qui est directement relié au nerf optique.

### **I-1-2-2- Le câblage de la rétine :**

#### **A- Câblage général :**

La rétine est constituée d'un réseau complexe de neurones. Comme nous l'avons vu, ils ont pour rôle de transformer l'information lumineuse extérieure en messages nerveux compréhensibles par le cerveau. Cette transformation est assurée par trois éléments : les photorécepteurs (cônes et bâtonnets), les neurones bipolaires et les neurones ganglionnaires.

Ces éléments se succèdent toujours dans le même ordre, ce pour assurer une logique de traduction.

#### **B- Différents types de câblage :**

L'ordre des éléments traducteurs de la rétine est donc toujours la même, cependant, la manière selon laquelle ils s'organisent peut varier, et ce en fonction de leur localisation sur la rétine.

En effet, selon la zone de la rétine observée, un neurone ganglionnaire peut être relié à un ou plusieurs neurones bipolaires, et celui-ci peut de même être relié à un ou plusieurs photorécepteurs. De cette façon, l'acuité visuelle diffère selon le type de câblage et donc

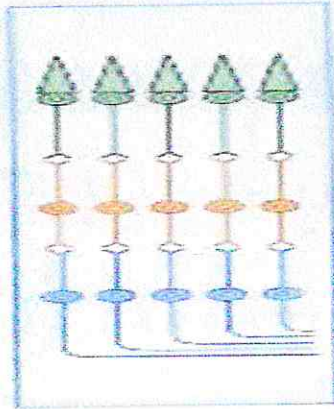
selon la zone de la rétine.

A la fovéa, à chaque cône correspond un neurone bipolaire et un neurone ganglionnaire spécifique (Tortora, 1993).

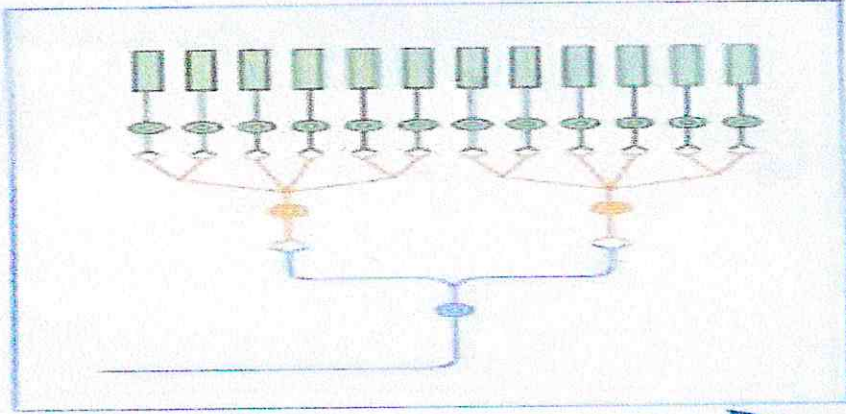
C'est donc dans cette zone que l'acuité visuelle et la vision des couleurs sont optimales. En périphérie de la rétine, le système des bâtonnets est fortement convergent : plusieurs bâtonnets sont connectés avec le même neurone bipolaire et plusieurs de ces derniers sont en connexion avec un seul neurone ganglionnaire. Les objets issus à la périphérie du champ visuel sont donc perçus avec une faible acuité visuelle et une mauvaise vision des couleurs mais leur détection est possible, même si leur luminance est faible.

## DIFFÉRENTS TYPES DE CÂBLAGES

Tâche fine : acuité visuelle maximale



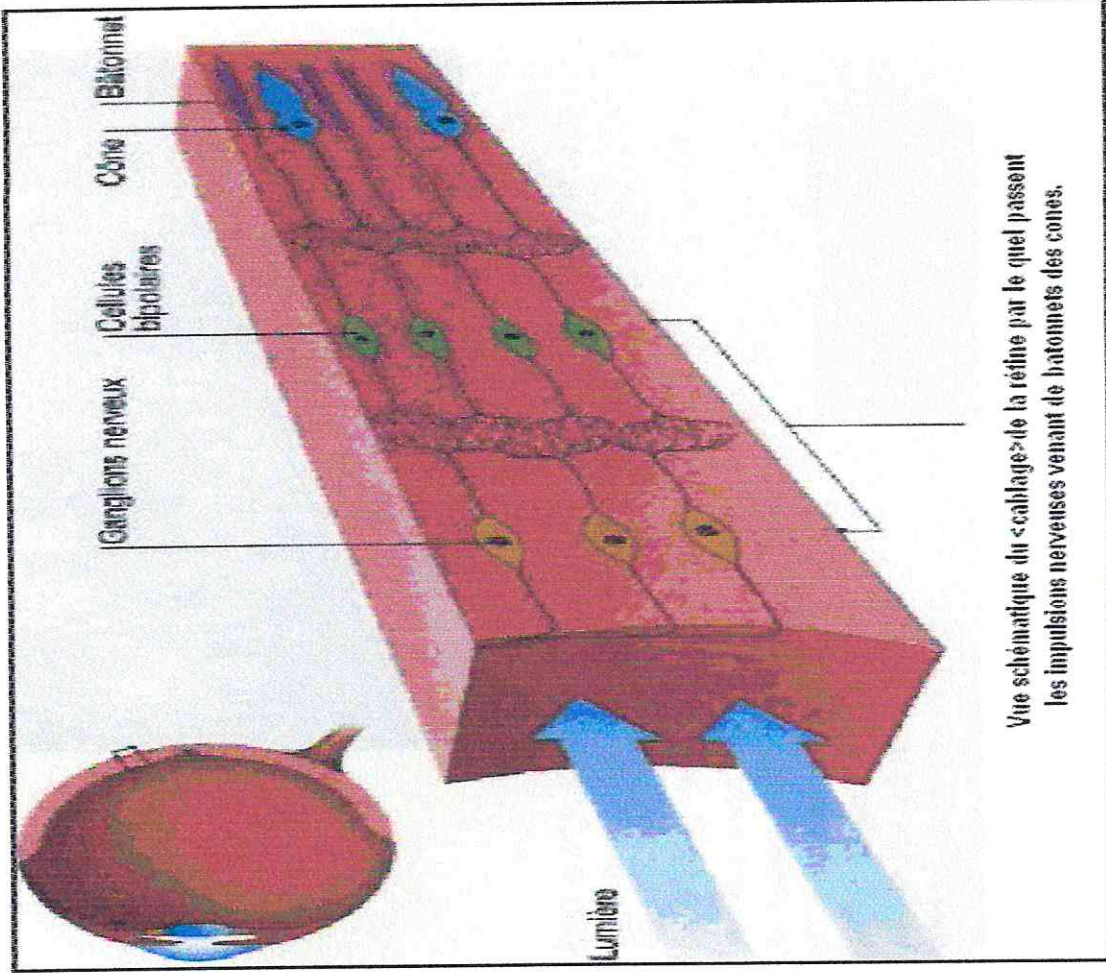
Rétine périphérique : vision floue



axe optique

du l'œil

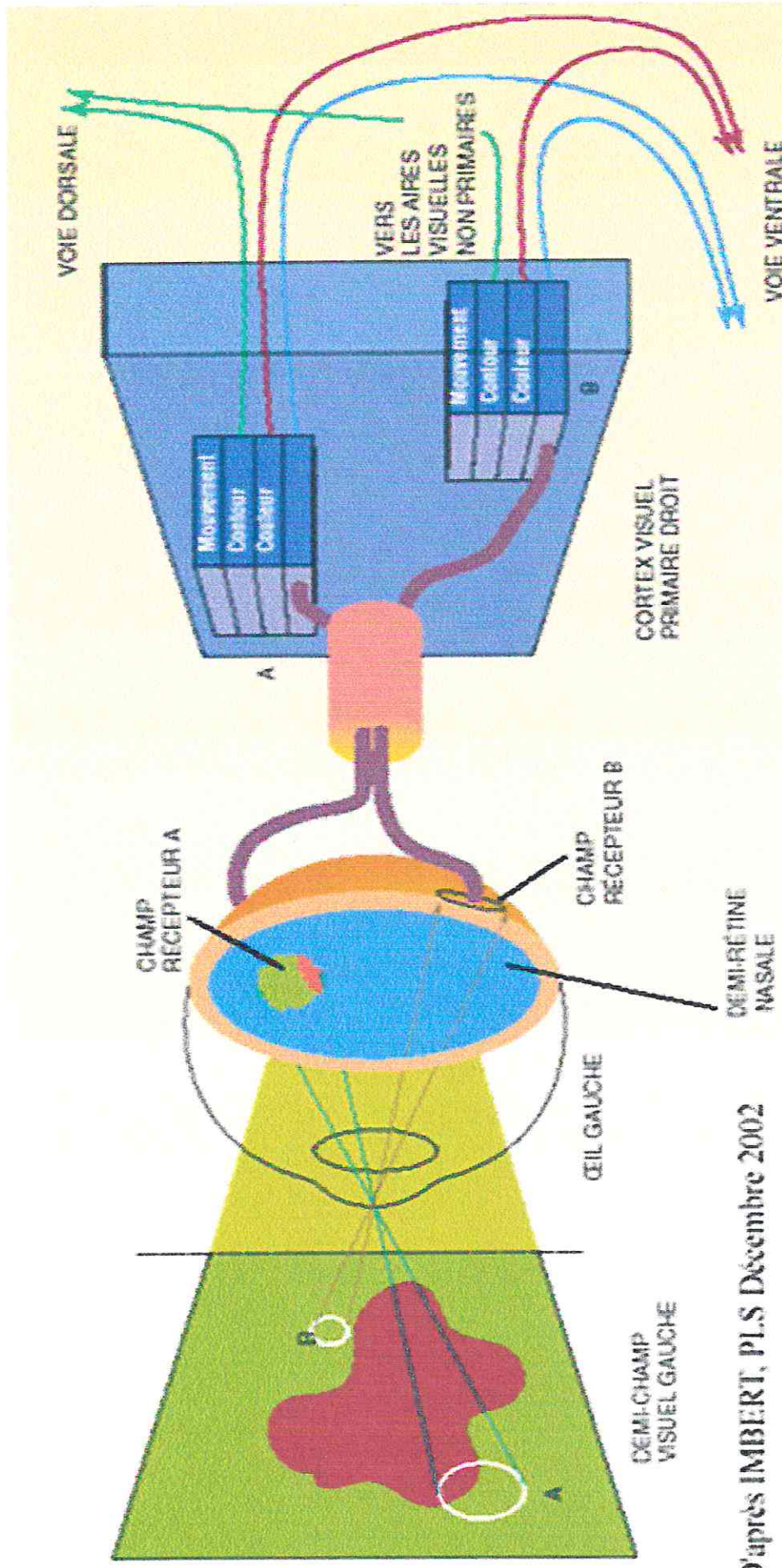
**Fig (2) :** Schéma représentant les différents types de câblage (SD).



Vue schématique du « câblage » de la rétine par le quel passent les impulsions nerveuses venant de bâtonnets et des cônes.

**Fig (3) :** Schéma représentant une la vue schématique « câblage » de la rétine par le quel passent les impulsions nerveuses venant des bâtonnets et des cônes (SI).





**Fig.(4) : Schéma représentatif d'après IMBERT (Décembre2002) du câblage**

## **I-2-Chez les animaux :**

### **I-2-1- les différentes perceptions et leurs buts :**

Tout comme une souris n'a pas besoin de crocs tranchants et acérés pour manger des graines, un cheval n'aura pas besoin d'yeux de hibou pour bien voir la nuit. Chacun des animaux a sa vision propre qui lui est adaptée en fonction de ses besoins et du milieu dans lequel il vit. Ainsi, les yeux répondent à des impératifs de vie et de survie dépendant de l'espèce : un prédateur a besoin de voir ses proies et doit donc avoir une vue adaptée à la reconnaissance de sa nourriture dans son milieu, un autre animal aura besoin de reconnaître ses compagnons afin de se reproduire avec eux ou de lui permettre de se protéger en restant au sein de son groupe (SI).

Ainsi, trois propriétés essentielles de la vue se distinguent en fonction des animaux et de leurs besoins : la perception des couleurs, celle du mouvement et la résolution de l'image perçue.

#### **A- La perception des couleurs :**

Pour les humains, la couleur semble être le principal attrait de la vision ; les choses semblent plus intéressantes et nuancées grâce à celles-ci, et c'est justement en cela qu'est l'utilité de la perception des couleurs : cerner les nuances de celles-ci dans le monde extérieur afin de mieux différencier et mesurer l'importance des éléments apparents (Veuibert, 1993). Il faut noter aussi que les couleurs que nous connaissons ne représentent qu'une gamme très restreinte de celles qui existent. En effet l'homme ne perçoit que les couleurs dont la longueur d'onde est comprise entre 380 et 750 nanomètres or les longueurs d'onde des « couleurs » varient de 10 à 100000 nanomètres (on peut les appeler couleurs même si on ne les voit pas). L'étendue de cet éventail de couleurs laisse à imaginer tout ce qu'il y a à voir. Cependant, aucun animal ne peut voir toutes les couleurs ; en effet comme nous l'avons vu précédemment, la vision des couleurs résulte de l'existence de différents types de cônes dont chacun a un spectre d'absorption particulier. De plus,

le nombre de types de cônes dans un œil varie d'un animal à l'autre : il peut y en avoir un, deux ou trois et on dira dans ce cas que la sensibilité visuelle est monochromatique, dichromatique ou trichromatique.

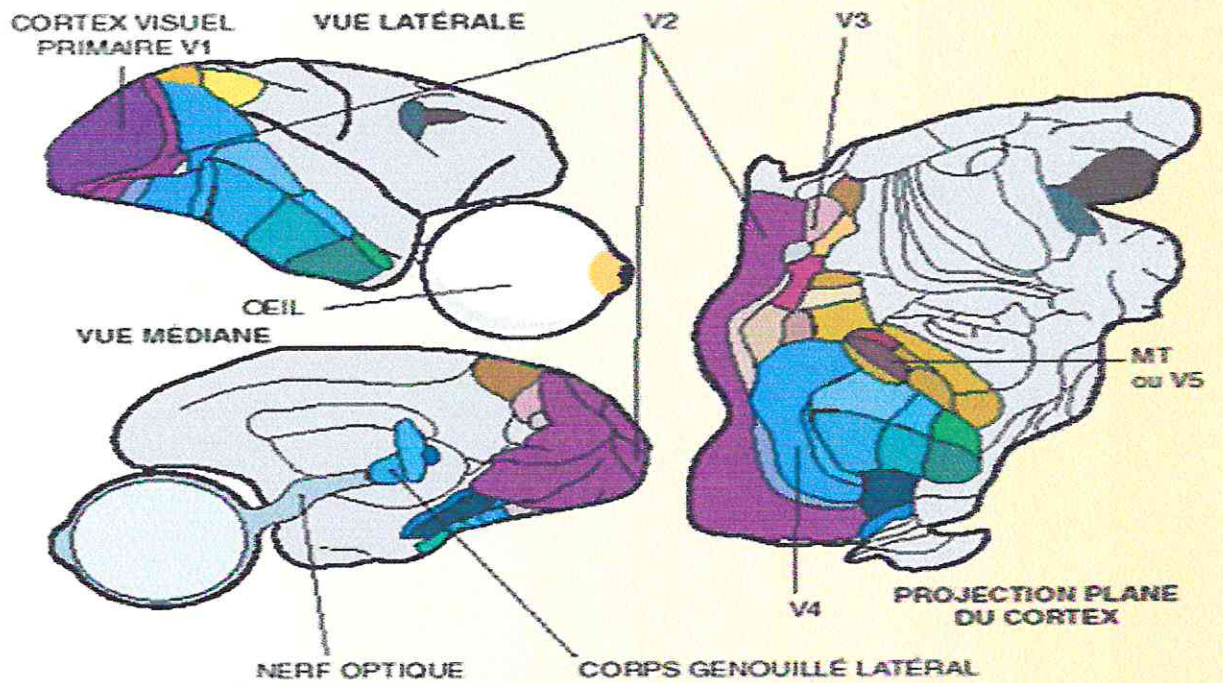
### **B- La perception du mouvement :**

Pour certains animaux, discerner le mouvement est bien plus important que toute autre propriété de l'œil. En effet, pour des animaux nocturnes (qui voient la nuit), la vision des couleurs n'est pas d'une grande utilité ; en revanche percevoir les mouvements est d'un grand intérêt, que ce soit pour un prédateur qui cherche à repérer ses proies, que pour une proie qui s'efforce d'éviter son prédateur. La perception du mouvement est liée à différents événements internes de l'œil dont en particulier la persistance rétinienne. Ce phénomène se caractérise, comme son nom l'indique par une persistance de l'image sur la rétine, et ce durant un temps très bref. Cela est dû au temps nécessaire pour que les pigments des photorécepteurs se reconstituent après leur décomposition par la lumière. Plus cette réaction est rapide, plus le nombre d'informations visuelles sera important et meilleur sera la perception des mouvements. Pour exemple, cette vitesse de réaction va de 0,05 à 0,1 secondes en ce qui concerne l'homme.

La densité des photorécepteurs sur la rétine est aussi un facteur influant de la qualité de la perception du mouvement.

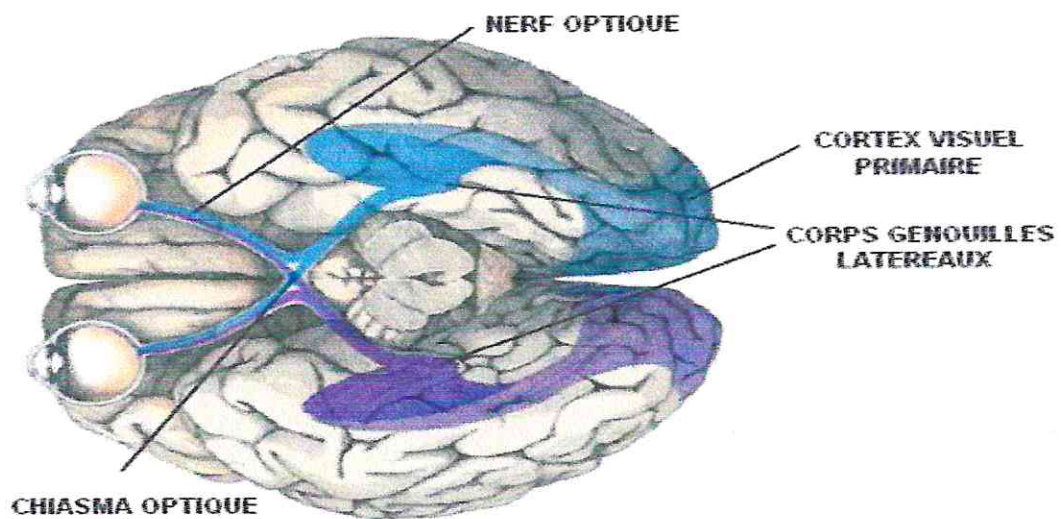
### **C-La résolution de l'image perçue :**

La résolution de l'image a un rôle de définition des éléments extérieurs. Ainsi les animaux peuvent être amenés, voire contraints, à reconnaître certains éléments qui les entourent et c'est en cela que la résolution de l'image qu'ils perçoivent peut lui être précieuse (bien que la perception des couleurs puisse aussi lui être utile dans ce cadre). Cette définition est directement liée à la quantité de photorécepteurs de l'œil et cette quantité est en corrélation avec le niveau de développement du cortex cérébral de l'animal. C'est ainsi que l'on a remarqué que les animaux les plus " intelligents " percevaient avec beaucoup de précision le monde qui les entourait. Au contraire, les petits animaux comme les insectes ont une mauvaise définition de leur environnement (SI).



LES AIRES VISUELLES NON PRIMAIRES reçoivent les informations issues du traitement du champ visuel par le cortex visuel primaire V1 (en violet). Ces aires sont semblables dans les cerveaux de tous les primates (ici un macaque) et extraient de l'information fournie par V1 des renseignements sur la forme, sur la couleur et sur l'identité des objets vus, ainsi que sur leur orientation et sur leur position. Chacune des petites aires colorées traite spécifiquement une de ces informations.

D'après IMBERT, PLS Décembre 2002



D'après IMBERT, PLS Décembre 2002

**Fig 5 :** Les aires visuelles non primaires d'après Imbert (2002)

## **I-2-2-Exemple de la vision chez certains êtres vivants :**

Nous allons tenter ici de nous imaginer à quoi ressemble le monde vu par certains animaux. Il faut préciser cependant que comme il a été dit précédemment, nous ne pouvons nous représenter qu'une très petite gamme de couleurs étant donné nos capacités de perception des couleurs. Nous tenterons donc de donner une idée de ce que peuvent voir les animaux, sans perdre de vue que cela peut n'être qu'une approximation. L'illustrateur qui a réalisé ces images avait un projet bien précis : prendre une perspective d'un paysage proche de ce que pourrait voir un petit animal. Il a ainsi choisit le point de vue le plus bas possible, en s'allongeant par terre pour voir en même temps les fleurs, l'étang et le ciel. Ce paysage est le même pour chacun des animaux cités, ce qui permet de mieux percevoir les nuances visuelles qui existe entre les animaux (SI).

### **+L'homme :**

Avec son cerveau le plus développé parmi les animaux, une sensibilité visuelle trichromatique et une quantité de photorécepteurs importante, l'homme à une excellente perception des nuances de couleurs (1700 couleurs, 300 nuances de gris) et une perception du mouvements. Cependant la plus grande partie des informations qu'il tire de sa vision vient de son sens de l'analyse. Grâce à celui-ci il peut donner un sens à ce qui l'entoure et ainsi reconnaître des objets, des personnes, tout en ayant un minimum d'informations visuelles sur celles-ci. La vision des primates est ainsi caractérisée (SI).

### **+Le taureau :**

Le taureau n'est pas plus réceptif au rouge qu'à une autre couleur : il ne réagit pas à la teinte de la cape, mais au mouvement du tissu. De fait, la plupart des mammifères ne voient pas en couleur, ou alors de façon très rudimentaire, car leurs rétines sont composées uniquement (ou majoritairement) de bâtonnets.

C'est le cas du taureau ou de la souris, du rat ou encore du lapin (SI). Par ailleurs, l'acuité visuelle et la capacité d'accommodation sont moins

développées chez les mammifères herbivores que chez les prédateurs ou chez les primates, c'est pourquoi ce que voit le taureau est plus flou que ce que nous voyons.

#### **+La mouette:**

Les oiseaux voient en couleur. Ils ont les mêmes types de cônes que nous dans leur rétine, avec la même trichromie. Mais, sur plusieurs cônes (50% à 80% chez le goéland, ou encore chez les passereaux diurnes), il y a des gouttelettes colorées rouges ou orangées que la lumière doit traverser avant de stimuler les structures photoréceptrices du cône. La fonction de ce dispositif reste encore discutée. Certains auteurs parlent de vision quadrichromique et imaginent un univers coloré totalement inconcevable à partir de notre simple trichromie. D'autres auteurs (et c'est l'interprétation choisie, plus par commodité de représentation que parce que c'est une hypothèse plus probable), supposent que cela leur permet de voir plus nettement en accroissant utilement certains contrastes ; mais ils divergent sur la nature et la fonction de cette amélioration : soit une aptitude accrue à voir à travers la surface de l'eau, soit une meilleure détection à travers un léger brouillard. L'acuité visuelle des oiseaux est très bonne, ce dont rend compte la netteté de l'image.

#### **+Le poisson :**

Pour pouvoir distinguer les objets qui l'entourent, le poisson a dû s'adapter aux contraintes du milieu. En effet, la diffraction de la lumière dans l'eau en diminue la pénétration et en modifie la direction. La lumière provenant d'un objet est donc dispersée et de moindre brillance ; pour obtenir une image qui ne soit pas floue et peu contrastée, la pupille, à très large ouverture, absorbe une grande quantité de lumière, et les photorécepteurs ont un pic d'absorption des ondes lumineuses décalé par rapport à la longueur d'onde dominante dans le milieu. Le cristallin des poissons est sphérique, assurant ainsi la convergence des rayons incidents. Comme il est indéformable, l'accommodation ne peut se faire que grâce à un déplacement d'avant en arrière qui permet au poisson de voir les objets proches situés devant lui et ceux éloignés situés derrière lui lorsque le cristallin est en avant, et l'inverse quand le cristallin est en arrière. En outre, le poisson ne possède ni paupière à fermer, ni iris

à diaphragmer, et, de ce fait une lumière trop intense peut facilement brûler sa rétine. Cependant, une couche de cellules pigmentaires remplies de mélanine la recouvre. Le mouvement rétino-moteur observé chez le poisson et chez certains oiseaux renforce cette protection : si l'intensité lumineuse est forte, les bâtonnets de la rétine migrent vers cette couche pigmentaire très opaque, et les cônes restés dans le plan focal, permettent d'obtenir une image, mieux définie ; en condition de faibles éclaircissements, le mouvement s'inverse, et les faibles changements d'intensités sont alors perceptibles grâce aux bâtonnets (SI).

### **+La grenouille :**

La grenouille (ou le crapaud) sait surtout détecter le mouvement, mais très mal les formes : il est facile de les leurrer ! La grenouille semble insensible à tout ce qui est immobile, mais tout déplacement horizontal d'un objet l'intéresse : elle tourne sur place pour le voir bien en face. Il nous est difficile de nous imaginer un univers visuel pratiquement dépourvu de formes, de contours qui n'apparaîtrait que lorsque l'objet se déplace sur un fond immobile. L'illustrateur a choisi le parti pris du pointillisme dans cette illustration pour en rendre compte. Des couleurs ont été conservées car certains auteurs ont montré que les grenouilles adultes (pas les têtards) sauraient distinguer le rouge du bleu (ce dont seraient incapable diverses espèces de crapauds, tandis que nombres de poissons distinguent les couleurs) (SI).

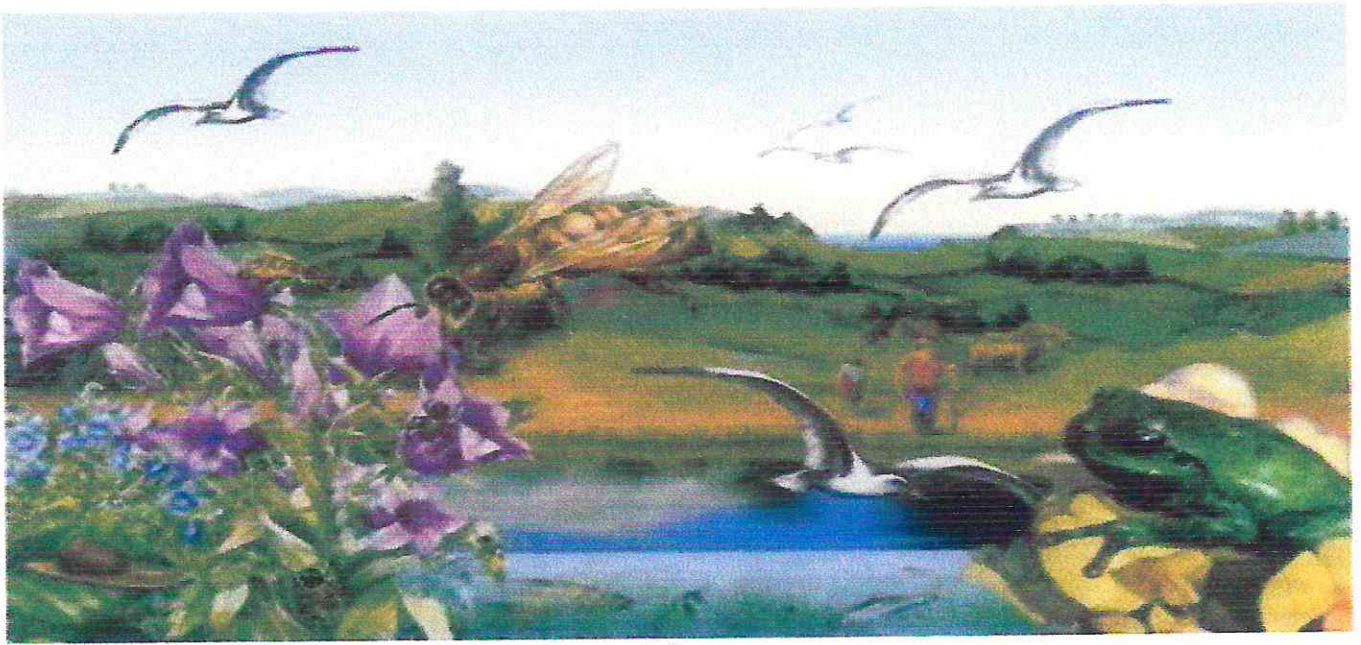
### **+L'escargot :**

L'escargot a souvent été soupçonné de cécité, il possède bien des yeux aux extrémités de ses grands tentacules, mais leur capacité visuelle est très restreinte. L'absence de cônes empêche ces mollusques de percevoir les couleurs. Ils distinguent seulement l'intensité lumineuse et les masses, qui leur apparaissent floues et imprécises, sans contours. Il l'utilise parfois pour se guider mais sa vision peu performante associée à sa lenteur lui permet juste d'éviter les obstacles, c'est principalement à l'odeur qu'il fonctionne (SI).

### +Le rotifère :

Les rotifères sont de petits animaux qui vivent surtout dans les eaux douces ; ils abondent dans un étang mais ils vivent aussi dans les mousses et lichen. Ils possèdent un oeil, unique, à la base du cerveau. A la loupe ou au microscope (les rotifères mesurent moins d'un millimètre), on voit bien cet oeil cérébral rouge à travers le tégument transparent. Et au microscope électronique, on constate que cet oeil n'est formé que d'un unique neurone visuel, logé au fond d'une cupule rouge comme au fond d'un bol, qui est ouvert vers l'avant de l'animal. La cupule sert d'écran : quand la lumière entre dans le bol, le rotifère nage vers l'avant. Il se dirige ainsi vers la source lumineuse. Si chemin faisant, il se détourne, la lumière n'atteint plus son unique neurone visuel. Son univers qui était tout blanc devient tout noir. Il nage alors jusqu'à ce que la lumière atteigne à nouveau le fond du bol pigmentaire : il nage alors à nouveau vers l'avant. Avec un seul neurone visuel, un rotifère ne voit rien, ni formes, ni couleurs, ni mouvements. Mais, il peut néanmoins se diriger infailliblement vers la source lumineuse (SI).





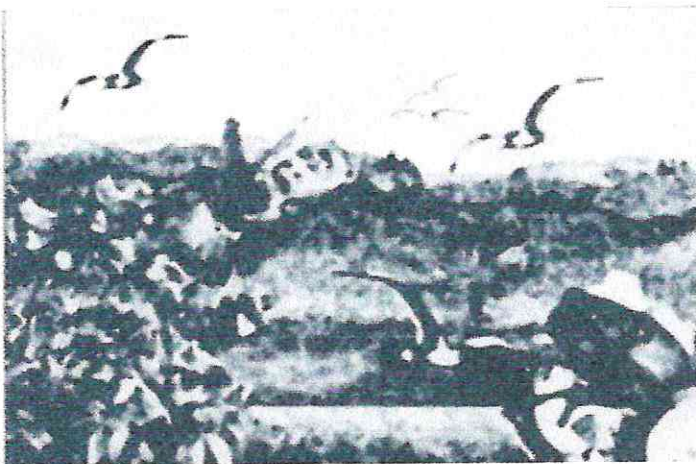
(a)



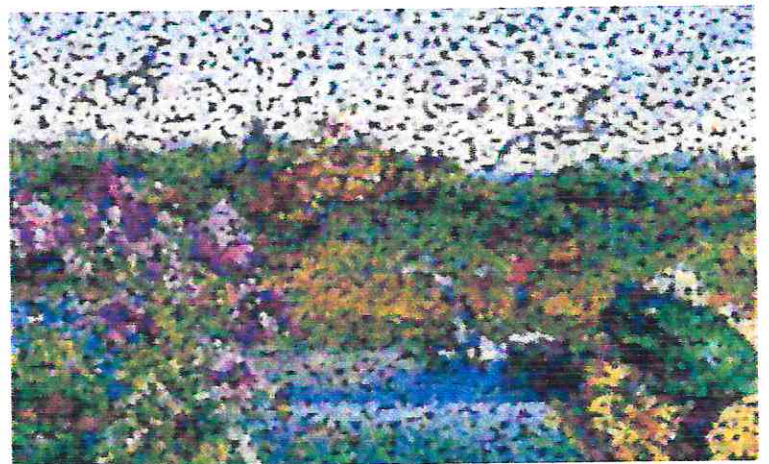
(b)



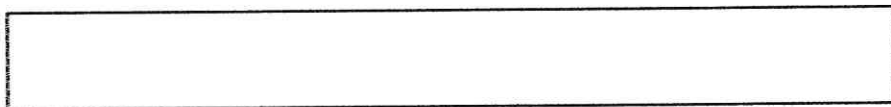
(c)



(d)



(e)



(f)

**Fig (6) : Schéma représentant la perception visuelle d'une image chez :a) l'homme, b) mouette, c) taureau, d) escargot, e) grenouille, f) rotifère (non visible), (SI)**

## **II- ORGANISATION NEUROVISUELLES :**

### **II-1- Les horloges biologiques :**

#### **+Raison de l'existence d'un synchroniseur :**

Beaucoup de savants se sont demandés pourquoi tous les êtres vivants sont dotés d'horloges biologiques. En fait, se demander pourquoi nous avons des rythmes circadiens revient à se demander pourquoi nous avons besoin d'être éveillés ou, à l'inverse, pourquoi nous avons besoin de sommeil. Le sommeil des mammifères, en particulier de l'Homme dépend de nombreux mécanismes acquis successivement au cours de l'évolution. Pour expliquer sa nécessité, les biologistes ont émis un certain nombre de théories dont voici les quatre plus importantes (SI).

**Théorie éthologique ou instinctive:** une fois toutes ses taches de survie et de reproduction sont accomplies, l'animal peut se cacher et perdre conscience de son environnement: il dort. Le sommeil semble alors être une réponse innée comportementale et adaptative.

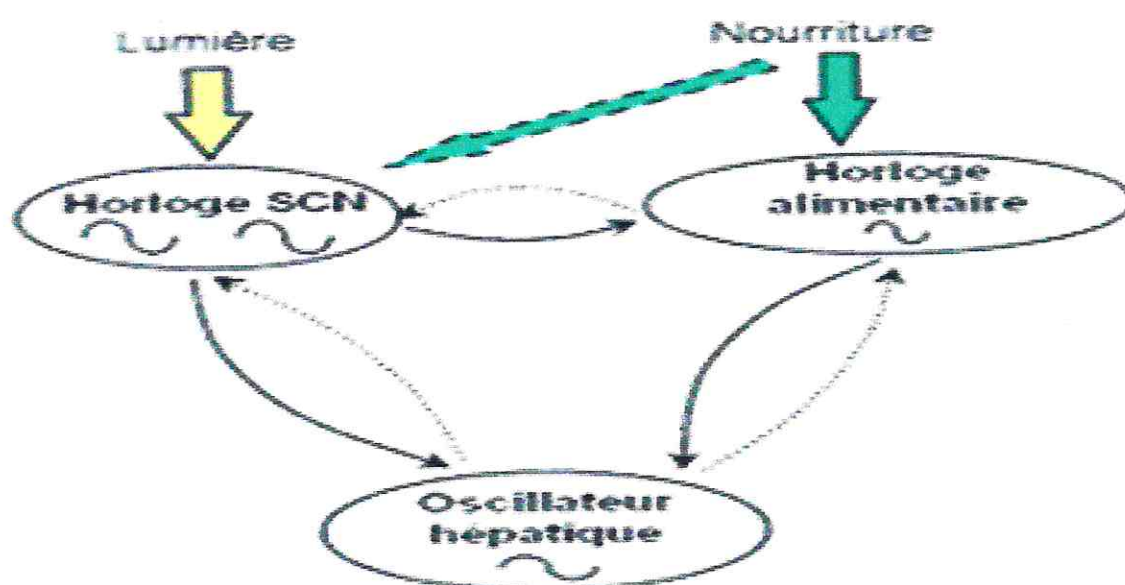
**Théorie restauratrice:** de la même façon qu'on peut avoir faim ou soif, le système nerveux a besoin d'être restauré suite à une fatigue mentale et psychologique. Il en profite alors pour se "recycler", moléculairement parlant. Cependant, aucune expérience rigoureuse n'a pu démontrer cette théorie qui remontrait à Aristote ou à Shakespeare.

**Théorie protectrice :** autre facette de la théorie restauratrice, elle affirme que pour protéger l'organisme des inconvénients d'un éveil prolongé, nous dormons. Cela, selon Piéron et Pavlov, deux psychologues du début du XX<sup>ème</sup> siècle.

**Conservation de l'énergie :** Le sommeil à ondes lentes, dit "léger" permet de conserver de l'énergie dans la mesure où la consommation de glucose et de dioxygène de l'organisme baisse à son minimum vital. C'est le métabolisme de base. S'il a existé des animaux arythmiques, c'est à dire totalement et perpétuellement éveillés, ils ont donc

obligatoirement eu plus besoin de nourriture que ses congénères qui pouvaient dormir ou hiberner. Cette théorie semble la plus probable, malgré quelques résultats expérimentaux paradoxaux (SI).

Lorsque le génome décide de se saisir d'un facteur de l'environnement, par exemple la lumière, pour en faire un synchroniseur de certains processus biologiques, il peut choisir d'affecter un ou plusieurs organes au repérage des variations du signal et à la transmission des ordres qui vont déclencher les dits processus. L'usage d'un synchroniseur externe à l'organisme est nécessaire pour que l'activité biologique de l'individu soit modulée en fonction des ressources du milieu naturel : il y a un meilleur moment (du jour, de l'année) pour chasser, pour mettre les petits au monde, pour constituer les réserves alimentaires, pour se reposer, etc. Pour la rythmicité remarquable de la fonction de reproduction chez les animaux, elle peut être considérée comme "le produit d'une internalisation du temps astronomique", qui s'est effectuée au cours de l'évolution, dans le patrimoine génétique des espèces. Toutefois, les rythmes mémorisés dans le génome le sont avec une marge d'erreur plus ou moins grande; le cycle endogène des animaux ne comporte que 320 à 340 jours au lieu de 365 1/4 ; d'où la nécessité de procéder régulièrement à un recalage des horloges internes grâce à un synchroniseur extérieur (SI).



**Fig (7) : Schéma représentant couplage de horloges circadiennes d'après (Challet, 2007).**

## **Quels sont les organes aux quels sont déléguées les fonctions d'horloges biologiques ?**

Aujourd'hui, on a tendance à croire à une multiplicité d'horloges ayant leur siège dans chaque cellule de l'organisme et fonctionnant au sein d'un système très décentralisé mais hiérarchisé (Vaillant, 1988). Ceci dit, quelques organes particuliers jouent un rôle d'horloge biologique plus ou moins bien attesté :

\*Le noyau supra chiasmatique (NSC) (deux ensembles symétriques de neurones dans le cerveau, à la base du troisième ventricule, juste au-dessus du chiasma optique) ; chez les Mammifères et les Oiseaux, il répond à l'illumination de la rétine et à la stimulation du nerf optique. Sa destruction totale et bilatérale entraîne, chez le rat, la disparition des rythmes circadiens dans les domaines suivants : activité locomotrice, prise d'aliments, température centrale, sécrétions de mélatonine, de prolactine et d'ACTH; réceptivité des neurones à l'acétylcholine, aux catécholamines, et aux morphiniques.

\* l'épiphyse (ou glande pinéale) : elle sécrète la mélatonine (voir plus loin), qui est en forte concentration la nuit; elle est sous le contrôle du NSC chez les Vertébrés supérieurs, mais pas chez le brochet, où elle dispose de ses propres photorécepteurs (Reinberg, 1989).

\* Les glandes surrénales, qui sécrètent le cortisol (qui manifeste un pic de concentration de décembre à mars), (Vaillant, 1988).

### **A- Rôle et fonctionnement des noyaux supra chiasmatique, ou NSC :**

#### **A-1-Rôle et influence des NSC :**

Cet autre élément de l'horloge biologique est localisé dans le cerveau, au niveau de l'hypothalamus, au-dessus du chiasma, point de croisement des nerfs optiques. Ces deux amas de cellules nerveuses, de quelques millimètres de diamètre, ont un rôle capital qui peut être mis en évidence par leur ablation: sans ses NSC, un rat, animal noctambule va commencer à s'endormir ou s'éveiller à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit.

A l'inverse, une équipe de biologistes du Texas viennent de montrer qu'une greffe des NSC dans le cerveau de ce même rat lui redonnait tout ses moyens en lui faisant avoir à

nouveau des rythmes biologiques normaux.

De fait, ce sont les NSC qui, par voie nerveuse vont, pendant la nuit, exciter la glande pinéale pour provoquer la sécrétion de la mélatonine qui va informer, via le sang, tous les organes du corps du jour ou de la nuit (SI).

Les NSC agissent aussi sur le cerveau par voie humorale : ils peuvent libérer certains peptides dans le liquide céphalo-rachidien, comme l'arginine vaso-pressine pendant la phase d'éveil, et du vaso-active intestinal peptide (VIP), sécrétée comme la mélatonine à partir de sérotonine, pendant la phase de sommeil.

On sait donc à présent ce qui contrôle l'épiphyse: les NSC. Mais qu'est ce qui donne leur rythme à ces derniers?

#### **A-2-Fonctionnement des NSC :**

L'activité électrique de ces glandes se reproduit à l'identique toutes les 24 heures, autrement dit, le temps exact d'un jour et d'une nuit! Il faudrait arriver à déterminer si ces glandes ont leur propre rythme ou si ce sont les variations de luminosité qui font le travail.

Pour cela, des volontaires ont été "enfermés" dans des grottes profondes, totalement privées de la lumière du jour. On s'est alors aperçu que leurs NSC avaient toujours un rythme normal et circadien, mais décalé: il durait 25 heures. De retour à la surface, et donc soumis à l'alternance du jour et de la nuit, ce rythme est revenu à 24 heures. On peut donc conclure que les NSC ont leur propre rythme mais que celui-ci se dérègle. C'est une variation de lumière sur 24 heures qui va synchroniser l'organisme. Comment la lumière influence-t-elle les NSC ?

Rappelons d'abord où se trouvent les noyaux supra chiasmatisques: près du chiasma, point de jonction des nerfs optiques. Cette horloge est précise, mais a besoin de la lumière, qu'elle reçoit de la rétine par ces fibres nerveuses, et qui, comme l'horloger, va la remettre à l'heure. Après une série d'expérience, on a pu conclure que les NSC étaient directement sensibles à la lumière, c'est à dire que même sans l'intermédiaire de ces nerfs, mais directement exposées au jour, elles gardaient un cycle d'activité de 24 heures.

Par ailleurs, on a provoqué un changement artificiel de fuseau horaire chez des oiseaux, en remplaçant leurs glandes pinéales par des glandes prélevées sur d'autres oiseaux d'une zone horaire différente. Ces glandes n'étaient contrôlées par des NSC qui ne recevaient pas les mêmes stimuli, autrement dit pas la même lumière, qui est donc bien l'origine de la synchronisation des rythmes.

Chez les mammifères, l'horloge circadienne principale (celle qui contrôle les grandes fonctions) est localisée dans les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus (NSC). Les mécanismes moléculaires permettant d'expliquer la genèse d'une oscillation circadienne sont maintenant partiellement identifiés. À ce jour, huit gènes, appelés « gènes-horloges », ont été identifiés: Per1, Per2, Per3, Clock, BMAL1, Cry1, Cry2 et Caséine (Sherman, 2000) et (Reppert, 2001).

Les NSC, toutefois, ne constituent pas une structure homogène. Ils sont composés de plusieurs populations neuronales (neurones à vasopressine -VP-, à vasoactive intestinal peptide -VIP-, à somatostatine, à gastrin releasing peptide -GRP-, etc.) qui possèdent des afférences et des efférences distinctes et ont probablement des fonctions différentes. Les analyses électrophysiologiques montrent que la majorité de ces neurones présentent des propriétés d'horloge et que chacun d'entre eux oscille à son propre rythme (Welsh, 1995).

Si les progrès récents ont permis de comprendre comment une cellule de l'horloge est capable d'engendrer un rythme, ils ne permettent pas encore de comprendre comment, de ces éléments dispersés, résulte un signal circadien unique qui est lui-même distribué à l'organisme.

Il est probable que cette « unification » soit le résultat de l'organisation fonctionnelle complexe de cette structure. L'étude des mécanismes moléculaires et cellulaires responsables de la synchronisation de l'horloge (ou des horloges au niveau cellulaire), même s'ils sont encore mal compris, renforce cette interprétation

Les premières données sur l'expression des gènes Per1 et Per2 en réponse à des stimulations lumineuses, par exemple, indiquent une régionalisation fonctionnelle dans les noyaux suprachiasmatiques: une zone ventro-latérale (contenant majoritairement des neurones à VIP et à GRP) qui serait directement impliquée dans les mécanismes

de la synchronisation et une zone dorso-médiale relativement insensible à la lumière (majorité de neurones à VP) qui serait, elle, impliquée dans l'élaboration du signal circadien. Deux questions se posent alors :

(1) comment, une fois construit (et éventuellement synchronisé à 24 h par le cycle jour/nuit), le signal circadien est-il distribué? Et

(2) comment celui-ci est-il intégré aux divers niveaux d'organisation de l'organisme?

L'hypothèse de départ sous-tendant les travaux de plusieurs équipes est que les NSC transféreraient ce signal circadien aux autres structures du système nerveux par la sécrétion rythmique de divers neurotransmetteurs à partir des terminaisons des voies nerveuses efférentes.

Cela pose le problème de l'identification des neurotransmetteurs impliqués et des structures cibles. Les données anatomiques accumulées au cours des dernières années montrent que les neurones des NSC, à l'exception notable des noyaux paraventriculaires du thalamus et des noyaux géniculés latéraux, se projettent presque exclusivement sur des structures hypothalamiques ( Kalsbeek,2001) et ( Buijs,2001) .

Sur la base de ce qui est connu du rôle de ces structures cibles hypothalamiques, il est possible de définir les fonctions qui pourraient être influencées par les NSC à ces différents niveaux (Buijs ,1996).

Quels sont les neurotransmetteurs impliqués? Les neurones des NSC contiennent des neuropeptides (VIP, VP, GRP et somatostatine). La présence de GABA et de glutamate dans certaines cellules des NSC a aussi été mise en évidence. Un grand nombre des axones des NSC contiennent du GABA et des neuropeptides (Buijs ,2001).

La présence de tous ces neurotransmetteurs dote l'horloge d'un grand nombre de combinaisons possibles pour transmettre son signal.

Par exemple, le contrôle de la libération rythmique de la corticostérone par les NSC se fait par au moins deux mécanismes qui impliquent des neurotransmetteurs différents.

(1) La libération de VP, le jour, à partir des terminaisons des neurones à VP inhibe la sécrétion de corticostérone en agissant directement - ou indirectement - via les noyaux dorso-médians de l'hypothalamus sur les neurones endocrines des noyaux

aventriculaires de l'hypothalamus (NPV), qui contiennent du CRH et règlent la sécrétion d'ACTH par l'hypophyse (Kalsbeek ,1996).

(2) Par une action directe sur les neurones « autonomes » des NPV, les NSC induisent aussi, *via* le système nerveux autonome, une modification rythmique de la sensibilité du cortex surrénalien à l'ACTH (Buijs, 2001).

L'exemple le plus connu de ce rôle du système autonome dans la distribution du message circadien est la sécrétion rythmique de mélatonine. Par une voie polynuronale impliquant les neurones « autonomes » des NPV, les neurones des NSC se projettent sur des neurones préganglionnaires des noyaux intermédiolatéraux de la corde spinale qui innervent les ganglions cervicaux supérieurs. À partir de ces ganglions, des fibres sympathiques rejoignent la glande pinéale.

La libération nocturne de noradrénaline (NA) induit une augmentation rapide de la synthèse de mélatonine. Les projections GABAergiques des NSC sur les NPV sont directement impliquées dans l'effet inhibiteur de la lumière sur la synthèse de mélatonine et l'administration, la nuit, d'agonistes GABAergiques dans les NPV diminue l'activité des fibres sympathiques (Kalsbeek ,2000).

La question qui se pose maintenant est de savoir si ces effets du GABA sur la libération de NA et la synthèse de mélatonine sont spécifiques du contrôle du rythme de synthèse de mélatonine par l'horloge ou s'ils relèvent d'un phénomène plus général de contrôle des activités autonomes par l'horloge. En effet, une telle influence de l'horloge sur le système autonome pourrait aussi expliquer l'organisation circadienne de nombreuses fonctions (par exemple, L'homéostasie du glucose, la pression artérielle,etc.(Buijs,2001).

Même si l'ensemble des neurotransmetteurs impliqués n'est pas encore identifié, ces dernières expériences ont permis de démontrer que le GABA et la VP sont essentiels pour permettre à l'horloge d'entraîner à 24 h les sécrétions hormonales de mélatonine et de corticostérone. En revanche, nos connaissances sur les mécanismes impliqués dans le contrôle des activités comportementales et, en particulier, de l'activité locomotrice circadienne sont encore très limitées. Une transmission humorale ne peut être exclue. En effet, chez des rongeurs dont l'horloge (NSC) a été détruite, la greffe de NSC permet de restaurer un rythme circadien normal d'activité locomotrice. Aucune connexion nerveuse



ne semble s'établir entre le greffon et l'hôte, ce qui expliquerait d'ailleurs pourquoi les rythmes de corticostérone et de mélatonine ne sont pas rétablis.

Cette observation indique que la diffusion d'un composé à partir du greffon serait suffisante pour induire le rythme d'activité. La nature de ce(s) facteur(s) diffusible(s) comme les structures cibles ne sont pas encore identifiées bien que la zone sub-paraventriculaire de l'hypothalamus, une structure cible importante des NSC, soit un site privilégié pour l'action d'un tel facteur humoral.

## **B- Des hormones donneuses de temps :**

### **B-1-Identification de la mélatonine :**

En 1958, Lerner, de l'école de médecine de Yale découvre un rythme de ce type dans la biosynthèse d'une hormone, la mélatonine, identifiée dans l'épiphyse (ou glande pinéale) de bovins. Celle-ci s'avère être à l'origine du maintien des rythmes circadiens normaux d'activité locomotrice chez le moineau , l'étourneau , le lézard ou encore l'Homme . En détruisant l'épiphyse , on empêche la synthèse de l'hormone et par conséquent, l'organisme perd son cycle d'activité journalier ainsi que la plupart de ses rythmes circadiens ; en le leur greffant à nouveau, ils retrouvent leur notion du temps, leur comportement cyclique. Cette substance est exclusivement produite dans l'obscurité: plus la nuit est longue, plus sa production dure longtemps. En mesurant cette durée, le cerveau est capable de déterminer la longueur du jour et donc de la saison..

Lorsque le Soleil se lève, les cellules de la rétine perçoivent la forte luminosité et envoient le message à l'hypothalamus qui va inhiber la synthèse de la mélatonine, qui est la donneuse de temps de l'horloge biologique, et qui indique à l'organisme que la nuit tombe pour le préparer au repos. Cependant, si la lumière stoppe la synthèse de l'hormone, l'obscurité ne la déclenche qu'à des moments, ou phases, définis à l'avance par l'horloge endogène.

## **B-2-Synthèse de la mélatonine :**

Elle est synthétisée dans la glande pinéale à partir de la sérotonine, ou 5-hydroxy-triptamine (5HT), un neurotransmetteur synthétisé par les neurones sérotoninergiques, à partir d'un acide aminé essentiel, le tryptophane. La sérotonine agit sur la régulation du sommeil. La synthèse de la mélatonine s'effectue en deux stades. Dans un premier temps, la sérotonine gagne un groupement acétyl provenant de l'acétyl coenzyme A, par l'intermédiaire de la N-acétyltransférase, une enzyme, et se transforme ainsi en N-acétylsérotonine. Dans un deuxième temps, la N-acétylsérotonine est transformée en mélatonine sous l'action de l'enzyme hydroxyindole - O - méthyltransférase (HIOMT), en gagnant un groupement méthyle provenant de la S-adénosylméthionine (SI).

En 1963, Wilbur Quay, de l'université de Californie de Berkeley, a trouvé que le taux de sérotonine dans l'épiphyse des rats, soumis à une alternance de périodes de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité, augmentait puis diminuait en fonction du cycle journalier: ils étaient élevés pendant le "jour" et bas pendant la "nuit". Et inversement, les taux de mélatonine étaient bas le jour et élevés la nuit (SI).

En 1965, dans le but d'expliquer ce rythme inverse de sécrétions, Julius Axelrod, Richard Wurtman et Solomon Snyder du National Institute of Mental Health, montrent que chez le rat, l'enzyme de synthèse de la mélatonine, l'HIOMT, était elle aussi sensible à la lumière et à l'obscurité: le maximum d'activité de l'enzyme pendant la période d'obscurité est trois fois plus élevé que cette même activité en phase d'éclaircissement. Les variations nyctémérales (quotidiennes ou circadiennes) des taux de sérotonine et de mélatonine dans la glande pinéale sont liées aux variations de l'activité de l'HIOMT au cours du nyctémère. Celles-ci sont cependant trop faibles pour être la seule cause d'une telle variation de la concentration de mélatonine déversée dans le sang, il y a donc un autre facteur en jeu que l'HIOMT, qui doit être plus important. On a remarqué que les variations de la N-acétyltransférase, l'autre enzyme impliquée dans la synthèse de la mélatonine, étaient beaucoup plus importantes. Ces grandes variations d'amplitude sont le facteur de régulation des variations plus faibles des taux de sérotonine et de mélatonine dans la glande pinéale.

Dans l'obscurité, l'activité de la N-acétyltransférase augmente, de sorte que de grandes quantités de mélatonine sont synthétisées et que les réserves de sérotonine fabriquées pendant la journée sont épuisées. A l'inverse, l'activité de la N-acétyltransférase décroît à la lumière: seule une faible quantité de mélatonine est synthétisée et les réserves de sérotonine se refont. Il faut enfin ajouter que ceci est valable que l'organisme animal soit diurne ou nocturne, ce qui peut paraître surprenant et rester relativement problématique.

Pour bien mettre en évidence la relation intime entre l'activité de la N-acétyltransférase et la luminosité, on a soumis des poulets, précédemment synchronisés sur un rythme circadien de lumière et d'obscurité, à des variations d'éclairement inattendues. Lorsque les poulets sont plongés dans l'obscurité pendant une phase d'éclairement, l'activité de l'enzyme n'augmente pas. Cependant, quelque soit le moment d'éclairement intense au milieu d'une période d'obscurité, on observe une chute brusque de l'activité de la N-acétyltransférase. Cela montre que si la lumière inhibe l'activité de cette enzyme, l'obscurité ne la déclenche qu'à des moments déterminés par une horloge endogène (SI).

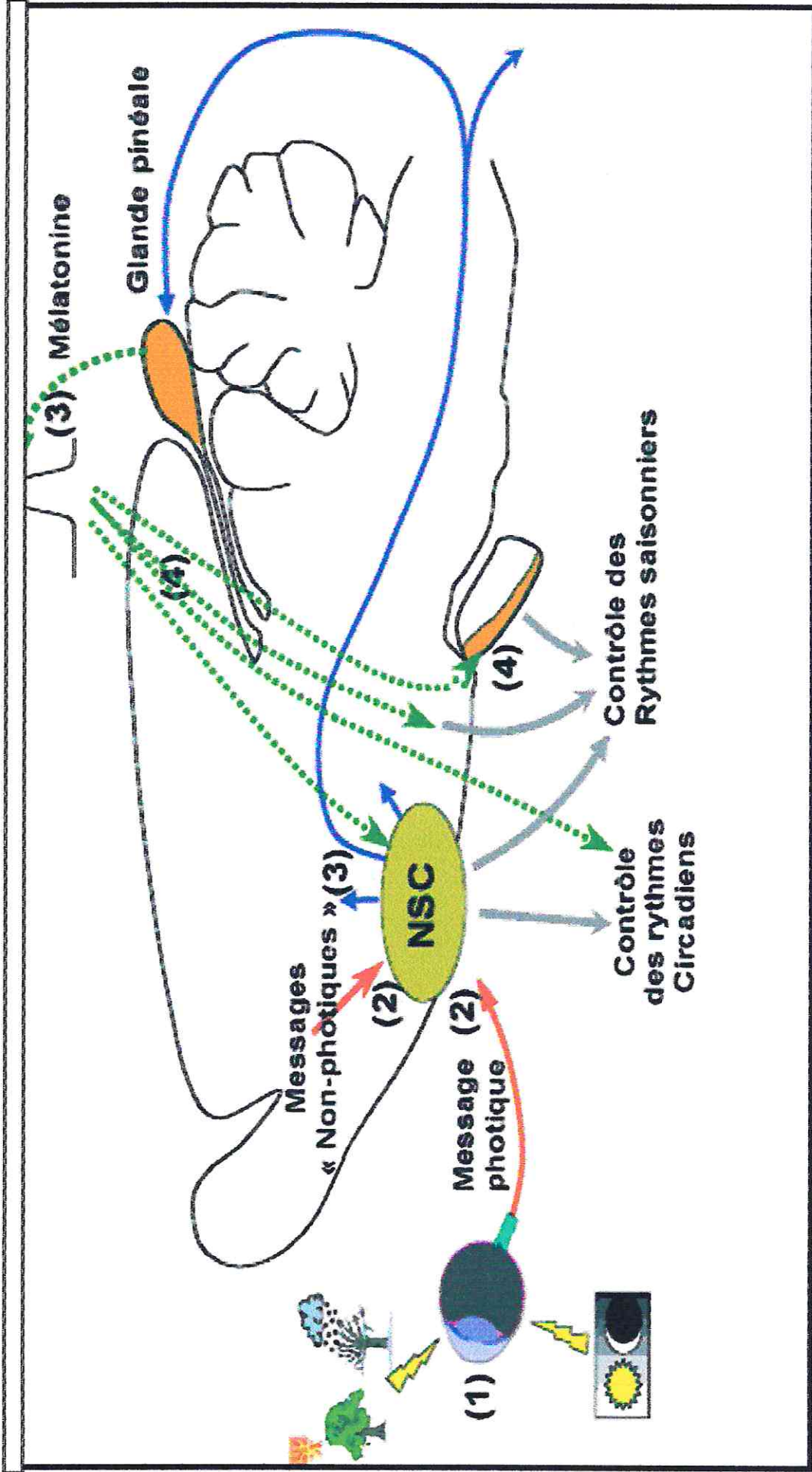
L'extrapolation du rythme circadien de la mélatonine à un rythme circannuel est observé dans la nature :

chez les Mammifères, la mélatonine joue un rôle synchronisateur de l'activité sexuelle. En automne, la glande pinéale sécrète davantage de mélatonine, qui a une fonction antigonadotrope (ainsi, peut-être, que l'arginine et la vasotocine). C'est au printemps que les glandes sont réactivées (baisse de sécrétion de la mélatonine) (SI). Toutefois, nous ne devons pas perdre de vue que la photopériode est un signal conditionnel et non pas absolu. Voici un exemple : les animaux possédant les glandes pinéales les plus développées (pinnipèdes, cervidés, manchots) vivent sous des latitudes élevées (fortes variations de la photopériode), alors que ceux où elles sont peu développées (édentés, pangolins), voire totalement absentes (crocodiliens) vivent sous des latitudes basses ( $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ ) (faibles variations de la photopériode) ; ceci est un indice du lien joué par la glande pinéale entre photopériode et activité reproductrice. Mais, d'un autre côté, de nombreux mammifères de la zone équatoriale (très faibles variations de la photopériode) ont une glande pinéale bien développée et bien active, mais en liaison avec d'autres facteurs de l'environnement : température, humidité, régime

des pluies, nourriture, odeurs.... Chez les reptiles, il existe des relations étroites entre le fonctionnement de la glande pinéale et les variations thermiques externes, probablement parce que le génome les " considère " comme des signaux plus fiables que la photopériode (Vivien-Roels, 1980). De même, la sérotonine a une influence circannuelle : sécrétée en moins grande quantité en octobre novembre, elle incite alors à une consommation de glucides plus élevée, ce qui permet de constituer des réserves de lipides pour l'hiver. A l'inverse, la dopamine, sécrétée en plus grande quantité en février mars, a une action lipolytique, engendrant un amaigrissement relatif l'été, (Creff, 1988). Les dépressions des saisons à jours courts, les troubles du sommeil, les troubles du fonctionnement corticosurrénalien, tous justiciables d'un traitement par photothérapie, ont été mis en rapport avec la désynchronisation des rythmes de la mélatonine par rapport à l'environnement extérieur (Boissin ,1988) et (Boissin-Agasse, 1988).

### **B-3-L'hormone adrénocorticotrope :**

Tous les matins, une heure avant le réveil, l'hypophyse libère dans le sang de l'hormone adrénocorticotrope: celle-ci va "de suite" exciter les glandes surrénales pour qu'elles produisent du cortisol, une autre hormone qui, quant à elle, va inciter le foie à relâcher du sucre dans la circulation sanguine. Les neurones du cerveau ont ainsi des nutriments en abondance pour réveiller tout l'organisme rapidement mais en douceur.



**Fig (8) : Schéma représentatif du circuit : photopériode – rythmes circadien - rythmes saisonniers**

## **C-La reproduction :**

### **C-1-Définition de la reproduction :**

La reproduction s'inscrit chez tous les êtres vivants comme une nécessité impérieuse de perpétuer l'espèce au travers de générations successives afin d'occuper au mieux la niche qui est lui est dévolue, autrement dit, afin que les individus des différentes générations circulent la matière et l'énergie dans l'écosystème conformément à ce que l'espèce fait habituellement. La reproduction est impérieuse parce que c'est la seule alternative à la mort individuelle inéluctable.

Tôt ou tard, en effet, un système vivant ouvert décroît, devient sénescant, morbide et meurt. D'une manière générale, chez les espèces animales les plus simples, le comportement de reproduction se réduit à une séquence d'actes moteurs successifs, totalement préprogrammée chez les invertébrés, largement innée chez les vertébrés les plus simples et dont le seul objectif est l'accouplement ou la fécondation externe. Ce comportement est déclenché par diverses informations sensorielles, endocriniennes et motrices entre un ou plusieurs mâles fécondants et une ou plusieurs femelles fécondables. Chez les espèces animales plus évoluées, le comportement de reproduction dont une bonne part reste innée présente des aspects qui doivent beaucoup aux apprentissages. Chez les animaux, ces apprentissages sont vécus naturellement, par exemple, au cours des jeux ou par imitation des adultes (SI).

### **C-2- Le cycle sexuel de la vache (non saisonniers) :**

Tout le long de l'année, l'appareil génital de la vache, des ovaires aux voies génitales, subit des transformations au cours d'un cycle de 16 à 24 jours (en moyenne 20 à 21 jours).

Dans ce cycle on distingue quatre phases :

1- Le pro-oestrus : il correspond au développement dans l'ovaire d'un ou deux follicules et à la sécrétion croissante d'oestrogènes (surtout l'oestradiol), sa durée est de trois jours en moyenne, (Hamaidi, 2001).

2- L'oestrus ou chaleurs : correspond à la maturation du follicule et à la sécrétion maximale d'oestrogènes, durée moyenne est d'un jour ;il faut noter que les oestrogènes stimulent le désir sexuel.

3- Post oestrus : débute par l'ovulation et se caractérise la formation du corps jaune et la sécrétion croissante de progestérone ; hormone qui prépare la gestation, cette période dure environ 8jours, (Hamaidi, 2001).

4- Di-oestrus : voit la régression du corps jaune faute de gestation et la chute de la sécrétion de la progestérone, elle dure 8jour environ (Lafri, 2002)

Tableau représentant les chaleurs chez les différentes femelles domestiques : (Hamaidi, 2001).

<b>Espèce</b>	<b>Age à la puberté</b>	<b>Type d'activité sexuelle</b>	<b>Durée du cycle</b>	<b>Durée de l'oestrus</b>
Vache	10à12mois	Toute l'année	21jours	18heures
Brebis	6à8mois	Saisonnière : juillet -janvier	17jours	24à36heures
Chèvre	8mois	Saisonnière : Juillet-decembre	21jours	32à40heures
Jument	12à15mois	Saisonnière : Février-avril	22jours	Variable6jours
Truie	5à7mois	Toute l'année	21jours	36à48heures

### **C-3- Rythmes saisonniers de reproduction chez les animaux domestiques : modèles d'étude et applications en élevage :**

Il est apparu que différentes approches pouvaient être utilisées pour manipuler les rythmes biologiques (lumière, mélatonine, drogues, chronobiotiques). L'approche, toutefois, est très empirique et de réels progrès dans le traitement ou la prévention des troubles liés aux rythmes ne pourront être réalisés qu'à partir de connaissances précises sur les mécanismes moléculaires, cellulaires, nerveux et neuroendocriniens impliqués. La maîtrise de la reproduction des différentes espèces de mammifères domestiques d'intérêt zootechnique (bovins, ovins, caprins, porcins, équins) a pu se faire ces dernières années grâce à une meilleure connaissance des mécanismes physiologiques impliqués dans cette fonction. La mise en place de « techniques » directement applicable sur le terrain (synchronisation de l'oestrus, « manipulation lumineuse » des mâles pour l'insémination artificielle, transfert d'embryons, etc....) est l'aboutissement des recherches réalisées sur ce thème (Malpaux, 2002).

L'existence d'un rythme annuel de reproduction est une caractéristique de la majorité des espèces animales. Malgré la domestication liée au développement de l'élevage, certaines espèces comme les ovins, les caprins ou les équins ont conservé ce caractère saisonnier.

En particulier, chez les ovins, une baisse importante de la production spermatique est observée entre février et juillet chez les mâles alors que les femelles présentent généralement un arrêt des ovulations à ce moment de l'année. La saisonnalité de la reproduction a été largement étudiée chez les ovins à double titre: la connaissance des mécanismes sous-jacents et le développement de traitements de maîtrise de la saison de reproduction en élevage. Les ovins constituent un modèle de choix pour étudier les mécanismes neuroendocriniens de la saisonnalité pour plusieurs raisons : les variations saisonnières de reproduction sont très exprimées, leur longue durée de vie autorise l'étude d'une horloge annuelle sur plusieurs cycles, la taille de leur encéphale permet d'accéder spécifiquement à différentes structures nerveuses et la possibilité de faire des prélèvements sanguins répétés conduit à une analyse fine de la sécrétion des hormones à libération pulsatile (Chemineau, 2002).



Comme chez la plupart des espèces à reproduction saisonnée, les variations annuelles de photopériode contrôlent l'activité sexuelle.

L'information photopériodique est traduite en rythme circadien de sécrétion de mélatonine par la glande pinéale (sécrétion élevée pendant la nuit, faible pendant le jour).

La durée de sécrétion nocturne de mélatonine qui est proportionnelle à la durée de la nuit est la caractéristique importante de ce rythme de sécrétion. L'utilisation du modèle ovin a permis de mettre en évidence plusieurs mécanismes impliqués dans les effets de la mélatonine sur la reproduction :

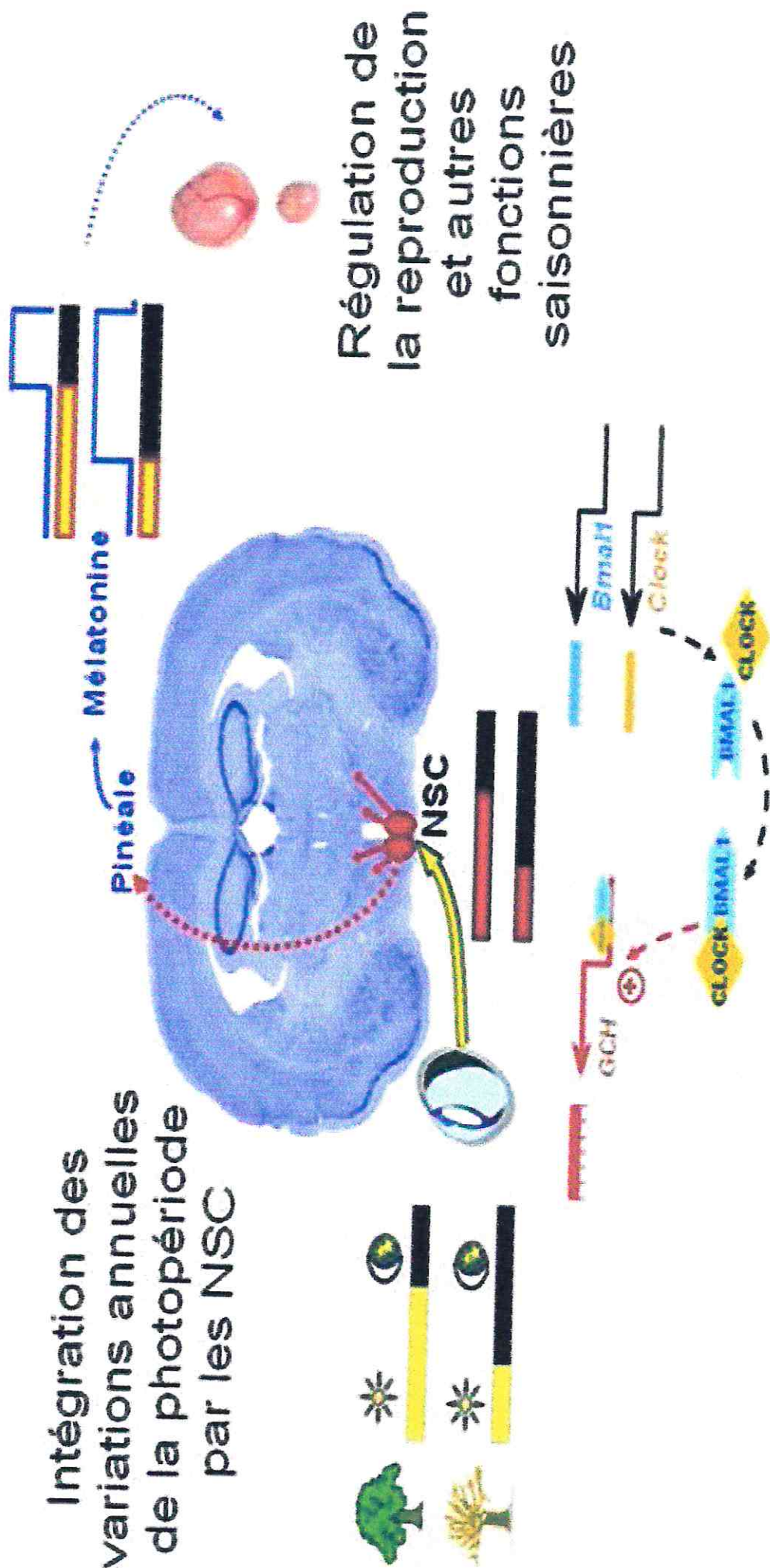
(1) la mélatonine modifie la fréquence de libération des pulses de Gonadotropin-Hormone Releasing Hormone (GnRH).

(2) la mélatonine agit sur des récepteurs localisés dans l'hypothalamus pré-mamillaire, et

(3) la mélatonine est libérée parallèlement dans le sang et le liquide céphalo-rachidien mais les concentrations sont environ 100 fois plus élevées dans ce dernier milieu.

Sur le plan de la maîtrise de la reproduction, des traitements utilisant la lumière ont été développés pour avancer la saison sexuelle ou pour induire une activité sexuelle pendant la saison de repos sexuel. Ces traitements sont basés sur l'action stimulante des jours courts. Les jours longs peuvent être utilisés préalablement pour sensibiliser les animaux aux jours courts. L'utilisation de la mélatonine peut se substituer à l'exposition à des jours courts. Ces traitements permettent d'induire des cycles oestriens chez la femelle et une production spermatique élevée chez les mâles. Un effort important est en cours pour analyser les bases génétiques de la saisonnalité afin d'obtenir des marqueurs génétiques utilisables pour sélectionner les animaux reproducteurs les moins saisonnés (SI).

## Intégration des variations annuelles de la photopériode par les NSC



**Fig (9) :** Schéma représentant : les intégrations des variations annuelles de la photopériode par les NSC

*CHAPITRE III :*  
*QUELQUES TRAVAUX*  
*RÉALISÉS PAR*  
*DIFFÉRENTS CHECHEURS*  
*CONCERNANT L'ÉTUDE.*

# **I- TRAVAUX RÉALISÉS SUR LA VISION :**

## **I-1-La rétine neurale: entrée neuro-sensorielle du cycle circadien :**

La rétine neurale est responsable de la détection, la traduction et le traitement primaire de la lumière. La lumière active deux systèmes parallèles : d'une part le système visuel « classique », où l'énergie lumineuse est décryptée pour permettre une représentation spatiale de l'environnement, et d'autre part le système circadien, dit « non-visuel », où l'information photique caractérisée par des changements d'irradiance associés au jour et à la nuit synchronise nos fonctions avec l'environnement en entraînant l'horloge biologique. En plus de son rôle synchronisateur de l'horloge centrale, la rétine présente des activités elles-mêmes cycliques, telle que la synthèse du pigment visuel, activités contrôlées par une horloge circadienne endogène. La coordination de la physiologie rétinienne par une horloge endogène joue très probablement un rôle important dans sa fonction et sa survie (Hicks, 2004).

## **I-2-Des profils d'expression des transcrits du gène nocturnin dans la rétine d'une souris atteinte de dégénérescence photorécepteurs :**

Le gène Nocturnin possède un profil d'expression ubiquitaire obéissant à une régulation circadienne dans le foie et dans la rétine. Des études récentes, effectuées dans la rétine du Xenope et de la Souris, ont montré d'une part que les transcrits étaient majoritairement localisés dans les photorécepteurs, et d'autre part, qu'ils présentaient un niveau maximum d'expression dans les heures suivant l'extinction de la lumière (Barbot, 2002) et (Col, 2002). Des chercheurs ont recherché quel pouvait être le profil d'expression rétinien du gène Nocturnin chez des Souris dystrophiques dont les photorécepteurs dégèrent dès les premières semaines de vie (Col, 2002).

Pour cela, ils ont utilisé des Souris de souche CBA, âgées de 3 à 4 mois, soumises soit à une alternance de 12 h de lumière/12 h d'obscurité (LD), soit à une obscurité complète

(DD) . Pendant 5 jours avant le sacrifice. Les rétines des Souris LD et DD étaient prélevées toutes les 3 heures durant le nyctémère et préparées pour l'hybridation in situ. En parallèle, le niveau d'expression circadien des transcrits du gène Nocturnin dans le foie était vérifié par RT-PCR. Dans la rétine des Souris dystrophiques LD et DD, les transcrits du gène Nocturnin sont localisés principalement dans les cellules ganglionnaires et chez les Souris LD, ils sont aussi observés dans des sous populations cellulaires de la couche nucléaire interne.

Le niveau d'expression est beaucoup plus faible chez les Souris DD que chez les Souris LD. Par ailleurs, l'expression rythmique observée dans les rétines des Souris normales apparaît plus faible (voire inexistante) chez les Souris dystrophiques. En revanche, cette rythmicité est parfaitement conservée dans le foie. En conclusion, la dégénérescence des photorécepteurs ne supprime pas l'expression du gène Nocturnin dans la rétine mais provoque un déplacement des territoires d'expression vers les cellules des couches plus internes. Nos résultats suggèrent une influence des photorécepteurs sur l'expression rythmique du gène Nocturnin, mais aussi présupposent l'existence d'autres mécanismes capables d'induire la rythmicité dans le foie mais indépendants de la perception de la lumière par les photorécepteurs.

### **I-3- La suppression des bulbes olfactifs modifie la période et l'entraînement par la lumière des rythmes circadiens chez un primate :**

Chez les rongeurs, les modifications physiologiques et comportementales liées la suppression des bulbes olfactifs suggèrent que les bulbes olfactifs auraient un effet direct sur les structures cérébrales contrôlant les rythmes biologiques (Perret, 2002). En utilisant des méthodes télémétriques chez un primate nocturne (*Microcebus murinus*), les rythmes de température corporelle (Tb) et d'activité locomotrice (LA) ont été étudiés chez des mâles bulbectomisés (N=10) et des témoins (N=10). En condition de libre cours (0.002

lux), la bulbectomie ne modifie pas les profils du rythme circadien de Tb, caractérisé par la présence d'une phase de torpeur en fin de nuit subjective avec des Tb minimales de 35.2 ( $\pm$ ) 0.1°C (N = 20). Par contre elle entraîne un raccourcissement significatif de la période circadienne [2.4 ( $\pm$ ) 0.2h] versus 23.4 ( $\pm$ ) 0.3) chez les témoins] sans cependant changer le ratio nuit/jour. En cycle photopériodique entraîné (12h/12h), la bulbectomie modifie les paramètres de la torpeur diurne avec en particulier des Tb minimales apparaissant plus tardivement (Schilling, 2002).

En réponse à une avance ou un retard de phase de 6h, la resynchronisation des rythmes de Tb et LA sur le nouveau cycle imposé est perturbée avec un retard de 2 à 3 jours chez les animaux bulbectomisés, comparé aux réponses des témoins. Enfin, en libre cours ou en cycle entraîné, la bulbectomie se traduit par une augmentation de l'activité locomotrice pendant la phase de repos subjectif ou diurne. Les effets dépresseurs de la bulbectomie dans l'expression des rythmes journaliers confirmeraient ainsi l'existence de connexions directes entre les bulbes olfactifs et les structures cérébrales régulatrices des rythmes biologiques. Chez le Microcèbe, primate pour lequel la communication chimique est prépondérante dans les relations sociales, ces interactions pourraient jouer un rôle prépondérant dans l'entraînement social des rythmes biologiques.

## **II- TRAVAUX RÉALISÉS SUR LE NSC :**

### **II-1-Analyse structurale des noyaux suprachiasmatiques chez deux rongeurs : La gerbille et la souris en photopériode standard : 12L / 12D :**

Les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus sont considérés comme la principale composante de l'horloge biologique. Plusieurs travaux, montrent que ces noyaux génèrent et coordonnent une variété de rythmes physiologiques, endocriniens et comportementaux.

L'objectif de ce travail est d'examiner la structure de ses noyaux chez deux espèces de rongeurs vivant dans des conditions différentes : la souris de laboratoire et la gerbille, rongeur déserticole (Dekar, 2004) et (Bendjelloul, 2004).

Cette étude a porté sur 4 souris et 4 gerbilles adultes soumises à une photopériode de 12L/12D.

Les cerveaux sont prélevés en phase lumineuse et traités par la technique histologique.

Ces résultats révèlent que les deux espèces partagent la même profondeur rostrocaudale (72µm pour la gerbille et 728µm pour la souris) des noyaux suprachiasmatiques. Toutefois, ces noyaux se limitent chez la gerbille aux régions proximale et moyenne de l'hypothalamus antérieur alors que chez la souris ils se poursuivent dans la région distale.

L'analyse de leur composition cellulaire montre des cellules à cytoplasme dense et des cellules à cytoplasme clair chez les deux espèces. Ces cellules offrent cependant des taux de répartition distincts aussi bien dans le plan antéro-postérieur que dans les subdivisions dorsale et ventrale du noyau.

## **II-2-Les feuilletts intergéniculés latéraux (FIL) ne sont pas nécessaires à l'inhibition de l'hibernation par l'activité de roue chez le Hamster doré :**

Les animaux ont développé des stratégies physiologiques et comportementales qui leur permettent de s'adapter par anticipation aux variations saisonnières de leur environnement. Chez les mammifères, les noyaux suprachiasmatiques (NSC), construisent un message photopériodique à partir des fluctuations saisonnières de la durée du jour. Ce message est ensuite distribué en particulier via la durée de libération nocturne de mélatonine par la pinéale. Cela permet, par exemple, à la photopériode courte (PC) d'induire un arrêt de la reproduction chez le Hamster syrien. Si ces animaux sont soumis à la PC et au froid (7°C), ils présentent en plus des phases d'hypothermie (cycle d'hibernation), (Menet, 2002). Nous avons récemment démontré que les FIL qui projettent sur les NSC, jouent un rôle modulateur dans l'intégration par l'horloge circadienne des

changements de la photopériode. La lésion des FIL retarde cette intégration (Saboureau, 2002) et (Pévet, 2002).

Des études dans le domaine des rythmes circadiens nous apprennent de plus que les FIL participent à la médiation d'informations non-photiques (par exemple l'activité de roue) aux NSC. Or le libre accès à une roue inhibe partiellement l'atrophie des gonades des hamsters en PC et inhibe l'hibernation de ces animaux maintenus au froid. Quel peut être alors le rôle des FIL dans l'inhibition par l'activité de roue de l'intégration de la PC par les NSC ? Des chercheurs ont suivi par télémétrie la température corporelle de hamsters transférés en conditions hivernales (PC, 7°C) et réparti en quatre groupes : avec/sans accès à une roue, intacts/porteurs d'une lésion bilatérale des FIL. Ils ont confirmé que l'activité de roue empêche l'hibernation mais de façon identique chez les animaux intacts et lésés. Le rôle des FIL n'est donc pas crucial dans l'effet de la roue. De plus, tous les animaux sans roue hibernent mais la lésion des FIL modifie nettement certains paramètres de l'hibernation (Vuillez, 2002).

Les animaux lésés comparés aux intacts entrent en torpeur plus tôt (50 vs 70 jours après transfert en PC), retrouvent une normothermie stable plus tôt et sont en hypothermie moins longtemps (18 vs 32% du temps total de l'expérimentation).

### **II-3- Construction de signaux saisonniers par les NSC :**

Les rythmes biologiques permettent aux organismes de s'adapter aux variations cycliques, journalières et annuelles, de leurs environnement.

Les noyaux suprachiasmatiques (NSC) orchestrent les rythmes biologiques journaliers en leur imposant une relation de phase stable entre eux et avec l'alternance du jour et de la nuit (Vuillez, 2002).

De plus, les organismes s'adaptent par anticipation (engraissement, régulation de la reproduction...) aux variations environnementales saisonnières de température et de disponibilité alimentaire. Pour se repérer dans le temps annuel, ils sont sensibles aux variations de la photopériode c'est à dire à la durée d'éclairement par 24h.



### **Les NSC: "a clock for all seasons"**

Le groupe a montré que le fonctionnement journalier de l'horloge circadienne est affecté par la photopériode. En particulier, les gènes horloges présentent des profils d'expression différents selon que les animaux sont maintenus en photopériode printanière ou automnale. Ainsi, les NSC élaboreraient et distribueraient des messages saisonniers comme ils le font pour les messages journaliers (Vuillez, 2007).

### **III- TRAVAUX RÉALISÉS SUR LA REPRODUCTION :**

#### **III-1-Photopériodisme et reproduction chez les caprins :**

##### **III-1-1- Variations saisonnières d'activité sexuelle :**

Les caprins originaires des zones tempérées manifestent d'importantes variations saisonnières de leur activité sexuelle. Dans les deux sexes, il existe une période d'activité sexuelle maximum qui s'étend, en général, d'octobre à janvier et une période d'activité minimum de février à septembre. Les variations se manifestent, chez la femelle, par l'existence d'une période d'anoestrus (de " a " privatif et " oestrus " comportement sexuel femelle) et, chez le mâle, par une diminution de l'intensité du comportement sexuel, de la production spermatique en quantité et en qualité, entraînant des baisses plus ou moins importantes de fertilité et de prolificité dans les troupeaux (Chemineau et Cool., 1992a).

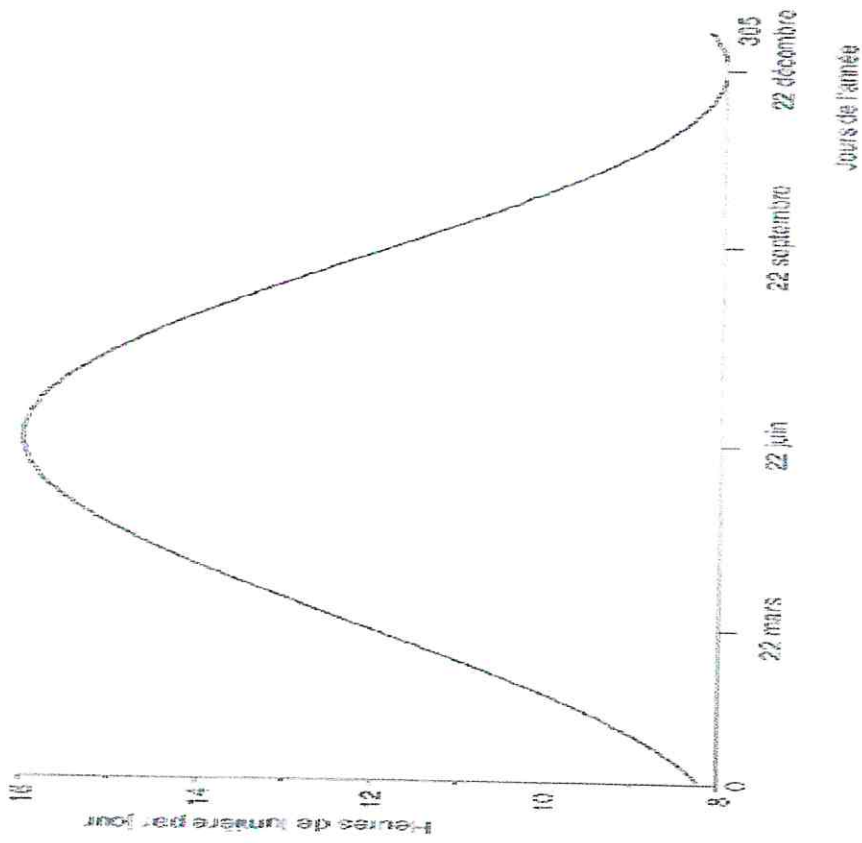
##### **III-1-1-1-Saisonnement des activités oestrienne et ovulatoire chez la chèvre :**

Afin de mettre en évidence l'existence d'alternances spontanées de périodes d'anoestrus et d'anovulation, 13 chèvres Alpines sont maintenues pendant 33 mois consécutifs (à partir du mois d'octobre de l'année 1) sous les variations photopériodiques naturelles prévalant à la latitude de 47° Nord (Tours), qui varient depuis 8 heures d'éclairement quotidien au solstice d'hiver (22 décembre), jusqu'à 16 heures d'éclairement quotidien au solstice d'été (21 juin, Figure10). Ces femelles ne subissent aucune manipulation de leur activité sexuelle et sont préservées notamment de toute fécondation, mais sont laissées en contact permanent avec un bouc vasectomisé qui est utilisé pour la détection des chaleurs deux fois par jour. L'activité ovulatoire est détectée par dosage de la progestérone plasmatique dans le plasma du sang périphérique prélevé deux fois par semaine (Chemineau et Cool., 1992a).

Lors de la seconde saison sexuelle complète (correspondant, environ, aux onze derniers mois de l'expérimentation), l'activité ovulatoire est également enregistrée par observation

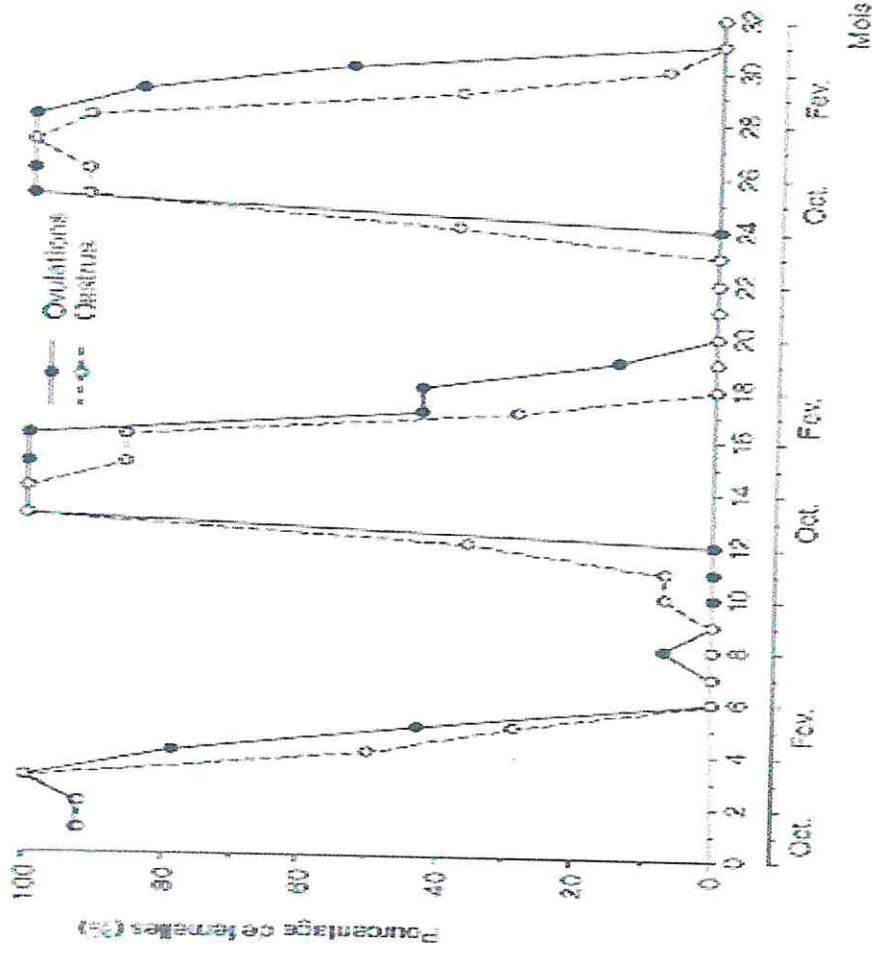
visuelle directe par endoscopie 3 à 7 jours après la détection de l'oestrus. Dans de telles conditions, des variations saisonnières très claires des activités ovulatoires et de comportement d'oestrus apparaissent (Tableau 1, Figure 11). Ainsi, en moyenne pour les trois années d'observation, l'arrêt de l'activité de comportement d'oestrus est détecté le 22 janvier, et celui de l'activité ovulatoire le 18 février. En moyenne pour les deux années d'observation, le début de l'activité de comportement d'oestrus a lieu le 5 octobre et celui de l'activité ovulatoire le 13 octobre. Ces dates sont très répétables d'une année sur l'autre intra-chèvres. Il convient de remarquer que l'activité de comportement d'oestrus débute 6 à 11 jours avant l'activité ovulatoire, du fait de l'apparition dans au moins la moitié des cas d'oestrus sans ovulation associée (observation par endoscopie), ce qui indique que le début de saison s'effectue sans possibilité de fécondation. C'est l'inverse en fin de saison sexuelle où les ovulations cessent environ un mois après le dernier comportement d'oestrus.

Ces dates de début et de fin de saison définissent des durées d'activités spontanées très limitées dans le temps: en moyenne 114 jours pour l'activité de comportement d'oestrus et 135 jours pour l'activité ovulatoire. De manière complémentaire, les durées d'anoestrus et d'anovulation s'établissent en moyenne pour les deux années d'observation à 259 et 245 jours. Les chèvres passent donc la majorité du temps dans l'année en état de repos sexuel, (Chemineau et Cool., 1992a).



**Fig (10) :**

Variations photopériodiques naturelles à la latitude de 47° Nord (Tours, France),  
Chemineau et Cool, 1992



**Fig (11) :**

Variations saisonnières du pourcentage de chèvres Alpines ovulation par mois à la latitude de 47° Nord (Tours, France).  
D'après Chemineau et Cool, 1992

	Année 1	Année 2
Premier oestrus	3/10 ±12	8/10 ±3
Dernier oestrus	22/1 ±25	1/2 ±8
Première ovulation	7/10 ±5	19/10 ±2
Dernière ovulation	21/2 ±32	2/3 ±7
Durée saison sexuelle en jours (oestrus)	114 ± 26	114 ± 32
Durée saison sexuelle en jours (ovulations)	137 ± 30	134 ± 27
Durée anoestrus en jours	262 ±29	256 ±21
Durée anovulation en jours	248 ±26	242 ±30

**Tableau 1** : Dates moyennes ( $\pm$ sd) de début et de fin des activités de comportement d'oestrus et ovulatoire et durées d'anoestrus et d'anovulation chez des chèvres Alpines hors reproduction (d'après Chemineau et Cool., 1992a)

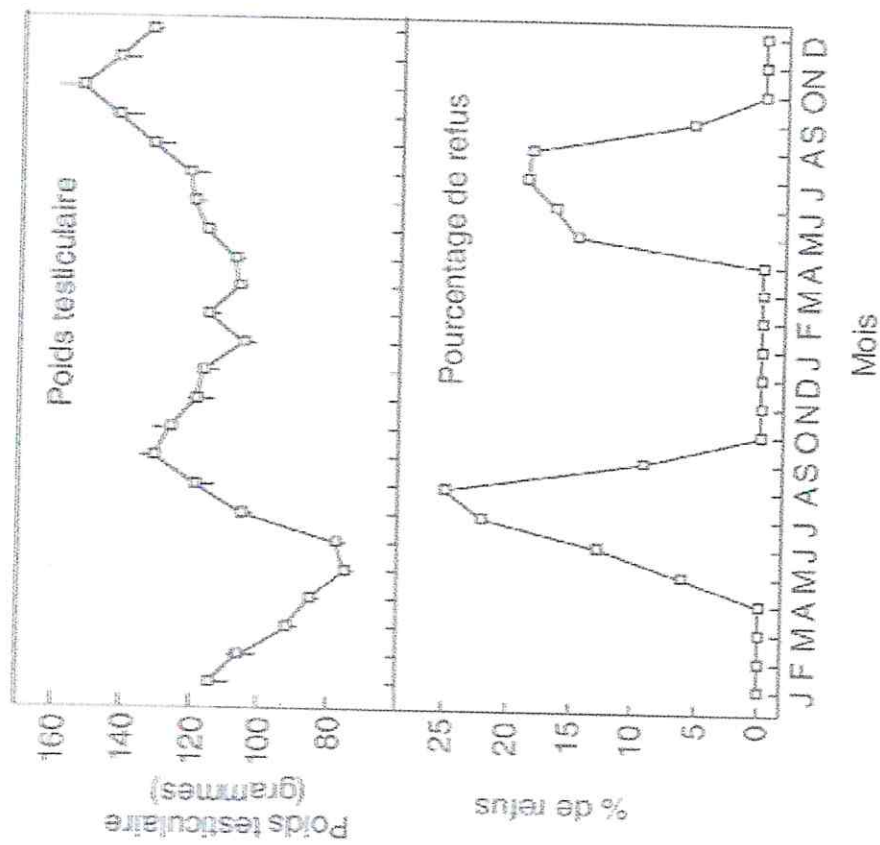
### III-1-1-2- Saisonnement de l'activité sexuelle chez le bouc :

Chez des boucs Alpains dont l'activité sexuelle est suivie pendant trois années consécutives au moyen de tests comportementaux bihebdomadaires, les éléments de la séquence du comportement sexuel (flairages, montes, saillies) suivent des variations saisonnières très importantes. La fréquence des saillies est maximale d'octobre à janvier et minimale (quasiment nulle) le reste de l'année (Rouger, 1974).

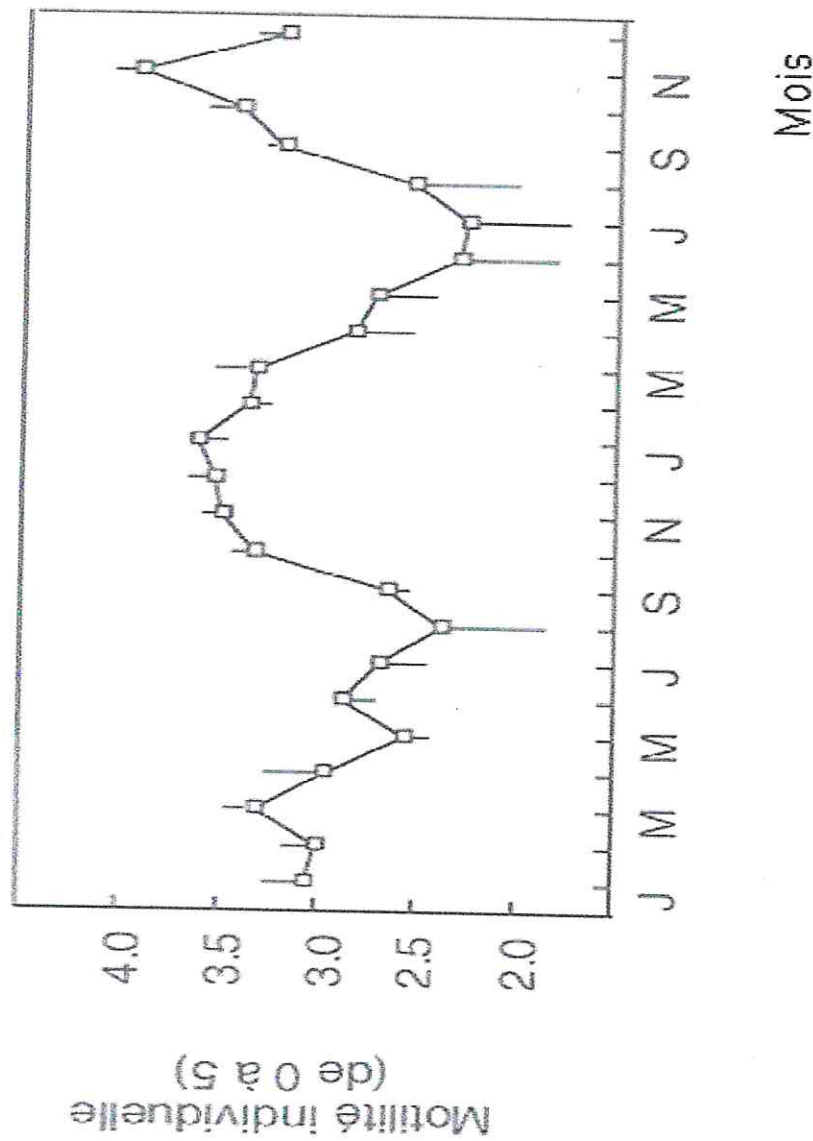
Chez les boucs des races Alpine et Saanen dont la semence est collectée deux fois par semaine au vagin artificiel, il existe des variations saisonnières importantes du taux de réussite à la collecte (Corteel, 1977), et de la latence à l'éjaculation (Delgadillo et Cool., 1991). Chez six boucs des deux races suivis pendant deux années consécutives, le pourcentage d'échecs à la collecte est nul d'octobre à avril, et s'élève jusqu'à 20% de mai à août. Chez les mêmes mâles, le poids testiculaire, qui est étroitement corrélé à l'activité spermatogénétique du testicule, subit aussi des variations saisonnières, avec des valeurs

basses de janvier à avril et hautes de septembre à décembre (Figure12; Delgadillo et Cool., 1991).

Ces variations de comportement sexuel et de poids testiculaire sont associées à des changements importants dans le volume et la concentration de l'éjaculat (Corteel, 1977), qui n'ont des conséquences directes que pour les traitements de la semence dans les centres d'IA. Une forte baisse de motilité individuelle et de fécondance des spermatozoïdes est également observée entre avril et août (Corteel, 1977) et (Delgadillo et Cool., 1992; Figure13), qui a des conséquences pour les centres d'IA (qui ne peuvent collecter que de septembre à février), mais également pour les éleveurs utilisateurs de mâles pour les saillies suite aux inductions hormonales d'oestrus.



**Fig. (12):** Variations saisonnières du poids testiculaire ( $m \pm SEM$ ) spermatozoïdes ( $m \pm SEM$ ) chez des boucs Alpains et Saanen, d'après (Delgadillo et Cool., 1991).



**Fig. (13):** Variations saisonnières de la motilité individuelle des spermatozoïdes et du pourcentage de refus à la collecte chez des boucs Alpains et d'après (Delgadillo et Cool., 1991).

## **II-1-2- Contrôle de l'activité sexuelle par les changements de la photopériode :**

### **III-1-2-1- Entraînement photopériodique de l'activité sexuelle :**

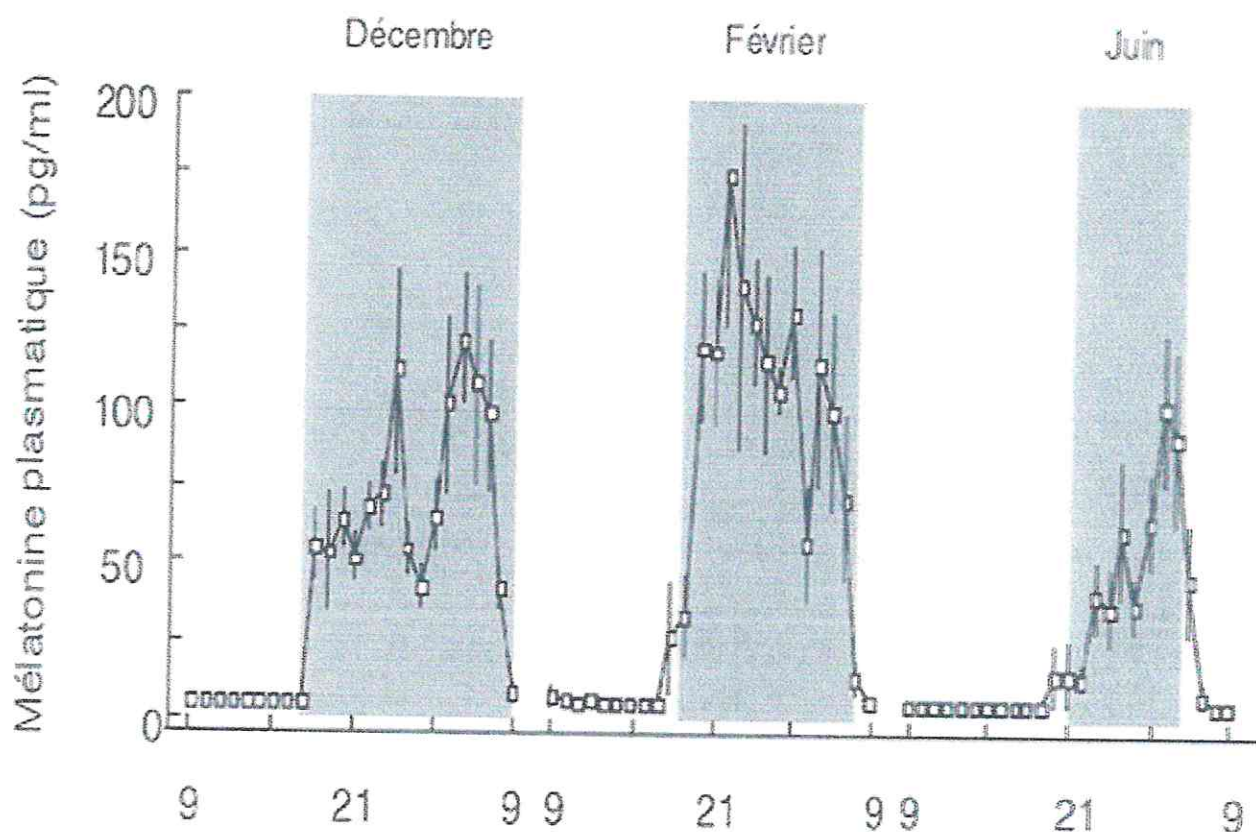
Ces variations sont sous la dépendance des changements dans la durée de l'éclairement. Les jours courts sont stimulateurs de l'activité sexuelle et les jours longs inhibiteurs de celle-ci. Pour mettre en évidence ce rôle de la durée du jour, huit chèvres Saanen sont maintenues en bâtiment photopériodique (étanche à la lumière du jour) et reçoivent pendant une année des alternances de 3 mois de jours courts (16 heures d'obscurité/8 heures d'éclairement par jour) et 3 mois de jours longs (8 heures d'obscurité/16 heures d'éclairement par jour). Dans ces conditions, elles déclenchent leur activité ovulatoire 74 ( $\pm 1$ , sem, cycle 1) et 85 ( $\pm 2$ , cycle 2) jours après le passage jours longs-jours courts et l'arrêtent environ 35 jours après le passage jours courts-jours longs (Chemineau et Cool., 1988). Chez le bouc, l'alternance entre deux mois de jours courts et deux mois de jours longs provoque une alternance entre croissance et décroissance du poids testiculaire, ce qui indique que les mâles sont également sujets à un entraînement photopériodique de leur activité sexuelle (Delgadillo et Cool., 1991).

Il n'existe, cependant, aucune durée du jour constante permettant le maintien d'une activité sexuelle permanente. En effet, lorsque les animaux sont placés pendant trop longtemps sous une photopériode constante, il s'établit des états réfractaires soit aux jours longs, soit aux jours courts. L'état réfractaire aux jours longs est alors caractérisé par une forte activité sexuelle et l'état réfractaire aux jours courts, au contraire, par une faible activité sexuelle. Il est connu chez la brebis, et ce mécanisme est également supposé actif chez la chèvre, que l'état réfractaire aux jours courts est responsable de la fin de saison sexuelle, lorsqu'il s'établit entre décembre et avril.



### **III-1-2-2- Rôle de la mélatonine dans le contrôle photopériodique de l'activité sexuelle :**

La mélatonine est une substance naturellement présente dans l'organisme de tous les mammifères et presque tous les vertébrés. Elle est synthétisée, principalement dans la glande pinéale, à partir du Tryptophane et de la sérotonine, sous l'effet d'enzymes dont l'activité est commandée par la perception jour/nuit. Synthétisée et sécrétée uniquement pendant la période nocturne, elle présente des concentrations dans le sang périphérique multipliées au moins par 20, à l'occasion du passage lumière/obscurité. Cette sécrétion élevée se maintient pendant toute la période obscure. Elle s'arrête lorsque la lumière stimule à nouveau la rétine, qui transmet une information nerveuse aux noyaux suprachiasmatiques puis à la glande pinéale. C'est grâce à la durée de cette sécrétion que les boucs et chèvres, comme tous les mammifères étudiés, sont capables de mesurer la durée de la nuit, et donc celle du jour. Chez les petits ruminants qui présentent des variations saisonnières marquées d'activité sexuelle, la mélatonine, par l'intermédiaire de sa durée de sécrétion, contrôle ces variations d'activité sexuelle au cours des saisons. Lorsque la durée de sécrétion de mélatonine est longue, les animaux interprètent cette durée comme un jour court et déclenchent leur activité sexuelle, et ceci même si leurs yeux perçoivent des jours longs (Figure14).



**Fig (14) :** Variations horaires de la concentration de mélatonine plasmatique chez six boucs Alpains et Saanen en décembre, février et juin ( $m \pm SEM$ ). D'après Delgadillo et Chemineau, 1991.

### III-1-3- Principes d'utilisation et conditions d'application des traitements photopériodiques chez les caprins :

#### III-1-3-1-Principes généraux propres aux traitements photopériodiques :

Comme nous l'avons dit plus haut, il existe des états réfractaires ce qui empêche d'utiliser des photopériodes constantes. La maîtrise de l'activité sexuelle n'est alors possible que par une alternance de jours longs et de jours courts, alternance qui existe normalement dans les conditions naturelles entre le printemps et l'automne. Ainsi, il sera nécessaire d'appliquer artificiellement une période de jours longs en fin d'hiver pour espérer induire une activité sexuelle au printemps.

Le remplacement d'un jour long réel est possible par l'éclairage seulement de la phase " photosensible " (moment privilégié de la période nocturne dont l'éclairage provoque la lecture d'un jour long), située avec exactitude chez les ovins 17 à 18 heures après l'aube, et supposée au même moment chez les caprins. Il n'est, en effet, pas nécessaire de fournir des jours longs réels aux animaux; l'éclairage de cette phase photosensible est suffisant pour aboutir à la lecture d'un jour long ("JL") et rétablir la sensibilité à la mélatonine. Dans ce cas, il est cependant nécessaire de réaliser une aube fixe par un éclairage artificiel de la chèvrerie. Lorsque l'éclairage naturel quotidien devient suffisant (puisque les animaux sont en bâtiment ouvert) l'éclairage artificiel est arrêté, puis redémarré entre seize et dix-huit heures après cette aube fixe, soit de 22 à 24h00, si l'aube fixe est réglée à 6h00. L'éclairage est apporté par des tubes fluorescents ou des lampes halogènes fournissant au moins 200 lux au niveau des yeux des animaux (Chemineau et Cool, 1996; Figure14). L'intensité minimale d'éclairage pour obtenir un effet " jours longs " est probablement inférieure à 200 lux (Laferté et Cool., 1997). La détermination de cette intensité minimale fait encore l'objet d'expérimentations.

Les jours courts peuvent être mimés par les jours naturels qui suivent le traitement " jours longs ", lorsque ce dernier s'arrête avant la fin-février ou la mi-mars, ou par l'insertion d'un implant sous-cutané de mélatonine (qui ne bénéficie d'une autorisation de mise sur le marché encore que pour l'espèce ovine).

### **III-1-3-2- Nécessité d'utiliser l'alternance "jours longs"- "jours courts" :**

Dans l'espèce caprine, tout au moins lorsque le traitement ne débute pas avant la mi-janvier, les résultats montrent très clairement qu'il est nécessaire d'utiliser la succession de ces deux parties du traitement pour aboutir à une activité sexuelle maximale (Chemineau et Cool., 1986, 1992b) et (Chemineau, 1989a) (Tableau 2). Dans ces conditions, en utilisant des boucs traités de la même façon et utilisés en lutte naturelle, la fertilité et la prolificité sont très proches, voire identiques à celles de la saison sexuelle annuelle, alors que les femelles sont fécondées en avril/mai. Le traitement permet d'obtenir une meilleure réponse à l'"effet bouc", mais surtout d'aboutir à une cyclicité ovulatoire et oestrienne qui va conditionner les bons résultats de fertilité. Il faut remarquer néanmoins que le

traitement lumineux seul permet d'aboutir à une fertilité relativement élevée, ceci d'autant plus qu'il est appliqué tôt en saison, par exemple lorsque le traitement lumineux débute en décembre. Dans ce cas, en effet, lors de l'arrêt de l'éclairage, les femelles subissent l'éclairage naturel, encore de courte durée sous nos latitudes.

Expériences		Témoin	Mélatonine	Lumière	Lumière+Mélatonine
<b>N°1-</b> (Adultes Saanen en lactation, Boucs vasectomisés du 30/05 au 30/06)	<b>Effectif</b>	8	8	8	8
	<b>Femelles ovulant encor 2,5mois après l'introduction du bouc</b>	0	1	0	6
	<b>Femelles venues au moins 2 fois en chaleur</b>	2	5	5	8
<b>N°2-</b> (Jeunes Alpines d'un an, Boucs entiers du 10/04 au 27/05)	<b>Effectif</b>	10	28	8	44
	<b>% qui ovulent pendant la lutte</b>	10	46	63	91
	<b>Fertilité des femelles en % mise bas</b>	10	39	63	86
	<b>Datte moyenne de fécondation</b>	25/04	28/04	03/05	27/04

**Tableau 2** : Mise en évidence de la nécessité d'utiliser la succession lumière + mélatonine, pour l'obtention d'une activité sexuelle et d'une fertilité maximale (Chemineau, 1989a).

### III-1-3-3-Nécessité d'utiliser "l'effet bouc" avec des mâles traités :

Dans de tels traitements, comme sans doute lors du début de la saison sexuelle naturelle, l'utilisation de boucs traités pour induire les ovulations et maintenir la cyclicité est extrêmement importante.

Ainsi, le démarrage de l'activité ovulatoire après la succession " JL " + mélatonine sans utilisation de l'effet bouc (sans mise en contact avec celui-ci) ne se fait que pour 6 chèvres sur 12 traitées (Chemineau et Cool., 1988). Il est donc absolument nécessaire d'introduire des boucs inducteurs pour que l'activité ovulatoire se déclenche et puisse persister, même si ceux-ci ne sont pas utilisés pour réaliser les fécondations.

Les mêmes règles que pour l'utilisation " classique " de l'effet bouc sont à appliquer impérativement (Chemineau, 1989b et également les fiches du Groupe Reproduction Caprine sur le site Web INRA).

Les boucs doivent subir le traitement " jours longs " + " jours courts ", de la même façon que les femelles (avec cependant une dose de mélatonine plus élevée par bouc, si elle est utilisée). S'ils peuvent être maintenus dans le même bâtiment pendant la première phase du traitement (" JL "), ils doivent être impérativement séparés de tout contact avec les chèvres entre la fin des " JL " et leur introduction parmi les femelles pour l'induction. Le respect de cette règle de séparation est importante pour la réussite de l'induction de l'oestrus et de l'ovulation.

Les mâles doivent être introduits au milieu des chèvres, en contact direct avec celles-ci, 24 heures sur 24, pour que la stimulation soit efficace. La séparation des deux sexes, par une simple clôture, à fortiori par un couloir, le " passage " du bouc à certaines heures de la journée seulement, font chuter très fortement le pourcentage de chèvres qui ovulent suite à l'effet bouc, par rapport à leur présence permanente.

Le pourcentage recommandé (mais qui n'a pas fait l'objet, pour le moment d'expérimentations détaillées) est de un bouc pour dix à vingt femelles. Ils doivent rester en permanence avec les chèvres aussi longtemps qu'une activité cyclique est souhaitée.

### III-1-4-Caractéristiques des traitements et résultats obtenus chez les chèvres :

#### III-1-4-1-Durée du traitement "jours longs" :

Le traitement "JL" doit être au moins égal à deux mois. En effet, des chèvres Alpines soumises à seulement un mois de jours longs (du 5/1 au 6/2) ont une fertilité significativement inférieure à celle des chèvres soumises à deux mois de "JL" (du 5/12 au 6/2): respectivement 48 vs 71% (Tableau 3; Chemineau, 1996). Il est actuellement recommandé d'appliquer au moins 75 jours de " jours longs ".

		Numéro de l'essai	Nombre de chèvres	Fertilité %	Prolificité	Intervalle mâle-fécondation (jours)
Durée du traitement "JL"	33 jours	(1)	21	48	2,00	166
	64 jours		56	71*	1,78	166
Dose de mélatonine	Dose1	(2)	32	75	1,88	160
	Dose2		31	77	2,00	160
	Dose3		33	97**	2,22*	159
Intervalle pose de l'implant mâle	49	(3)	49	84	1,98	173
	70		54	80	1,88	162
	36	(4)	55	93	2,04	163
	52		59	83	2,04	163
	56	(5)	53	81	2,07	169
	52		47	85	2,13	159

**Tableau 3 :** Effet de la durée du traitement lumineux, de la dose de mélatonine et de l'intervalle, sur la fertilité, la prolificité et l'intervalle moyen mâle-fécondation, (Chemineau et Cool., 1996).

\*: significativement différent au seuil de 5 %

\*\* : significativement différent au seuil de 1 %

### **III-1-4-2-Traitement "jours courts" et dose de mélatonine :**

Ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, lorsque le traitement " JL " se termine tôt dans la saison (avant la fin février ou la mi mars) il n'est sans doute pas nécessaire de recourir à un traitement mélatonine, du fait que les animaux retournent sous une photopériode relativement courte. Toutefois, ce point n'a pas été expérimenté dans une comparaison réelle intra-élevage avec une comparaison directe de différentes dates de traitements (très difficile à effectuer sur le plan pratique). Nous disposons cependant de résultats avec photopériode seule dans un assez grand nombre d'élevages qui indiquent que la fertilité à la suite d'un traitement " JL "- jours naturels est tout à fait correcte, et d'essais réalisés dans un élevage avec la comparaison avec et sans mélatonine (Tableau 4).

Pour le traitement photopériodique seul associé à la lutte naturelle, le suivi de 20 élevages a été effectuée dans le centre ouest et le sud ouest, avec une introduction des boucs entre le 15 mars et le 19 juin. La fertilité totale, qui est calculée sur 3236 femelles, est de 76,8 % de mise bas, avec une durée moyenne des mise bas de 32,5 jours, ce qui peut être considéré comme un résultat satisfaisant (Groupe Reproduction Caprine 1996).

La comparaison à l'intérieur d'un même élevage du traitement avec et sans mélatonine, réalisée deux années consécutives, conduit à des conclusions analogues (75,3 vs 73,0 % de mise bas, respectivement; Tableau 4).

Pour des fins de traitement " JL " plus tardives, trois doses de mélatonine, fournies par des implants ont été testées. La dose la plus élevée donne des résultats extrêmement bons en ce qui concerne la fertilité des femelles, mais la prolificité est trop élevée. La dose actuellement choisie est intermédiaire entre la dose 2 et la dose 3, ce qui permet d'obtenir une fertilité satisfaisante et une prolificité correcte (Tableau 3)

	Nb d'élevages	Nb de femelles	Fertilité (mise bas)	Prolificité (nb chevreaux nés/MB)
<u>Traitement photopériodique seul</u> Lutte naturelle Centre-Ouest/Sud-Ouest (CR Gpe Reprod. Caprine 1996)	20	3236	76,8 %	1,83
<u>Traitement photopériodique avec et sans mélatonine</u> Lutte naturels 1996+1997, 1 seuls élevages (Lebneuf et Cool, non publié)				
Avec mélatonine		126	75,3%	2,07
Sans mélatonine		115	73,0 %	2,00

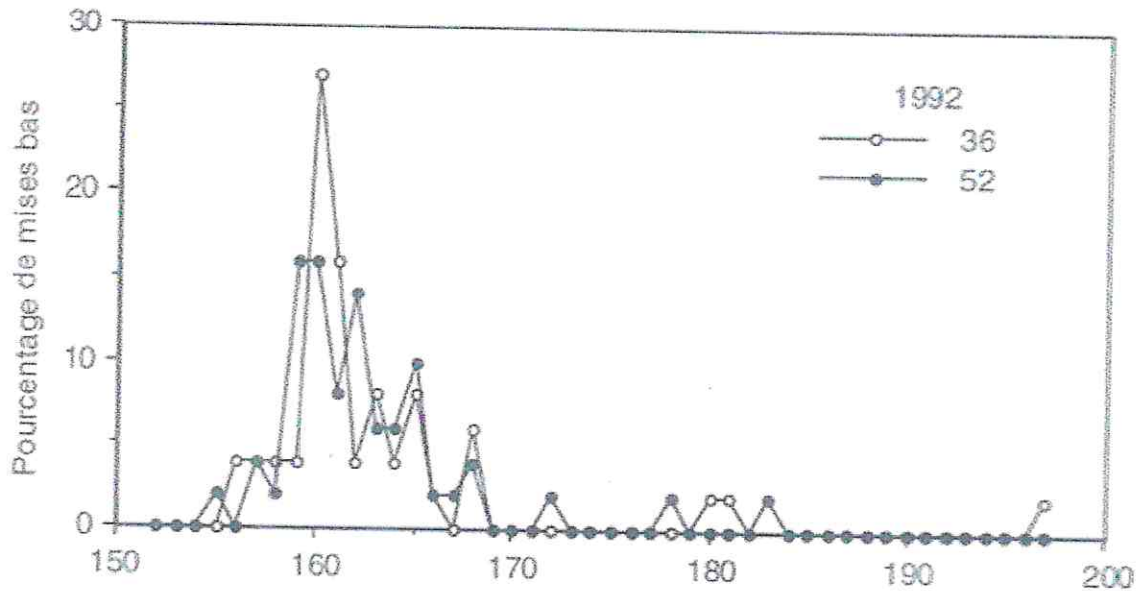
Nb : nombre

**Tableau 4** : Fertilité des chèvres après traitement photopériodique seul dans plusieurs élevages et comparaison intra-élevage (1 seul élevage) du traitement avec et sans mélatonine.

### III-1-4-3-Intervalle fin de "jours longs"- introduction des boucs, répartition des saillies fécondantes :

Du fait que l'intervalle entre passage jours longs-jours courts et début d'activité ovulatoire spontanée était compris entre 70 et 90 jours, l'intervalle initialement choisi entre fin de jours longs et introduction des boucs était de 75 jours environ, afin que la réponse maximale à l'effet bouc coïncide avec la réponse maximale au traitement photopériodique. Après plusieurs essais, la comparaison intra-élevage de différents intervalles montre que l'introduction du bouc peut se faire entre 35 et 70 jours après la pose de l'implant (Tableau 3). Une meilleure synchronisation semble cependant être obtenue pour un intervalle compris entre 50 et 70 jours. Lorsque l'effet mâle est réussi, le pic de fécondations a lieu entre 5 et 15 jours après l'introduction des mâles, comme dans la réponse "classique" à l'effet bouc (Figure 15).





**Fig (15):** Distribution des mise bas traitée avec la succession d'un implant de mélatonine, d'après (Chemineau, et Cool., 1996)

#### III-1-4-4- Association avec des traitements hormonaux "classiques" (éponges + PMSG) pour mise en place de l'IA :

Peu d'essais comparatifs ont été effectués dans ce domaine. Si l'on souhaite synchroniser des chèvres ayant reçu le traitement lumineux, la dose de PMSG préconisée pour le traitement hormonal "classique" peut être réduite de 100 UI. Les autres paramètres du traitement restent identiques. Mais il est cependant nécessaire de poursuivre des expérimentations dans ce domaine. <Une série d'essais est en cours pour essayer de déterminer si la synchronisation des moments d'ovulation est suffisamment bonne avec l'éponge seule + l'effet bouc, pour qu'il soit possible de réaliser l'IA sans utiliser de PMSG, sur des chèvres ayant reçu le traitement photopériodique>

### **III-1-4-5- Effets sur l'ingestion et la production laitière des chèvres :**

Lorsqu'il est appliqué en début de lactation (ce qui n'est en général pas le cas) le traitement lumineux est susceptible d'augmenter l'ingestion alimentaire et la production laitière, alors que le traitement avec la mélatonine les diminue (Chemineau et Cool., 1988).

### **III-1- 5- Traitements photopériodiques des boucs :**

#### **III-1-5-1-Traitements utilisables en ferme :**

Le même type de traitement que celui utilisé sur la femelle (alternance " JL " - " JC " décrit ci-dessus) entraîne un accroissement de la taille testiculaire, de la testostérone plasmatique qui provoque la stimulation du comportement sexuel (Leboeuf et Chemineau, 1995, résultats non publiés). De la même façon que pour les femelles, il est probable que, lorsque le traitement est appliqué suffisamment tôt en saison, le retour à la photopériode naturelle soit perçu comme un jour court par les boucs. Aucune expérimentation n'a cependant été réalisée, sous les latitudes tempérées, pour connaître les effets de la suppression du traitement mélatonine. Les recommandations actuelles sont d'utiliser la succession " JL " + mélatonine avec trois implants par bouc traité.

#### **III-1-5-2-Traitements utilisables dans les centres d'insémination artificielle :**

De la même façon que chez le bélier, l'alternance rapide entre jours longs et jours courts entraîne, chez le bouc l'abolition ou l'atténuation des variations saisonnières de l'activité sexuelle.

Ainsi, une alternance d'un mois de jours courts et d'un mois de jours longs, ou de deux mois de jours courts et de deux mois de jours longs, permet d'éviter la baisse saisonnière du poids testiculaire et de la production spermatique observée chez les témoins et ce pendant les trois années d'application des traitements, chez des boucs soumis à un rythme

de collecte moyen (deux éjaculats par semaine). Malgré l'existence, parfois, de certains problèmes comportementaux (agressivité excessive, augmentation du temps de latence à la collecte), les boucs subissant ces alternances rapides produisent, au cours des deux premières années de traitement, de 55 à 69% plus de doses d'IA que les boucs témoins non traités (Delgadillo et Cool., 1991, 1992). Mesurée intra-troupeaux sur plus de 1 500 chèvres, la fertilité de la semence congelée collectée des boucs des trois lots n'est pas significativement différente entre lots (Tableau 5). La collecte intensive de ces boucs après trois ans de traitement, montre que leur production spermatique quotidienne est supérieure de 24% (1 mois/1 mois) et 111% (2 mois/2 mois) à celle des boucs témoins (Delgadillo et Cool., 1993).

Dans un rythme de collecte plus intensif (4 collectes par semaine tout au long de l'année), des boucs soumis à l'alternance deux mois de jours courts/deux mois de jours longs, produisent 41% de doses d'IA en plus que des boucs maintenus en photopériode naturelle et collectés selon le rythme habituel des professionnels (4 éjaculats par semaine, de septembre à février). La fertilité de la semence produite par les boucs ainsi traités est inférieure à celle produite par les boucs témoins (Tableau 5).

Ce schéma photopériodique est actuellement en cours d'utilisation par Capri-IA (centre coopératif de production de semence caprine).

		Témoins (éclairage naturel)	1 mois JL/1 mois JC	2 mois JL/ 2mois JC
<b>Expérience 1</b> (Delgadillo et Cool, 1992) (1599 chèvres également réparties dans 58 troupeaux)	- Nombre de boucs	6	6	6
	- Rythme de collecte	2 éjaculats /sem.	2 éjaculats/sem	2 éjaculats/sem
	- Nombre de doses produites par an	253	427	391
	- Fertilité (% expulsions constatées)	62,5	57,9	57,8
<b>Expérience 2</b> (Leboeuf et Chemineau, non publié) (785 chèvres également réparties dans 25 troupeaux)	- Nombre de boucs	6		6
	- Rythme de collecte	4 éjaculats/sem. de sept à février		4 éjaculats/sem., tte l'année
	- Nombre de doses produites pa r an	6 637		9 333
	- Fertilité (% expulsions constatées)	69,5		61,2

**Tableau 5 :** Fertilité de boucs traités par une alternance rapide de jours longs (boucs traités et/ou témoins (d'après Delgadillo et Cool., 1993) et (Leboeuf et Chemineau, non publié).

tte : toute l'année, sem : semaine

## **IV-TRAVAUX RÉALISÉS SUR LES HORMONES :**

### **IV-1- Influences de la mélatonine et de la testostérone sur l'activité circadienne chez des mâles de cailles japonaise :**

Chez les oiseaux, l'organisation temporelle des activités est dépendante de l'état interne de l'individu comme des facteurs de l'environnement dans lequel l'animal vit. Dans cette étude, les biologistes ont cherché à identifier les influences de facteurs hormonaux sur l'organisation circadienne du comportement (Lumineau, 2002). Dans un premier temps, ils ont étudié l'effet de la mélatonine dont l'implication dans la régulation du système circadien est établie chez les mammifères mais reste encore peu claire chez les oiseaux. Dans un second état donnée l'influence des stéroïdes sur l'organisation circadienne, ils ont testé l'effet de la testostérone chez des mâles castrés. Pour cela, ils ont utilisé des Cailles japonaises issues de lignées sélectionnées pour la présence très marquée ou pour l'absence d'un rythme circadien d'alimentation. Les oiseaux furent castrés à l'âge de 3 semaines et maintenus en conditions constantes durant les expériences. L'activité alimentaire individuelle a été enregistrée en continu à l'aide de détecteurs munis de cellules photosensibles placés au dessus des mangeoires, (Houdelier, 2002).

De leurs expériences, il est apparu que :

- L'administration cyclique de mélatonine synchronisait le rythme circadien d'activité alimentaire.
- L'administration continue de testostérone induisait le rythme circadien chez des oiseaux arythmiques et modulait la netteté de ce rythme avec un effet dose dépendant.

Ainsi, ces résultats leur ont permis de poser l'hypothèse de l'implication de la mélatonine dans la régulation de l'activité circadienne et de l'existence d'un couplage hormonal entre le système circadien central et le système reproducteur chez la Caille.

## **IV-2-Variations saisonnières des hormones stéroïdes sexuelles chez le lapin domestique *Oryctolagus cuniculus* :**

Ce travail se rapporte à l'étude de l'activité de l'appareil reproducteur, au cours de l'année, chez le mâle et la femelle des populations locales algériennes du lapin domestique, *Oryctolagus cuniculus*, (Hadj-Bekkouche, 2002) et (Dalli, 2002).

30 animaux, 15 mâles et 15 femelles (isolées de ces derniers) sont soumis aux conditions naturelles de température, lumière et hygrométrie. Un relevé quotidien des 2 paramètres est effectué. L'eau et l'aliment sont fournis normalement. Les prélèvements sanguins sont réalisés au niveau de la veine marginale entre 10 et 11 heures afin d'éviter les variations liées au nyctémère.

Leur fréquence varie entre 4 et 18 par mois. Après centrifugation, le plasma est conservé à  $-20^{\circ}\text{C}$  jusqu'au moment du dosage. Les hormones : testostérone, oestradiol et progestérone sont évaluées par RIA sur kits.

La testostéronémie, chez le mâle, varie entre 1,280(+/-03) ng/ml (novembre) et 2,76 (+/-0,30) ng/ml (décembre janvier). La différence est hautement significative ( $p < 0,001$ ) entre le mois de décembre et les mois de juin, août, octobre et novembre. L'oestradiolémie est de 68,01(+/-) 9,03pg/ml en janvier. La valeur la plus basse se situe en août [16,64 (+/-) 2,38pg/ml]. La différence est hautement significative ( $p < 0,001$ ) entre le mois de janvier et les mois de février, mars, avril, juin et août. La progestérone élevée en août (805,50 (+/-) 117,7pg/ml) diminue de façon hautement significative à partir du mois d'octobre. Une corrélation semble exister entre les conditions extérieures et les teneurs plasmatiques les conditions extérieures et les teneurs plasmatiques hormonales. Les basses températures ( $22^{\circ}\text{C}$ ) et un degré hygrométrique de 83% coïncident avec l'élévation de la testostérone et de l'oestradiol. Celles-ci diminuent au mois d'août avec une température de  $32^{\circ}\text{C}$  et, un degré d'humidité de 71%, tandis que les teneurs en progestérone augmentent. Ces résultats laissent suggérer que la saison froide favoriserait la reproduction chez les populations locales algériennes du lapin domestique.

## DISCUSSION

L'œil n'est plus seulement un organe sensoriel visuel limité à la reconnaissance des couleurs, formes, mais surtout détecteur capteur de luminosité qui intervient dans de nombreux domaines très importants tel que [la reproduction]. Un chercheur (2004) a suggéré que si on appui avec les mains sur les yeux d'un animal dès sa naissance durant un laps de temps; il pourra avoir des problèmes de reproduction par la suite.

La majorité des êtres vivants soit animaux ou végétaux sont conditionnés dans leurs activités vitales multiples par les effets lumineux «photo-période»; mais une catégorie de ces animaux comptent particulièrement et graduellement sur les modalités différentes de variations saisonnières «phases déterminés de la saison» pour accomplir leurs fonctions de reproduction «tache intrigante»; ou d'autres qui optent carrément pour l'hibernation.

Alors que la lumière artificielle est un handicap pour les yeux des animaux nocturnes «considéré comme un piège parfois mortel»; les éclairages publics nocturnes ne semblent pas contrarier les mœurs du renard ou de la fouine par exemple (espèces qui n'ont pas une adaptation naturelle à la vie nocturne: pas de grands yeux.

Quant aux oiseaux diurnes urbains, cette dernière dérègle leur vie; et le troglodyte ou le merle se met à chanter en pleine nuit (SI): [ce qui révèle que ces particularités comportementales suivent des modes d'action différents appropriés à chaque espèce].

### Nous suggérons donc:

➤ Que l'entrée sensorielle visuelle est l'élément primordial qui est à la base de la codification du signal photopériodique, son intégration en signal chronométrique nerveux «horloge interne» et sa traduction en message hormonal déclenchant le type de reproduction «glande pinéale»

Et, On n'a jamais pensé à notre avis; d'examiner à fond [les pathologies non apparentes (discrètes) du globe oculaire entraînant une anomalie de la perception, ou de se préoccuper des problèmes visuels] qui peuvent être à l'origine d'une "infertilité" ou d'un "mauvais rendement: soit qualitatif ou quantitatif".

∅ La plus part des fonctions biologiques s'expriment suivant un rythme circadien dicté par l'environnement qui persiste en conditions d'isolement et donc dépendent d'une « horloge endogène » qui est localisée dans le noyau suprachiasmatique de l'hypothalamus « inducteur » du programme spatial et temporel impliqué dans le contrôle des sécrétions et réactions neuro-fonctionnelles.

► Les informations photopériodiques résultantes sont transmises à la glande pinéale par voie polyneuronal. Dans cette glande: la régulation du message hormonal « sécrétion rythmique de la mélatonine »; est très complexe et sa durée est proportionnelle à la durée de la nuit. Ce sont les changements de la durée de sécrétion nocturne de la mélatonine au cours de l'année qui permettent à l'origine de mesurer la photo-période. Cette hypothèse a été vérifiée expérimentalement; en mimant par des perfusions de mélatonine chez des hamsters placés en photopériode de longue durée; les effets physiologiques obtenus chez des animaux placés en photopériode courte, (Brice, 1996).

→ Et l'hypothèse la plus probable est celle: des rayons solaires, les facteurs climatiques et cosmiques, (voir alimentaires). Qui a été conclue bien sur par des investigations à différents niveaux et terrains de recherche; et dont on a pu en sélectionner et en décrire certains de ces travaux dans notre étude.

∅ Par les travaux de (Chemineau et Col., 1994) on déduit que chez les caprins, les variations saisonnières d'activité sexuelle dans les deux sexes conduisent les animaux à passer plus de [70% de leur temps dans l'année en « inactivité sexuelle »]. Le rôle de la photopériode dans le contrôle de ces variations a conduit à proposer des traitements qui permettent de déplacer (chèvre) ou d'abolir (bouc).

L'association traitement lumineux seul ou associé à la mélatonine, puis "l'effet bouc" avec des mâles traités, permet d'induire une « activité cyclique en pleine contre-saison », qui « conduit à l'obtention d'une fertilité élevée, proche de celle observée en saison sexuelle ». La compréhension des principes de ces traitements et le respect des conditions d'applications sont des impératifs à respecter pour aboutir à une réussite



optimale. [Il est donc désormais possible d'utiliser ce type de traitement pour effectuer avec une réussite élevée, des fécondations en pleine contre-saison].

L'utilisation d'une alternance rapide entre jours courts et jours longs conduit à une suppression des variations saisonnières et à une augmentation spectaculaire de la quantité et de la qualité de la semence des boucs ainsi traités. Ce traitement photo- périodique accéléré permet de collecter les boucs toute « l'année au lieu de six mois ».

∅ L'existence d'une période annuelle de repos sexuel chez les ovins, caprins et les équidés est génératrice de variations saisonnières importantes pour l'apparition des produits sur le marché. Même si des techniques de maîtrise de la reproduction sont déjà utilisables au niveau national et international, des demandes sont fortement exprimées et concernent le développement de méthodes pour accroître la fertilité à contre-saison sans utiliser d'hormones et en réduisant les coûts.

► Par contre ; on remarque dans notre pays [l'Algérie]:

\*que les chèvres peuvent mettre bas à n'importe quelle période de l'année (Kelanemer ,2007), malgré que la classification du cycle de la chèvre étudiée durant le cursus universitaire (Hamaidi ,2001) et (Lafri, 2002) est un cycle saisonnier.

\*L'existence d'un coq dans la région de Boumèrdes; qui chante à chaque [1 heure du matin] sans être exposé à aucune source lumineuse.

\*La non hibernation d'hirondelles dans la même région durant toute une année, et le déroulement normal de leur reproduction.

Ceci conduit encore à poser des questions d'études sur l'interaction des mécanismes et des différents facteurs responsables de ce changement du cycle saisonnier à un cycle annuel chez les chèvres et des attitudes particulières déviant des normes confirmées.

→ L'objectif de ces hypothèses et de cette étude est d'accroître nos connaissances sur ce système biologique intégré pour maîtriser ces phénomènes en fonction des contraintes socio-économiques des différents systèmes d'élevage ; donc :

► Pourquoi pas faire une importation et exportation d'animaux selon le climat qui favorise leur reproduction; cela veut dire : « échanger les animaux et les prendre dans des

pays ou existent les facteurs favorisant cette reproduction et les ramenés par la suite; a la fin de cette dernière», dans le but économique et pour la sauvegarde des races en voie de disparition.

➤ Et pourquoi ne pas penser à développer des serres d'animaux comme "on la crée pour les plantes" : qui perfectionnent la photopériode et synchronisent les signaux rythmiques cosmiques aux signaux inducteurs des rythmes biologiques stimulant et élaborant les cycles reproductifs et en liaison des demandes du marché économique, et en dans le but de l'augmentation du taux et la protection des espèces dans l'environnement sachant que les animaux ont leur rôle précieux dans la stabilité de la nature et que le comportement humain et le monde moderne technologique nuit sérieusement et a un impact important dans la rareté et l'extermination de l'espèce et leur différentes modalités d'évolution.

➤ D'étudier le phénomène d'hibernation et essayer de le reproduire avec toute ces différentes réactions chez l'homme pour pouvoir garder les milieux physiologiques «sang, liquide rachidien, etc...» et les organes en état; durant un temps donné comme une sorte de congélation.

➔ La mise au point d'un modèle animal adapté à l'étude des variations chronobiologiques de la pharmacocinétique de différents médicaments tel que les anticancéreux administrés en perfusion longue chez l'homme et justifiant d'un Suivi Thérapeutique Pharmacologique et surtout les affectés par les dépressions saisonniers particulièrement les insomniaques.

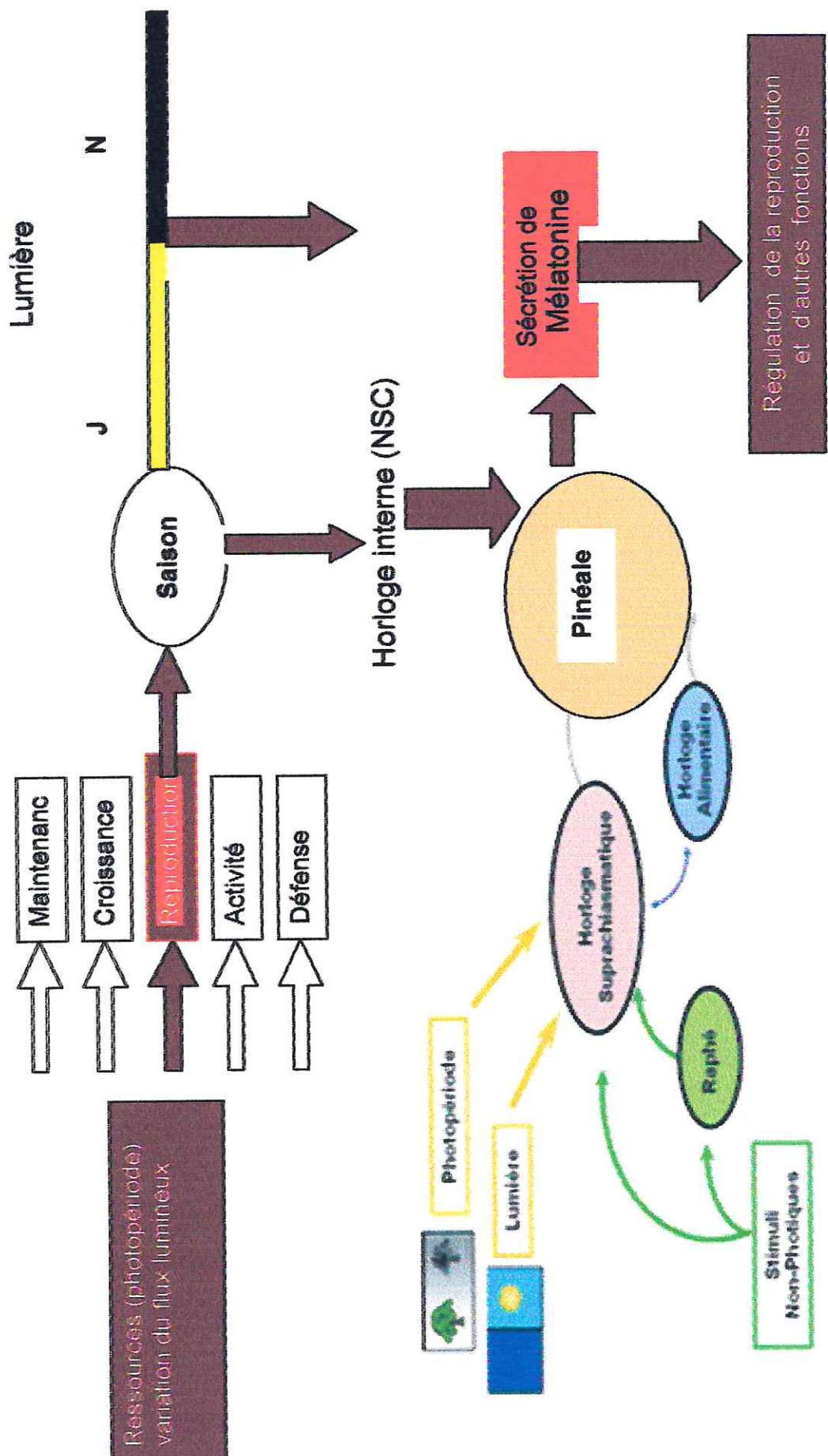
▶ Nous ne pouvons pas négliger la mission des mouvements des yeux qui sont pragmatiques automatiques ; qui interviennent continuellement pour repositionner les images perçus sur la rétine et traduisent la lumière réfléchiée captée en «saccades oculaires » rythmiques "sauts visuelles et fixations" : afin de collecter l'information telle quelle soit. Ces signaux rythmiques dues à l'alternance photopériodique chez les animaux obéissent aux mêmes lois comportementales impliqués dans la coordination des mouvements perceptifs oculaires saccadiques et qui se programment rythmiquement

suivant l'entrée sensorielle de l'information (sont mesurables) ; mise en évidence par Buser (1976) chez le chat (pendant l'état d'éveil et de sommeil) et expérimentalement et techniquement par une technique basée sur la réfraction de la lumière réfléchie « cellule photo-électrique » chez les sujets humains (enfants) pendant l'apprentissage (Bensoltana, 2004), figures en annexe.

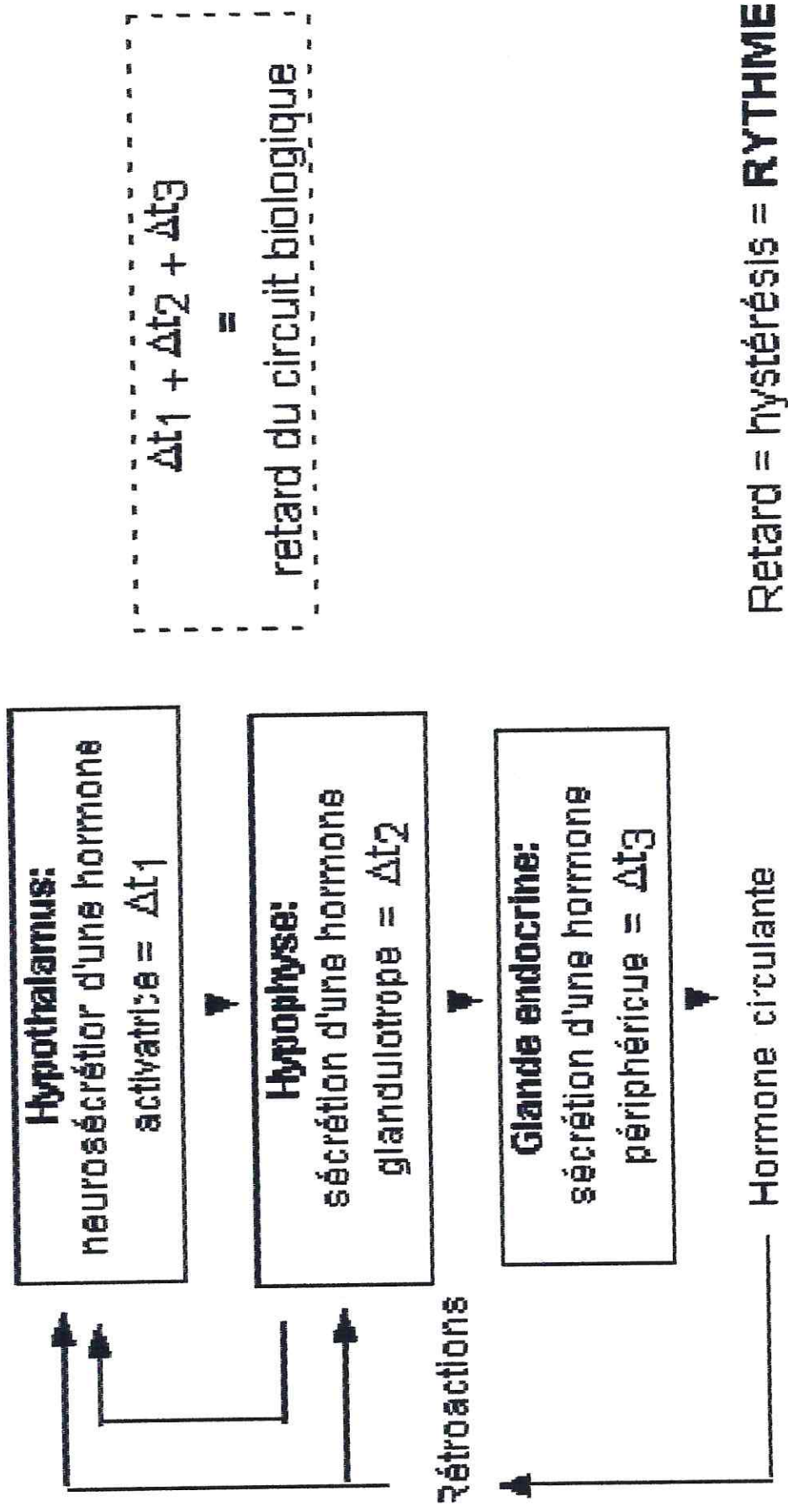
Cette méthode si on l'appliquera dans ce champ d'étude chez les animaux pourra évaluer les durées et éclaircir les types synchroniseurs temporels « hypothèse en perspective ».

Ces recherches incitent aux investigations plus poussées des mécanismes et voies en corrélation de reproduction ; optant vers des attitudes et comportements particuliers et construire un modèle typique comme référence représentant tout le circuit de l'interaction « rythmes cosmiques ↔ rythmes biologiques ↔ reproduction ».

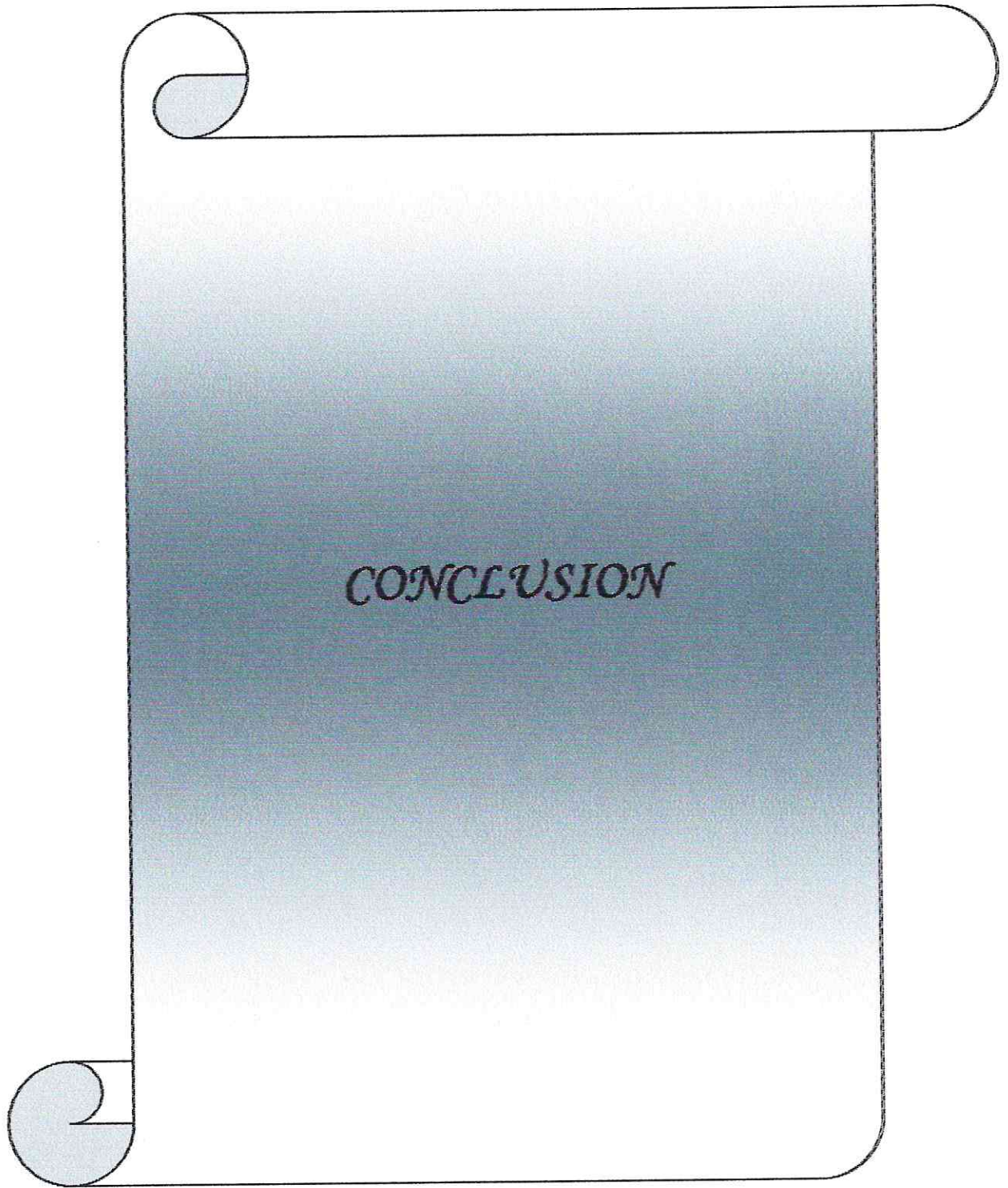
➔ Nous terminons par la l'élaboration de notre « modèle déduit par l'exploration des différents facteurs déterminant le cheminement des signaux collaborant à la réalisation du mode reproductif animal.



**Fig (16) :** Schéma représentant le circuit de la photopériode et la reproduction



**Fig(17) : Schéma représentant le retard du circuit biologique**



*CONCLUSION*

**Les rythmes biologiques ont une importance scientifique qu'aucune recherche ne doit nier car si on les néglige, ils peuvent entraîner de lourdes conséquences.**

Le champ d'étude traitant ce domaine est extrêmement vaste, nous n'avons par conséquent pas tout vu, c'est pourquoi il serait intéressant, en conclusion de, tout de même donner un aperçu de l'étendu sujet, qui ne se limite certainement pas qu'au rythme circadien (veille, sommeil), et infradien, comme les cycles de reproduction en général. Il serait en fin intéressant de parler des mécanismes cérébraux impliqués dans ces rythmes biologiques, qui dépendent d'horloges internes et sans oublier aussi l'étude des mécanismes moléculaires, nerveux et hormonaux impliqués.

Nos connaissances sur les mécanismes impliqués dans la genèse des rythmes ont beaucoup bénéficié des progrès de la biologie moléculaire.

Aujourd'hui plusieurs gènes clés de l'horloge interne [clock, per1, per2, cry1, cry2, etc....] que l'on retrouve d'ailleurs dans tous les ordres du vivant ont été clonés; et les protéines formées correspondantes sont identifiées. Actuellement, de nombreuses études cherchent à comprendre comment ces gènes interagissent pour engendrer les rythmes circadiens. Chez les mammifères l'horloge circadienne qui contrôle les grandes fonctions s'est révélée localisée dans les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus. C'est par la libération rythmique de différents neurotransmetteurs au niveau de leurs terminaisons nerveuses efférentes que les NSC transmettent le signal circadien aux autres structures du cerveau. De par leurs connections avec la glande pinéale, les NSC jouent aussi un rôle dans les rythmes saisonniers contrôlés, en particulier, par la variation annuelle de la longueur des jours (photopériode). Dans la glande pinéale le message nerveux est traduit en un message hormonal: la sécrétion rythmique de mélatonine. Ce rythme est généré par l'horloge circadienne et représente un signal hormonal efférent de l'horloge; dont l'un des rôles est d'organiser la rythmicité circadienne à des organes cibles de la mélatonine.

Si la synthèse de mélatonine est rythmique, la durée de sa sécrétion est proportionnelle à la longueur de la nuit. Ce sont ces changements de la durée de sécrétion nocturne de la mélatonine au cours de l'année suite au variation des flux lumineux et qui permettent à l'organisme de mesurer la photopériode et donc de s'adapter, par anticipation, aux changements saisonniers du climat. Les sites et mécanismes d'action de la mélatonine

commencent à être identifiés et ces études représentent actuellement un axe très actif des travaux sur les rythmes.

Il est maintenant prouvé que l'intégrité fonctionnelle des organismes dépend de ces mécanismes.

C'est dans le domaine de l'agriculture et de la zootechnie que les connaissances sur les rythmes saisonniers sont à la base d'applications nombreuses. Par exemple la manipulation de l'environnement photopériodique ou plus simplement le traitement par la mélatonine, constituent aujourd'hui des pratiques courantes qui confèrent une parfaite maîtrise dans le temps de la reproduction chez les volailles, ovins, caprins, bovins et équidés.

La compréhension de la physiologie des rythmes est indispensable puisqu'il s'agit d'une fonction majeure, inhérente au vivant (adaptation et anticipation aux changements journaliers et saisonniers de notre environnement dans son extraordinaire variabilité autour du globe) et la maîtrise de connaissances très variées a déjà conduit à des applications réelles dont les perspectives de développement sont très importantes. La compréhension de la physiologie des rythmes est toutefois difficile en raison - de la diversité des événements biologiques étudiés (ex: cycle veille/ sommeil, rythmes des sécrétions hormonales, de l'hibernation, du métabolisme ou encore de la reproduction etc.), - de la multiplicité des disciplines impliquées (neurobiologie, endocrinologie, neuroendocrinologie, biochimie, physiologie générale, environnementale et comparative, biologie cellulaire et moléculaire, biophysique, etc.), - des différents niveaux d'organisation entier, population, écosystème), et des différences entre les espèces.

Vu l'impact indéniable de la photopériode sur les rythmes biologiques, les recherches se sont accentuées ces dernières années. Poussés par la volonté et de la capacité des spécialistes à intégrer les résultats des recherches fondamentales, réalisées parallèlement sur des organismes unicellulaires, invertébrés ou des vertébrés avec les recherches fondamentales, cliniques et appliquées réalisées chez l'homme. « Cette intégration est peut être la raison majeure qui a permis à l'opinion publique de comprendre l'intérêt de la recherche fondamentale sur les rythmes ».



Néanmoins, si cela est vrai aux Etats Unis, et dans quelques pays européens, ce n'est pas encore le cas en Algérie. Bien évidemment je ne peux passer sous silence les travaux concernant le rôle lumineux en perception visuelle, le rôle du NC dans la chronologie biologique et neuro-endocrinien dans la reproduction à l'USTHB.

L'Algérie doit être plus impliquée dans le développement de cette discipline particulière de la physiologie dont l'impact futur en terme de santé publique (vieillessement), de production agricole ou d'écologie est très important.

Mais pour cela, une volonté de politique scientifique forte doit se manifester dans cette direction, en terme de financement bien sûr, mais aussi en terme de structure. Comme dit précédemment, la multidisciplinarité est le mot clé pour l'étude des rythmes biologiques. Il est vain de penser pouvoir regrouper dans quelques laboratoires l'ensemble des spécialistes nécessaires à une étude globale de la physiologie des rythmes. Il faut donc absolument favoriser et organiser la coopération scientifique entre les spécialistes de différentes disciplines afin d'atteindre une masse critique indispensable.

En 1995, la National Science Foundation aux USA a lancé un grand programme coordonné sur les rythmes biologiques (Center for Biological timing) qui regroupe et finance une cinquantaine d'équipes. Au vu de l'origine des travaux les plus pointus qui sortent actuellement, il est clair que l'impact de ce programme sur le développement de la discipline a été énorme. Il est intéressant de noter que ce programme concerne non seulement les recherches fondamentales, cliniques et appliquées, mais aussi la mise sur pied d'un enseignement spécialisé sur les rythmes biologiques et ce, aux différents niveaux de la formation, du lycée à l'université.

## GLOSSAIRE

**1-Lémuriens :** Cet animal est le aye-aye. Il appartient à la famille des lémuriens. Il vit dans les forêts de Madagascar. On le découvrit pour la première fois en 1780. Le aye-aye est aussi gros qu'un chat mais sa queue est aussi longue que son corps. Il possède de longs doigts crochus pour attraper des larves logées sous l'écorce des arbres. Il se nourrit également de fruits. Ses doigts lui servent également à se gratter, se peigner ou se curer les dents. Il s'active la nuit et se cache le jour dans des troncs creux ou des branchages élevés.

**2-Le manchot empereur :** (*Aptenodytes forsteri*), présent uniquement en Antarctique, est l'espèce la plus grande du monde des manchots. Son nom scientifique, *forsteri*, lui a été donné en 1844, en l'honneur du naturaliste allemand Johann Reinhold Forster qui décrivit quatre nouvelles espèces de manchots lors de son voyage avec James Cook (1773-1775). Le Manchot Empereur est un oiseau extraordinaire. Comme son proche cousin le manchot royal ?il ne peut absolument pas voler mais est parfaitement adapté à la nage. Un adulte mesure 1 mètre 20 debout : c'est le plus grand des "sphéniscidés". Ses ailerons mesurent environ 35 cm, et son bec est fin et courbé (environ 10 cm). Il pèse en moyenne un peu moins de 30 kg, mais selon la période du cycle annuel cela peut osciller entre 20 et 40 kg. Il n'y a pas de différence visible entre les mâles et les femelles, même si celles-ci sont en moyenne un peu plus minces que les mâles.

**3-Les opilions (Opilions) :** mieux connus sous le nom vernaculaire de « faucheurs » ou « faucheux », appartiennent à la classe des arachnides, tout comme les araignées, les scorpions et les acariens. Les opilions se distinguent des araignées par le fait que leur abdomen segmenté et leur céphalothorax sont soudés. Ils possèdent quatre paires de pattes qui sont habituellement longues et fines. Le régime alimentaire des opilions s'apparente à celui des araignées (elles sont carnivores). Contrairement aux araignées, qui ne consomment que le produit de leur chasse, les opilions peuvent se nourrir de cadavres d'insectes et d'autres petits animaux. Les pattes d'opilions se détachent facilement (l'autotomie) et il est fréquent de rencontrer des individus avec moins de huit pattes.

**4-Le lampyre :** n'est pas un ver, mais un coléoptère dont la femelle, incapable de voler, émet des signaux lumineux pour signaler sa présence au mâle. Dans l'hémisphère nord, Lampyris noctiluca est l'espèce la plus commune, et sa larve ressemble beaucoup à la femelle. C'est du reste cette apparence qui a valu à l'insecte le non familier de ver luisant.

**5-Les lucioles (mouches à feu) :** produisent de la lumière afin de se trouver un compagnon ou une compagne pour l'accouplement. En général, le mâle vole alors que la femelle reste dans l'herbe. Ils ont un signal spécifique (nombre de clignotements et couleur) pour éviter les rencontres infructueuses avec d'autres espèces de lucioles. Les larves des lucioles (vers luisants) se nourrissent de mollusques (escargots et limaces). Même au stade larvaire, l'insecte produit de la lumière. Les oeufs de certaines espèces sont aussi lumineux.

**6-Le chiton :** Animal marin à corps aplati et ovale avec face ventrale constituant une sole de reptation. Face dorsale légèrement convexe couverte de huit plaques calcaires placées les unes derrière les autres de forme quadrangulaires à l'exception de la première et la dernière plutôt semi-circulaires. Plaques s'imbriquant les unes sur les autres, chacune d'elles recouvrant la suivante par son bord postérieur. La partie recouverte de chaque plaque est mince et constitue les lames suturales. Bouche ventrale placée en avant et dotée d'une longue radula. Pas de tentacule, pas de cavité palléale. Longueur variable selon l'espèce et pouvant atteindre 6 cm, vivant en Atlantique et en Méditerranée. Adhère par son pied aux rochers et aux pierres du littoral. Détaché, se roule en boule à la façon des cloportes.

**7-Goéland :** est un terme générique désignant de nombreuses espèces d'oiseaux marins de la famille des laridés appartenant au genre *Larus* (qui comprend également des mouettes). Ils sont assez proches des sternes et un peu moins du pingouin. Le mot goéland est un emprunt au breton gouelan. Ce sont des oiseaux de taille moyenne ou grande, généralement gris ou blanc, avec souvent des marques noires sur la tête ou les ailes, qui mesurent 1 m 40 d'envergure. Ils ont un bec long et épais, des pieds palmés. La plupart des goélands sont omnivores, se nourrissant d'animaux et parfois de charognes.

Les goélands sont presque tous côtiers ou insulaires, s'aventurant rarement en haute mer. Les grandes espèces mettent jusqu'à quatre ans pour atteindre le plumage adulte complet, mais plus typiquement deux ans pour les petits goélands. Sur les côtes européennes, l'espèce la plus commune est le goéland argenté (Larus argentatus).

**8-Le brochet (ou grand brochet) :** est un poisson qui habite les rivières, les lacs et les étangs d'Europe, d'Amérique du Nord, et d'Asie et du Maroc au moyen Atlas. Le brochet est présent sur toute la bande du globe entre le tropique du capricorne et le cercle polaire. Longtemps considéré à tort comme un monstre glouton dévorant tout ce qui se présente à sa portée, il est reconnu aujourd'hui comme un excellent régulateur de population des lacs et des étangs. Il est souvent introduit dans les plans d'eau où il y a trop de carpes.

**9-Le xénope :** est un amphibien anoure aquatique d'Afrique australe du genre *Xenopus*. Parmi de nombreuses espèces, les plus connues sont Xenopus laevis, encore appelé dactylère du Cap et *Xenopus tropicalis*, qui se rencontre en Afrique occidentale.

**10-Édentes :** des animaux dont les caractères distinctifs sont non l'absence complète de dents, cas qui ne se présente que chez un petit nombre de genres, mais un système dentaire toujours sans incisives et à racines semblables. En outre, ils ont des doigts terminés par des ongles puissants, propres à fouir et un museau long et pointu.

**11-Hypothalamus :** partie du cerveau qui orchestre le lien entre système nerveux et système hormonal. Notre corps réagit à son environnement, rapidement grâce au système nerveux, ou plus graduellement grâce au système hormonal. C'est l'hypothalamus, situé à la base du cerveau, qui orchestre le lien entre les deux systèmes : certains des neurones qu'il contient secrètent des "neuro-hormones", des substances qui à leur tour influencent la sécrétion d'hormones.

**12-RT-PCR :** technique de base de la biologie moléculaire, elle a permis de montrer que la transcription de tous les gènes s'effectuait dans tous les tissus.



**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

**Perret M., Seguy M., Schilling A. :** «Conférence et communication du 34<sup>ème</sup> congrès de la société Francophone de Chronobiologie, (2002)».

**Reppert SM., Weaver DR. :** - Molecular analysis of mammalian circadian rhythms. *Annu Rev Physiol*; (2001), 63: 647-76.

**Reille A. :** "La boussole des pigeons", in R, n°116, novembre (1980), p.1319.

**Reinberg A. :** Les rythmes biologiques, Que sais-je ? éd. Presses Universitaires de France, (1989), p.80.

**Rouger Y. :** - Etude des interactions de l'environnement et des hormones sexuelles dans la régulation du comportement sexuel des Bovidae. Thèse Doct. Etat ès Sci. Nat., CNRS AO 10; (1974), 316: 197 pp.

**Rossion P. :** "Orientation des pigeons voyageurs : énigme à demi percée", in SV, NC, et Gould JL, " L'orientation des pigeons", in R, n°141, février (1983).

**Shearman LP., Sriram S., Weaver DR. :** - Interacting molecular loops in the mammalian circadian clock, *Science*; (2000), 288: 1013-9.

**Tortora GJ. :** - Cité en Principe d'anatomie et de physiologie « Les sens spéciaux»; (1993); 495-499.

**Vaillant PT. :** "Maux de novembre et maux d'avril", in SV, Hors série trimestriel n°163: Cycles et saisons, juin (1988), p.125.

**Veiber. :** Biologie édition terminal D (1993).

**Vuillez P. :** du Département NBR < Equipe "Genèse et synchronisation des signaux circadiens et saisonniers" >, (2007).

**Welsh DK., Logothetis DE., Meister M. :** - Reppert SM. Individual neurons dissociated from rat suprachiasmatic nucleus express independently phased circadian firing rhythms. *Neuron*; (1995), 14:697-706.

#### Articles et dossiers :

-Les horloges de la vie par Arbona : journaliste scientifique, spécialisé en environnement (Reinberg, 1997) et (Alami, 2002).

-Le Signal Astrologique : hypothèses et directions de recherche (de Citron J.-P) 1997.

-Dossier : Boutinot ; photos (Farcy, Lemaire, Acker, Sage).

#### Sites Internet :

1- ([www.univers-nature.com](http://www.univers-nature.com))

2- ([www.euroestech.net](http://www.euroestech.net))

3- ([www.site.voila.fr](http://www.site.voila.fr))

4- ([www.univ-st-etienne.fr](http://www.univ-st-etienne.fr))

5- ([www.snof.org](http://www.snof.org))

\*NC : référence non connue

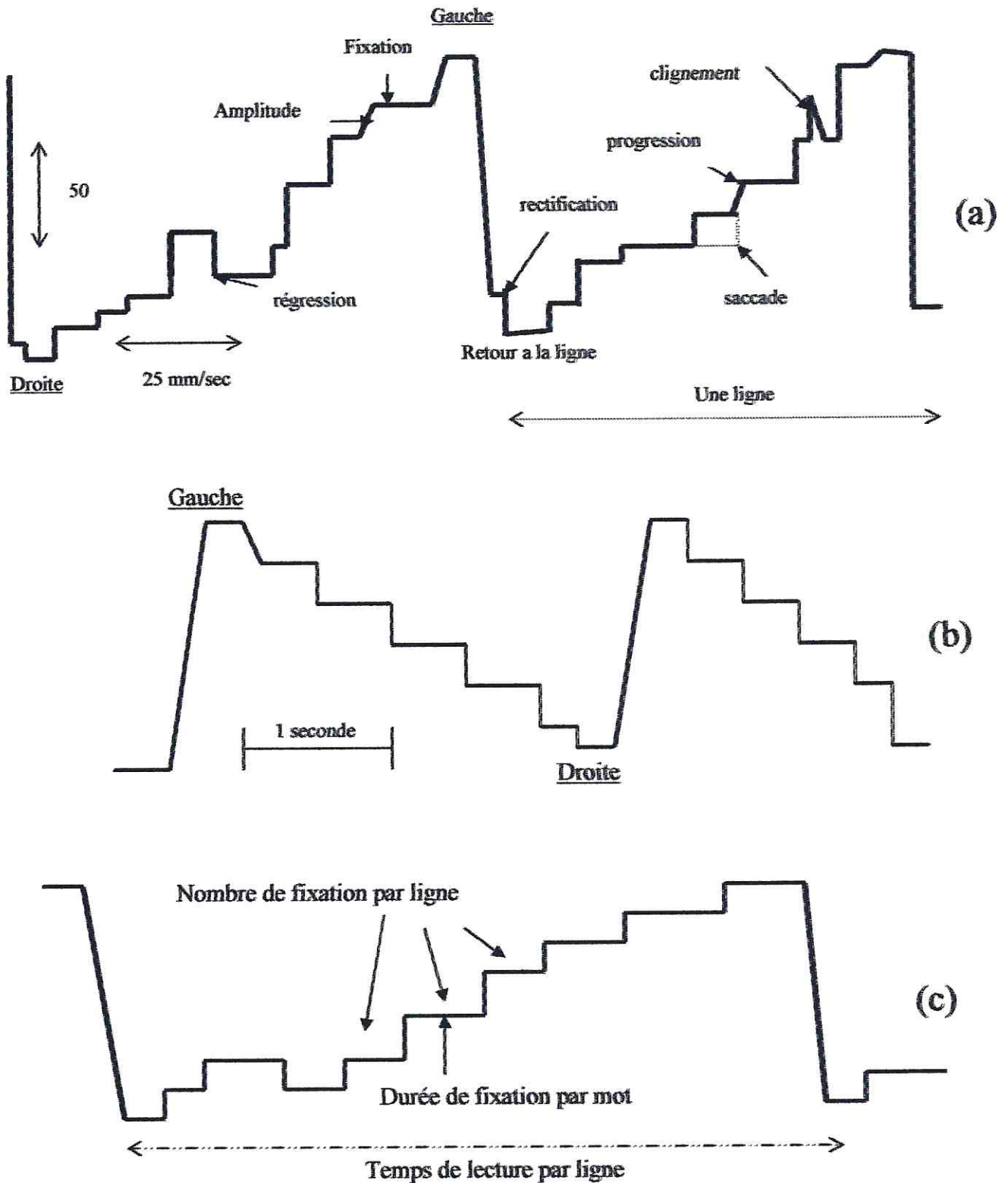
\*PS : revue Pour la Science

\*R : revue La Recherche

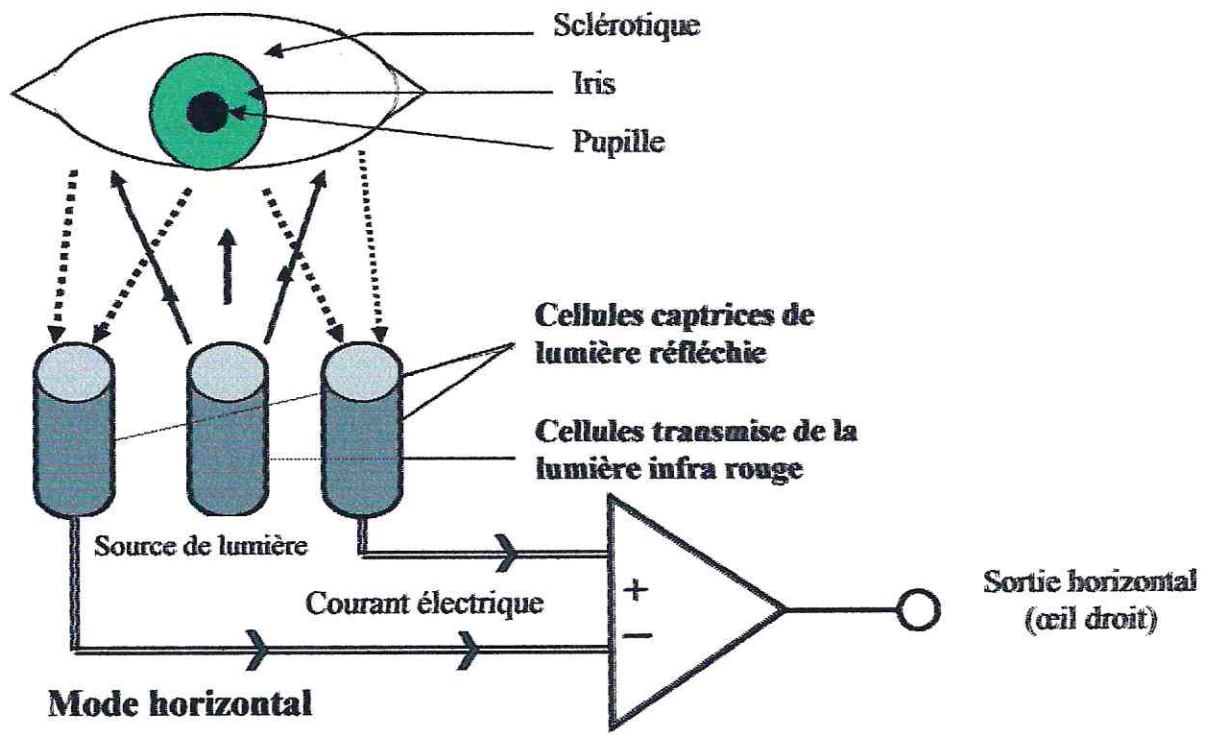
\*SV : revue Science et Vie

\*SI : site Internet

# ANNEX



**Fig (18) : Démonstration des différents types de tracés oculographiques**  
**(a) Exemple de tracé oculographique enregistré sur deux lignes pendant la lecture d'un texte en arabe.**  
**(b) Tracé oculographique sur deux lignes d'un texte en latin**  
**(c) Tracé illustrant les paramètres étudiés dans notre expérimentation**



**Fig (19) : Dispositif de capture de la lumière réfléchie (méthode du reflet cornéen)**