



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. MIRA de Béjaia  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement

## Mémoire

Présentée par

M<sup>me</sup> MOUZAIA née SALHI Aouba

Pour l'obtention du diplôme de Magister  
Filière: Biologie  
Option : Ecologie et Environnement

## Thème

**Variations morphologiques et physiologiques de la glande thyroïde chez un modèle hibernant, le Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*)**

**Soutenu publiquement Le 09/04/2015, devant le jury composé de :**

Mr MOULAI Riadh	Prof	Université de Béjaia	Président
Mr AYAD A/hanine	MCA	Université de Béjaia	Examineur
Mr ZOUHIR Ramdane	MCA	Université de Béjaia	Examineur
Mme MOUHOUB SAYAH Chafika	MCA	Université de Béjaia	Rapporteur

Année universitaire : 2014-2015.

# Remerciements

Le présent travail a été initié au Laboratoire de Zoologie Appliqué et d'Ecophysiologie animales sous la direction de **Mme MOUHOUB SAYAH Chafika**, maitre de conférences A à la faculté des sciences biologiques et de l'environnement.

Ce Mémoire me donne l'occasion d'exprimer mes vifs remerciements à plusieurs personnes sans l'appui desquels, ce travail n'aurait pu voir le jour.

Je tiens à remercier vivement **Mme MOUHOUB SAYAH Chafika** qui m'a aimablement et chaleureusement accueillis au sein de son équipe. Elle m'a confié un sujet qui m'a permis de m'initier à la recherche et a veillé à ce que je dispose de bonnes conditions de travail. Qu'elle reçoive l'expression de ma profonde gratitude pour la confiance qu'elle m'a toujours accordée, son esprit d'équipe, son soutien, sa rigueur scientifique, son exigence, sa disponibilité, ses conseils et ses incessants encouragements apportés lors de la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici madame le témoignage de mon profond respect et ma sincère reconnaissance.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à tous les membres du Jury:

- **Mr MOULAI Riad, professeur** à l'université de Béjaia, qui m'a fait profiter de sa grande expérience par l'enseignement qu'il nous a prodigué durant la post-graduation et qui malgré ses multiples occupations, nous fait l'honneur de présider ce jury. Qu'il trouve ici l'expression de notre profond respect.

-**Mr RAMDHANE Zouhir** maître de Conférences A, et **Mr AYAD Abed el hanin**, maître de Conférences A à l'université de Béjaia qui ont eu l'amabilité d'examiner ce travail en participant au jury, soit vivement remercié pour toutes les critiques constructives qu'elle ne manquera pas d'apporter.

Je tiens à remercier chaleureusement le directeur de laboratoire d'analyses médicales à Bouira **Mr SAYAH**, qui m'a permis d'apprendre les techniques d'analyses et de faire le dosage hormonal au sein de son laboratoire.

J'exprime ma reconnaissance au vétérinaires qui ont contribué à la réussite de ce travail par leur conseils et aide ; **Mr SAYAH, Mr BENAKDI et Mr DJAMA.**

Je remercie l'équipe du laboratoire d'anatomie pathologie de l'hôpital Franc Fanon de la wilaya de Béjaia, surtout Mme Akila qui a été un exemple pour moi durant ma période de stage.

Je n'aurai garde d'oublier toutes personnes fournisseurs des Hérissons; les agricultures, les membres de famille, les amis, les collègues, les vétérinaires, sans l'aide desquels ce travail n'aurait pas pu être mené à bien.

Je remercie ma chère amie Hassiba ZERGUI pour son aide et sa prise en charge des animaux les moments de mon absence.

Je remercie également mon mari pour sa patience, sa compréhension et son aide financière.

Je remercie tendrement mes parents. Il est évident que sans leur aide, leur confiance, leur soutien, leur générosité et leur patience je n'aurais jamais pu mener à terme ce travail.

Enfin, il m'est très agréable de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail

# *Dédicaces*

*Ce modeste travail n'est que le fruit d'un acharnement et d'une volonté qui s'agrandissaient de plus en plus. Ce but tant espéré n'a pu se réaliser sans la présence de tous ceux qui m'ont aidé, soutenu et encouragé dans les moments les plus difficiles ; pour cela je dédie ce mémoire :*

*A la mémoire de mon frère Farid qui a été toujours à mes cotés malgré ses souffrances.*

*A mes chers parents qui m'ont apporté de l'aide et m'ont toujours encouragé. Pour tous leurs sacrifices, leurs inquiétudes, je leurs serai toujours reconnaissante.*

*A mon précieux mari Halim qui m'a toujours poussé vers l'avant, pour sa patience et ses sacrifices.*

*A mon future bébé*

*A mes chers frères, Saïd, Mehand, Rachid, Mourad, Hamou, Djihad.*

*A mes belles sœurs*

*A ma belle-famille, surtout mes beaux-parents.*

*A mon directeur de thèse Mme .C.MOUHOUB qui a toujours été l'exemple durant mes études.*

*A mes neveux et mes nièces.*

*A mes copines et tous mes amis.*

*A tous mes enseignants depuis l'école primaire jusqu'à l'université.*

*A tous je dédie ce modeste travail.*

# Liste des figures

## Liste des figures

- Figure 1:** la structure des Hormones Thyroïdiennes Iodé.....p18
- Figure 2 :** les différentes étapes de synthèse hormonale thyroïdienne.....p21
- Figure 3:** Les différentes étapes de la régulation de fonctionnement thyroïdien.....p24
- Figure 4:** Répartition géographique d'*Atelerix algirus* et *Hemiechinus aethiopicus* d'après Sahraoui-Brahim (1984), Sellami et al. (1989) et Harbi (1991).....p33
- Figure 5:** Des nouveaux nés du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) après Cinq jours de mise bas.....p36
- Figure 6:** Milieu d'élevage du Hérisson d'Algérie, a) la cage, b) parc au sol..... p38
- Figure 7:** Les différentes étapes de laparotomie pour l'implantation des iButtons dans la cavité abdominale du Hérisson.....p44
- Figure 8:** Représentation schématique des variations de la température corporelle du Hérisson au cours de l'hibernation.....p46
- Figure 9:** Echographie vétérinaire Imago (ECM réf. 90-1945).....p47
- Figure 10:** Les différentes étapes de réalisation des coupes histologiques de la glande thyroïde du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) réalisé au niveau de CHU de Béjaïa .....p51
- Figure11:** Mensuration de diamètre des follicules thyroïdiens avec le logiciel Image Tools.....p53
- Figure 12:** Variation simultanée de la température corporelle [Tc (°C)] du Hérisson d'Algérie (A1) en relation avec la température ambiante [Ta(°C)] d'octobre à février, 2014.....p57
- Figure 13:** Variation simultanée de la température corporelle (Tc) du Hérisson d'Algérie (A11) en relation avec la température ambiante moyenne (Ta) de décembre jusqu'à mai, 2014.....p58
- Figure 14:** Variation nyctémérale de la température corporelle (Tc) [°C] chez le Hérisson d'Algérie femelle adulte en relation avec la température ambiante (Ta) [°C] en phase de l'entrée en Hibernation.....p59
- Figure 15:** Caractéristique de la variation de la température corporelle Tc (°C) en relation avec la température ambiante Ta(C°) en période d'entrée en hibernation chez le Hérisson d'Algérie femelles (A1).....p60
- Figure 16:** Etude chez le Hérisson d'Algérie de la position au cours du nyctémère du début : a) des entrées en torpeur, b) des reveils, c) des euthermies .....p65

- Figure 17 :** Etude des durées relatives (% par période de 15 jours) en torpeur et en euthermie chez le hérisson d'Algérie femelle d'octobre jusqu'au mai, en relation avec la température ambiante moyenne .....p67
- Figure 18:** Evolution de la température ambiante (Ta) et de la température corporelle (Tc) du Hérisson pendant une phase de torpeur et son retour à l'euthermie.....p68
- Figure 19:** Variation mensuelle du bilan énergétique en pourcentage (économie-dépense) au cours de la période d'expérimentation chez le Hérisson d'Algérie femelle adulte.....p69
- Figure 20:** Variations mensuelles de la masse corporelle chez les sept Hérissons d'Algérie au cours de l'hibernation.....p70
- Figure 21 :** Ecographie vétérinaire Imago (ECM réf. 90-1945) utilisé pour imagerie de la thyroïde du Hérisson d'Algérie. (a : vue longitudinale ; b : vue transversale).....p72
- Figure 22:** Localisation de la thyroïde chez le Hérisson d'Algérie dans la région cervicale .....p73
- Figure 23:** Différentes formes des lobes thyroïdiens du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*).....p74
- Figure 24:** Différentes formes de la thyroïde du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*).....p75
- Figure 25:** Vascularisation de la thyroïde du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*).....p76
- Figure 26:** Variations mensuelles du poids de la glande thyroïde chez le Hérisson d'Algérie.....p77
- Figure 27:** Variation mensuelle de la concentration plasmatique de la thyroxine (T4) chez le Hérisson d'Algérie femelle.....p78
- Figure 28:** Structure histologique de la thyroïde du Hérisson d'Algérie femelle (*Atelerix algirus*).....p80
- Figure 29:** Variations mensuelles du diamètre et de la superficie folliculaire de la glande thyroïde chez le Hérisson d'Algérie.....p81
- Figure 30:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A8 en période de pré-hibernation (mois de novembre) (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).....p83
- Figure 31:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A14 en période d'hibernation (au mois de février) (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).....p84

**Figure 32:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A11 en période d'activité (sortie d'hibernation) en mai. (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).....p85





# Liste des tableaux

## **Liste des tableaux**

- Tableau 1:** Tableau récapitulatif à la programmation des émetteurs i-Button.....p40
- Tableau 2:** Etude des variations de la température corporelle (Tc) chez 07 Hérissons d'Algérie femelles.....p55
- Tableau 3:** Données globales des différentes phases d'hibernation.....p61
- Tableau 4:** Caractéristiques des variations de la température corporelle chez 07 femelle adultes du Hérisson d'Algérie élevée en salle de mois de novembre jusqu'à le mois de mars. Présentation des données en nombre (n) ou en pourcentage (%) des valeurs totales et des durées en heures (h).....p62
- Tableau 5:** Pourcentage de dépense et d'économie d'énergie du Hérisson d'Algérie femelles pendant l'hibernation.....p69
- Tableau 6:** Variation mensuelle du poids de la glande thyroïde chez le Hérisson d'Algérie.....p77
- Tableaux 7:** Variation de taux plasmatique de la thyroxine (T4) chez le Hérisson d'Algérie.....p78
- Tableau 8:** Variations mensuelles du diamètre et de la superficie des follicules thyroïdiens.....p80

# Liste des annexes

## Liste des annexes

**Annexe 1 :** Fiche technique des animaux implantés.

**Annexe 2 :** Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A7 du novembre jusqu'à février.

**Annexe 3 :** Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A9 du décembre à mars.

**Annexe 4:** Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) de l'animal A10 de décembre jusqu'au mars.

**Annexe 5:** Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A13 du décembre jusqu'au mars.

**Annexe 6:** Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A14 du décembre jusqu'au février

**Annexe 7:** Coloration « H.E » « Hemalun -2osine »

**Annexe 8:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A12 en période de d'hibernation, en décembre (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).

**Annexe 9:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A7 (en période d'hibernation) en Février (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).

**Annexe 10:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A1 (en période d'hibernation) en Février (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).

**Annexe 11:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A16 en période d'activité (sortie d'hibernation) en mars (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).

**Annexe 12:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A9 en période d'activité (sortie d'hibernation) en mars (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).

**Annexe 13:** Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A13 en période d'activité (sortie d'hibernation), en mars (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).

**Annexe 14:** Mesures des diamètres et des superficies folliculaires de la glande thyroïde du Hérisson d'Algérie femelle durant différentes périodes de l'année.



# Sommaire



# Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

**Introduction**..... 1

## **Chapitre I : données bibliographiques**

I. Présentation d'une stratégie d'adaptation au froid : l'Hibernation.....	4
I.1. Définition et caractéristique principales de l'hibernation.....	4
I.2. Les catégories d'hibernants.....	5
1.2.1. Les hibernants obligatoires.....	5
1.2.2. Les hibernants saisonniers.....	5
1.2.3. Les hibernants facultatifs.....	5
I.3. Mécanismes de l'hibernation.....	5
I.3.1. L'entrée en hibernation.....	6
I.3.2. Les réveils périodiques.....	6
I.3.3. Sortie de l'hibernation.....	7
I.4. Facteurs de contrôle de l'hibernation.....	7
I.4.1. Facteurs externes.....	8
I.4.1.1. La température.....	8
I.4.1.2. La photopériode.....	8
I.4.1.3. La disponibilité des ressources alimentaires.....	8
I.4.2. Facteurs internes.....	9
I.5. Relation entre les factures externes et internes.....	10
I.6. Physiologie de l'hibernation.....	10
I.7. Conséquences écophysiologiques de l'hibernation sur les rythmes biologiques.....	11
I.8. Exemples des espèces hibernantes.....	12
I.8.1. Rongeurs.....	12
a) La marmotte.....	12
b) Le loir.....	13

I.8.2. Les carnivores.....	13
a) Le blaireau.....	13
I.8.3. Insectivores .....	13
A) Le hérisson d'Europe (Erinaceus europaeus).....	13
b) La chauve-souris .....	13
I.8.4. Les oiseaux.....	14
II. Anatomie et fonctionnement normal de la glande thyroïde.....	15
II.1. La thyroïde : glande endocrine .....	15
II.1.1. Conformation anatomique .....	15
II.1.2. Structure histologique .....	16
II.2. Les hormones thyroïdiennes iodées (HTI) .....	17
II.2.1. Synthèse des hormones thyroïdiennes iodées .....	18
II.2.1.1. Formation.....	18
II.2.1.2. Transport .....	19
II.2.1.3. Métabolisme.....	20
II.3. Régulation de la fonction thyroïdienne.....	22
II.3.1 Contrôle hypothalamo-hypophysaire .....	22
a. Hormone hypophysiotrope: TRH .....	22
b. Thyroestimuline hormone: TSH.....	22
c. Iode .....	23
d. Les anti-thyroïdiens.....	23
II.4. Rôles des hormones thyroïdiennes iodées .....	24
II.4.1. Mécanisme d'action des hormones thyroïdiennes iodées.....	24
II.4.2. Effets des hormones thyroïdiennes.....	25
II.4.2.1 Effets sur le développement: .....	25
a. Période fœtale .....	25
b. Période post natale: .....	25
II.4.2.2 Effet sur le système nerveux central .....	26
II.4.2.3 Effet sur les muscles squelettiques .....	26
II.4.2.4 Effet sur le système cardio vasculaire .....	26
II.4.2.5 Effet sur le système digestif.....	27
II.4.2.6 Effet sur le système hématopoïétique .....	27
II.4.2.7 Effet sur la fonction rénale .....	27

II.2.8 Effet sur les métabolismes .....	27
a. Calorigénèse .....	28
b. Métabolisme protidique.....	28
c. Métabolisme glucidique .....	28
d. Métabolisme lipidique.....	29
II.5 Anomalies de la sécrétion des hormones thyroïdiennes .....	29
II.5.1.Hypothyroïdie .....	29
II.5.2.Hyperthyroïdie.....	29

## **Chapitre II : matériel et méthodes**

I. Présentation de l'animal.....	31
I.1. Systématique .....	31
I.2. Biogéographie .....	31
I.3. Distribution géographique .....	32
I.4. Données biologiques et écologiques .....	34
I.4.1. Description morphologique .....	34
I.4.2. Habitat.....	34
I.4.3. Activité.....	34
I.4.4. Régime alimentaire .....	35
I.4.5. La reproduction .....	35
II.Méthodes d'études de la température corporelle (Ta) chez le Hérisson d'Algérie .....	36
II.1. Capture et conditions d'élevage .....	36
II.2. Mesure de la température corporelle .....	39
II.2.1. Utilisations de système i-Button.....	39
II.2.2.Programmation des émetteurs .....	39
II.2.3. Implantation chirurgicale des iButtons (laparotomie).....	41
II.2.3.1. Anesthésie.....	41
a. Anesthésie liquide .....	41
b. Anesthésie gazeuse.....	42
II.2.3.2.La chirurgie (implantation des i-Buttons) .....	42
II.2.3.3. Lecture et exploitation des données.....	45
III.Etude de la thyroïde.....	46

III.1. Etude de l'aspect morphologique de la thyroïde .....	46
III.1.1.Echographie.....	46
III.1.2. Méthode de prélèvement de la glande thyroïde .....	47
III.2. Coupes histologiques.....	48
III.2.1. Fixation : .....	48
III.2.2. Etape de la confection des fragments .....	48
a. Déshydratation.....	48
b. Désalcoolisation .....	49
c. Inclusion .....	49
III.2.3. Confection des coupes.....	49
a. L'enrobage.....	49
b. La coupe .....	49
c. Etalement des coupes .....	50
III.2.4. Etape de la coloration et du montage .....	50
a. Colorations .....	50
b. Montage.....	50
III.3. Lecture et exploitation des coupes histologiques .....	52
III.4. Fonctionnement thyroïdien (hormones thyroïdiens iodées).....	53
III.4.1. Prélèvement sanguins .....	53
III.4.2. Dosage de la thyroxine (T4).....	53

## **Chapitre III : Résultats**

I.Hébrination .....	55
I.1. Etude de la variation de la température corporelle durant la période d'hibernation.....	55
I.1.1. cadre experemental du suivi de la température corporelle (Tc).....	55
I.1.2. Données globales des différentes phases d'hibernation.....	59
a. L'entrée en hibernation.....	59
b. L'hibernation proprement dite .....	61
c. La sortie de l'hibernation : .....	61
I.1.3. Les caractéristiques de l'hibernation .....	62
I.1.3.1. Les torpeurs.....	64
a. Le refroidissement : .....	64

b. L'hypothermie ou hibernation profonde : .....	64
I.1.3.2. Les réveils .....	65
a. La phase de réchauffement .....	65
b. La phase d'euthermie ( ou normothermie).....	65
I.1.3.3. Fréquences de torpeur et d'euthermie par période de 15 jours .....	66
I.1.3.4. Relation entre les évolutions de la Ta et la Tc. ....	68
I.1.3.5. Le bilan énergétique des animaux.....	69
I.2.Variation de la masse corporelle .....	70
1.3. La prise alimentaire .....	71
II. Fonctionnement thyroïdien.....	71
II.1. Localisation de la thyroïde par échographie.....	71
II.2.Description anatomique de la thyroïde .....	73
II.3. Vascularisation : .....	76
II.4. Variation du poids de la glande thyroïde.....	77
II.5.Variations de la thyroxinémie (T4) chez le Hérisson d'Algérie.....	78
III. Données histologiques de la thyroïde.....	79
III.1. La structure histologique de la glande thyroïde .....	79
III.2. Evaluation de l'activité physiologique de la thyroïde .....	80

## **Chapitre IV : Discussion**

I.Variation de la température corporelle au cours de l'hibernation.....	86
I.1. L'entrée en hibernation : .....	87
I.2.Hibernation proprement dite : .....	88
I.2.1Refroidissement et réchauffement .....	88
I.2.2.Phase de torpeur : .....	89
I.2.3.Phase de réveil (euthermie).....	90
I.2.4.Rythmicité.....	91
I.1.3.Sortie de l'hibernation : .....	91
I.2.Variation de masse corporelle : .....	93
I.3.La prise alimentaire : .....	93
I.4. Le bilan énergétique : .....	94
II. La thyroïde : .....	95

II.1. Etude anatomique .....	95
II.2. Variations pondérales .....	96
II.3. Dosage hormonale .....	96
II.4. L'etude histologique.....	98
II.5. Implication de l'activité thyroïdienne dans l'hibernation .....	99
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	102
<b>Références bibliographiques</b> .....	106
<b>Annexes</b> .....	122
<b>Résumé</b>	

# **Introduction**

La périodicité de nombreux phénomènes naturels est une découverte très ancienne, une préoccupation originelle chez l'Homme. Cette périodicité n'était pas limitée au monde extérieur mais incluait des phénomènes physiologiques rythmiques. En biologie ces phénomènes répétitifs réguliers sont appelés par des vocables variables : rythmes, oscillations, ou cycles. Depuis le développement des sciences biologiques la liste des oscillations biologiques n'a cessé de croître (Rapp, 1987). Parmi celles-ci, **l'hibernation**, un phénomène connu depuis fort longtemps par son caractère saisonnier particulièrement net (El-Omari 1987).

L'hibernation est l'un des fascinants et énigmatiques phénomènes physiologiques. C'est une stratégie adaptative, une réaction particulière aux conditions défavorables de l'environnement telles que, l'abaissement de la température extérieure et la raréfaction des ressources alimentaires. Cette stratégie permet des économies d'énergie substantielles en minimisant la température du corps et le métabolisme. En conséquence, tous les procédés biologiques se ralentissent à leurs minimums (Kayser, 1961).

L'hibernation est caractérisée par un comportement « instinctif » ou d'anticipation, elle nécessite donc une préparation et une organisation interne pour pallier aux conditions défavorables du milieu. C'est pour cela, de nombreux auteurs ont considéré ce phénomène comme ayant une origine endogène (interne), (French, 1977 ; Canguilhem, 1989). Parmi les facteurs internes susceptibles de déterminer l'hibernation on note le système endocrinien qui manifeste des modifications saisonnières très importantes chez les hibernants, (Popovic, 1960 ; Kayser, 1961 ; Gabe et al, 1968). En effet, il a été démontré que l'hypophyse, les surrénales, les gonades et les glandes thyroïdes présentent un maximum d'activité au printemps et au début de l'été, puis l'activité diminue graduellement jusqu'à la fin de l'automne. (Olivreau, 1970 ; Saboureau, 1981 ; Sicart, 1972)

L'activité thyroïdienne des hibernants a fait l'objet de nombreuses études (Olivreau, 1970 ; Sicart, 1972 ; Kayser, 1961 ; Ambid, 1965 ; Saboureau, 1992 ; Fontaine et Oliverau, 1952), notamment, sur certaines espèces animales, telles que : le Hérisson d'Europe, la Marmotte, le Hamster, le Lérot et la Chauve souris.

Le rôle de la thyroïde dans le phénomène de l'hibernation a été envisagé le plus souvent en fonction des effets qu'elle possède chez les animaux homéothermes, son action prépondérante étant celle qu'elle exerce au niveau de la production calorifique (Sicart, 1972). Chez la plupart des espèces, les sécrétions thyroïdiennes possèdent bien d'autres actions qu'elles exercent à tous les niveaux de l'organisme et dans des domaines très divers tels que :



le métabolisme, les activités ; musculaires, cardiaques et nerveuses. En outre, elles varient selon plusieurs facteurs, l'espèce, l'âge et le sexe.

Dans ce sens, des travaux sur plusieurs hibernants ont démontré que l'affaiblissement de l'activité de la thyroïde favorise et même nécessite pour que la phase d'hypothermie se manifeste (Adler, 1926 ; Lachiver et Petrovic, 1960). Canguillhem (1970) au cours de ses travaux a montré que l'hypofonctionnement thyroïdien entraîné par l'iode radioactif ( $I^{131}$ ), empêchait l'entrée en hypothermie chez le Hamster d'Europe (*Cricetus cricetus*) et que l'administration de la thyroxine à cet animal rétablit sa faculté d'hiberner (Saboureau, 1992).

Bien que l'étude de la structure et du fonctionnement thyroïdien soit déjà entreprise, du point de vue histologique et physiologique chez de nombreux hibernants, notamment le Hérisson d'Europe (Kristofferson et Soivio, 1967 ; Saboureau, 1979 ; Vignault, 1994, Olivrau, 1970), il n'en est pas de même chez le Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) une espèce voisine qui présente une répartition plus méridionale (Afrique de Nord) (Shilling et al, 1986). Le Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) est un petit mammifère insectivore, encore très peu étudié. Les premiers travaux concernant cette espèce en Algérie portent sur l'étude de son régime alimentaire. Ces études ont été faites d'abord sur le littoral algérois par Doumandji et Doumandji (1992a), qui ont remarqué la présence de rares excréments en hiver, prouvant que l'espèce citée n'hiberne pas. Puis, des études similaires ont été faites dans de différentes régions de l'Algérie, cas du barrage de Boughazoul (Baaziz, 1991), Grand Kabylie (Bendjoudi, 1995 ; Talmat et al, 2004 ; Brahmi, 2005) et dans la vallée de la Soummam par Mouhoub-Sayah (2009)

Une orientation scientifique nouvelle concernant l'écophysiologie du Hérisson d'Algérie a été abordée par Mouhoub Sayah (2009). Cette voie de recherche s'est basée sur le suivi de la température corporelle ( $T_c$ ). Les résultats obtenus à travers cette étude, montrent clairement que le Hérisson d'Algérie peut être considéré comme un vraie hibernant.

A la base de ces nouvelles données sur le Hérisson d'Algérie, l'équipe de recherche d'écophysiologie LZA (Laboratoire de Zoologie Appliquée et d'Ecophysiologie Animale) envisage de mener des travaux dans une double perspective sur la biologie de cet hibernant. On peut, en effet, tenter de démontrer les mécanismes écologiques et physiologiques qui président à l'installation de la léthargie et à l'ajustement de la température interne au niveau de la température ambiante. Mais, il est tout aussi intéressant d'analyser l'incidence de cette particularité sur les autres fonctions physiologique, notamment celles dont l'activité présente une rythmicité saisonnière. C'est dans cette deuxième voie possible de recherche que s'inscrit notre programme de travail.

Afin d'aborder cette thématique de recherche, nous avons voulu d'abord, apporter plus d'informations et de précisions sur les variations saisonnières de la température corporelle (Tc) en relation avec la température ambiante (Ta) chez le Hérisson d'Algérie. Le suivi de la Tc pendant une plus longue période possible de l'année (automne, hiver, printemps) permet de compléter et d'enrichir les résultats fournis par Mouhoub-Sayah (2009) et ceux de Benmouhoub (2013) sur l'hibernation de ce petit mammifère.

Au cours de ce travail, on s'est attaché à la constitution d'une base de données sur le fonctionnement thyroïdien durant les différentes saisons et en relation avec l'hibernation. En effet, nous tentons pour la première fois de rechercher les différentes variations structurales (anatomiques, histologique) et physiologique (hormonale) qui peuvent se manifester, au cours et après l'hibernation.

Il nous a paru logique de présenter notre travail en quatre chapitres distincts.

Le premier chapitre sera consacré à l'apport des données bibliographiques sur l'hibernation, les aspects généraux anatomiques de la thyroïde et son fonctionnement chez les mammifères. Le deuxième chapitre portera sur les différentes techniques et méthodes employées pour l'étude de la variation de la température corporelle (Tc) au cours de l'automne, hiver et début printemps. Ainsi que l'étude des variations morphologiques et physiologique de la thyroïde au cours de la période indiquée. Les résultats obtenus seront décrits dans le troisième chapitre, tandis que le quatrième chapitre sera consacré à l'analyse, à la discussion des résultats et à leur comparaison avec ceux obtenus chez d'autres hibernants. On terminera avec une conclusion générale et des perspectives de recherche.

# **Chapitre I : Données bibliographiques**

## **I. Présentation d'une stratégie d'adaptation au froid : l'Hibernation**

Tous les êtres vivants partagent une contrainte commune qui est d'assurer leur survie et celle de leur espèce. Cette contrainte est liée à un double problème d'ordre énergétique qui est de trouver suffisamment de nourriture pour eux-mêmes et faire coïncider la naissance de leurs jeunes avec la période où le climat et la disponibilité en nourriture sont les plus favorables. C'est pourquoi, dans les régions au climat tempéré, un grand nombre d'espèces donnent naissance à leur progéniture au printemps ce qui leur permet de profiter de l'abondance de la nourriture et de la douceur des températures. Ceci implique de traverser avec succès la période critique qu'est l'hiver, caractérisée par une chute importante de la température ambiante et une raréfaction de la nourriture. Ces diverses contraintes canalisent l'organisation temporelle de l'activité des animaux. La survie de l'individu et celle de son espèce n'est donc possible que s'il existe une planification rigoureuse et précise du temps, permettant aux animaux d'anticiper la mauvaise saison (Canguilhem, 1985).

Face à la contrainte hivernale, l'hibernation est une des solutions issues de l'évolution au problème énergétique que doivent affronter certains animaux en hiver.

### **I.1. Définition et caractéristique principales de l'hibernation**

D'après Fowler (1988), l'hibernation est l'ensemble des modifications physiologiques que subissent les êtres vivants pendant l'hiver. C'est un état d'activité et de métabolisme réduit d'un animal durant la saison froide.

L'hibernation est un état d'hypothermie régulée, durant plusieurs jours ou semaines qui permettent aux animaux de conserver leurs énergies pendant la mauvaise saison (Berthoud, 1980 ; Genermont et Perrain, 2003). Durant l'hibernation les animaux ralentissent leur métabolisme jusqu'à des niveaux très bas. (Carey et al. 2003).

L'hibernation est considérée comme une adaptation physiologique qui permet aux hibernants de survivre en hiver à des périodes d'absence de nourriture, grâce à une diminution de la température centrale et du métabolisme. Ce phénomène a été défini comme un état qui se produit chaque année à la même saison chez des espèces de mammifères tels que le Hérisson, le Hamster, la Marmotte et certaines Ecureuils. Elle s'accompagne d'une baisse considérable de la température interne qui réduit à une valeur supérieure d'environ 1°C à celle de la température ambiante (Richard et al, 1998). Seuls les hibernants peuvent survivre à une telle

température, alors qu'une température très basse est létale pour les autres mammifères (non hibernants). (Saboureau, 1992).

## **I.2. Les catégories d'hibernants**

On distingue trois familles d'hibernants : Les hibernants obligatoires, les hibernants saisonniers et les hibernants facultatifs.

### **1.2.1. Les hibernants obligatoires**

Sont des animaux qui peuvent hiberner en toute saison dès que la température extérieure descend au-dessous de 15°C pendant 08 jours ou au-dessous de 6°C pendant 48 heures. Un rythme circannuel se manifeste chez ces hibernants pour une meilleure aptitude à l'hibernation pendant l'hiver. C'est le cas de Lérot (*Elyomys quercinus*) ; au mois de décembre, il suffit de l'exposer à une température inférieure à 21°C pendant 24 heures pour provoquer une hibernation (Festing, 1976 ; Libois et Rosoux, 1982; Annika, 2007).

### **1.2.2. Les hibernants saisonniers**

Sont des animaux qui hibernent dans la même période de l'année, même si les conditions environnementales sont défavorables. C'est le cas du spermophile (*Citellus tridecemlineatus*), Il n'est capable d'hiberner qu'entre la mi-novembre et le mi-février à la latitude de Toulouse. (Festing, 1976 ; Libois et al, 1982; Annika, 2007).

### **1.2.3. Les hibernants facultatifs**

Sont des animaux dont les quelles leurs capacité d'hiberner est conditionné par plusieurs facteurs tel que : la température ambiante, les réserves nutritionnelles...etc ; exemple de Hamster doré (*Mesocricetus auratus*). Il doit ramasser de la nourriture dans son hibernaculum, ses testicules doivent être involués et doit être à l'obscurité avant qu'il entre en hibernation. (Richard et al, 1998).

## **I.3. Mécanismes de l'hibernation**

Quelque soit le type d'hibernants ou la période à laquelle se déroule l'hibernation, cet état de vie ralenti conserve un schéma général de base. En effet, chaque période d'hibernation est composé d'une phase d'entrée en hibernation, d'une phase d'état entrecoupée par des réveils périodiques, et enfin d'une phase de réveil terminal (sortie d'hibernation). (Cristinelli, 2006).

### **I.3.1. L'entrée en hibernation**

D'une façon générale, lors de l'entrée en hibernation, les animaux présentent une thermolyse qui devient supérieure à la thermogénèse, et la température corporelle diminue progressivement en quelques heures, il faut noter que la capacité de thermorégulation de l'hypothalamus ne disparaît pas quand l'animal entre en léthargie. Un refroidissement provoqué de l'hypothalamus entraîne toujours une réponse thermogénique. Mais la valeur de consigne pour la régulation thermique, est baissée (Tucker, 1965).

Pour survivre sans difficulté durant la longue période d'hivernation, il est important pour les hibernants d'avoir accumulée, avant d'entamer leurs sommeil, des réserves de nourriture ou de graisses suffisantes. Ces dernières constituent une source d'énergie et surtout un isolant thermique qui est additionné à l'isolation du nid, permettent à l'animal de maintenir sa température à un niveau bas mais suffisant (Réeve, 1994).

### **I.3.2. Les réveils périodiques**

La capacité à revenir périodiquement à la normothermie est un phénomène caractéristique à tous les hibernants, la fréquence et la durée de ces réveils variant grandement avec les espèces. Chez la marmotte, si la durée des phases de torpeurs varient de 3 à 10 jours suivant leur situation chronologique dans la saison d'hivernation, celle des réveils n'excède jamais 48 heures (Cochet *et al.* 1992 ; Heldrainer *et al.*, 1993 ; Arnould, 2012). Dans le cas du Hamster doré, il se réveille tous les 3 à 5 jours alors que le spermophile se réveille tous les 15 jours (Boubet *et al.*, 1996). Ces réveils permettent aux hibernants d'éliminer leurs déchets issus de métabolisme. La thermogénèse dite sans frisson, en utilisant le tissu adipeux brun est à l'origine de ces réveils (Heldrainer *et al.*, 1999).

Le coût énergétique de ces réveils périodiques est élevé. Kayser (1953) a montré chez le Lérot hibernant que, par exemple, la dépense énergétique d'un seul réveil était l'équivalent de 10 jours d'hivernation. Pour cette raison, certains hibernants tels que les hérissons s'engraissent avant l'entrée en hibernation alors que d'autres (les hibernants de petite taille pour la plupart) stockent de la nourriture dans leur terrier ou font les deux. Des expériences d'ablation de neurones de l'hypothalamus ont montré une suppression de ces réveils est la mort de l'animal (Boubet *et al.*, 1996).

### **I.3.3. Sortie de l'hibernation**

La sortie de l'hibernation au retour à la vie active de l'hibernants, elle se caractérise par un réchauffement rapide des différentes parties du corps. Ces mécanismes sont plus rapides que ceux de l'entrée en hibernation, tout est rétabli en quelques heures (Giroud, 2008).

Les variations annuelles des conditions environnementales peuvent impacter les dates de sortie de l'hibernation (Arnaud, 2012).

## **I.4. Facteurs de contrôle de l'hibernation**

Il est bien clair que le contrôle concerne non seulement le passage en vie de ralentie à la vie normale, mais aussi la durée du cycle et la torpeur (Schidtnieisen et al, 1966).

### **I.4.1. Facteurs externes**

Selon Johanson (1996), la photopériode et la température synchronisent les rythmes de l'hibernation. Pour une même espèce l'entrée en hibernation est plus précoce quand la population est plus nordique ou plus haute en latitude.

#### **I.4.1.1. La température**

La température agit sur deux phénomènes. En premier lieu, elle agit sur le déclenchement de l'hibernation. En second lieu, elle agit sur la durée de l'hibernation.

Les hibernants opportunistes (obligatoire) comme le lérot, hibernent dès que la température extérieure est inférieure à 6°C pendant 48 heures, quelque soit la période de l'année. L'aptitude à hiberner du lérot est meilleure en automne-hiver, c'est-à-dire à partir du mois de septembre.

Les hibernants facultatifs sont également concernés par les changements de température. C'est le cas par exemple du Hamster doré dont la capacité à hiberner est conditionnée par différents facteurs dont la température.

Concernant les hibernants saisonniers qui présentent un rythme endogène, l'entrée en hibernation est toutefois resynchronisée par la température pour débiter et finir aux moments stratégiques ; mais cette resynchronisation ne concerne que 2 à 3 semaine de décalage en moyenne. Lorsqu'on conserve une température ambiante constante, l'ensemble de la longueur du cycle circannuel est plus courte à haute température qu'à basse température. De plus, comme nous venons de le citer, les changements de la température ambiante agissent directement comme des régulateurs pour le rythme circannuel (Cristinilli, 2006).

#### **I.4.1.2. La photopériode**

Dans ce sens Starck (2002), constate que la décroissance de la photopériode quotidienne induit la mise en réserve des substances lipidiques. Il a été constaté qu'un sujet n'ayant pas accumulé de réserves ne peut pas hiberner.

Dechert, (1986) montre que la diminution du rayonnement ultraviolet et la baisse de la synthèse de vitamine D qui en découle amèneraient une diminution des mécanismes du métabolisme.

Trois cas de figures se présentent: La période d'hibernation chez de nombreuses espèces peut être contrôlée par un changement de la photopériode. Des journées plus courtes induisent l'involution des organes reproducteurs et initient les changements physiologiques et comportementaux de la préparation pour l'hibernation. Un second groupe d'espèces comme les spermophiles et les marmottes présentent un rythme circannuel « endogène » qui contrôle la période d'hibernation indépendamment de photopériode. Enfin, d'autres espèces comme le Léroty présentent une hibernation opportuniste, c'est-à-dire qu'ils entrent en hibernation indépendamment de saison ou de photopériode, mais chaque fois que les conditions de l'environnement se dégradent (Cristinelli, 2006).

#### **I.4.1.3. La disponibilité des ressources alimentaires**

L'alimentation est fondamentale dans la phase de préparation à l'hibernation, par le biais de fabrication de réserves énergétiques, mais son rôle dans le déclenchement du processus n'a pas été démontré ; le manque de nourriture peut favoriser mais pas déclencher le sommeil. (Dechert, 1986)

Pour les herbivores, tels que certaines marmottes et spermophiles, vivant à des hautes altitudes, la disponibilité des ressources alimentaires est prévisible dans les grandes lignes. Cette prévisibilité est sûrement la raison pour laquelle un important cycle saisonnier est observé chez ces espèces. Cependant le modèle représenté par les spermophiles et les marmottes n'est pas applicable à tous les hibernants. De nombreux ordres de mammifères contiennent des hibernants, et beaucoup d'entre eux ne sont pas herbivores et vivent sur les Tropiques. L'hibernation chez de nombreuses espèces est fortement opportuniste et son utilisation est souvent similaire à celle de la torpeur journalière chez de nombreux mammifères et oiseaux insectivores. Pour ces animaux, la disponibilité en nourriture est seulement en petite partie prévisible, mais est principalement dépendante des conditions climatiques. L'Opossum pygméen des montagnes (*Burrany parvus*) est un hibernant saisonnier dans des conditions naturelles. Cependant, l'activité et la recherche de nourriture



continue, au moins pendant une partie de la saison d'hibernation, comme c'est le cas pour les autres hibernants insectivores tels que les chauves-souris, les hérissons et les échidnés (Cristinili, 2006).

#### **I.4.2. Facteurs internes**

Les facteurs internes d'hibernation sont des facteurs circulantes dans le sang. (Genermont et Perrin, 2003).

Beaucoup de travaux ont été consacrés à la recherche de substances induisant ou inhibant l'hibernation. Ainsi, l'Antabalone (Antimetabolic Hormone), extrait du cerveau d'hibernants, réduit de 5°C la température centrale du rat auquel elle est injectée. Un autre inducteur a été isolé à partir de sang de Spermophile et de Marmotte. Ce dernier serait sécrété par la glande pinéale durant toute l'année mais ses effets seraient contrariés par une substance anti- inducteur sécrétée par les surrénales selon un rythme circannuel (Richard et al, 1998).

D'une manière générale, d'importants processus de nature hormonale interviennent au moment de l'hibernation (Saboureau, 1984). Selon Herter (1965), un centre de sommeil situé dans le diencéphale sécrète une substance qui influence l'hypophyse. Cette dernière, à son tour, entre en action elle stimule le pancréas endocrine. Il en résulte une production accrue d'insuline, qui a pour effet de diminuer la concentration du glucose dans le sang et de provoquer la transformation de ce sucre en glycogène. Le glycogène ainsi produit est emmagasiné dans le foie et les muscles. Il constitue une part importante de réserve glucidique utilisable au cours du sommeil léthargique.

D'après Prosser (1961), le rôle de l'insuline est déterminant : on peut induire en été l'hibernation du hérisson si on lui injecte de l'insuline et si on le place ensuite dans un milieu froid. Pour Vignault (1994), si la glycémie est maintenue bien au-dessus de la normale tout au début de l'hibernation, elle diminue très fortement par la suite. La quantité des lipides circulants, comme les triglycérides ou le cholestérol, augmente légèrement au cours de la seconde partie de l'hibernation. La concentration du sang en thyroxine baisse fortement en automne. Elle remonte de façon significative en hiver pour préparer l'animal au réveil.

Récemment, des chercheurs ont isolé et séquencé à partir de sang de Tamias et de Spermophile, quatre polypeptides qui pourraient intervenir dans l'hibernation. Ces polypeptides forment un complexe d'unité qui disparaît pendant l'hibernation. Le rôle de ces polypeptides n'est cependant pas encore connu (Richard et al, 1998)

Le système reproducteur est également impliqué dans l'inhibition de l'hibernation. Expérimentalement, l'injection de testostérone provoque la fin de l'hibernation (Barret, 2004). Chez les mâles, comme la démontré Vignault (1994), le taux de testostérone sanguine est au plus bas au début de l'hibernation, en automne et il augmente rapidement en hiver. A l'issue de la longue torpeur hivernale, les mâles, particulièrement actifs, sont aptes à féconder les femelles et à perpétuer l'espèce.

### **I.5. Relation entre les factures externes et internes**

Chez les mammifères, les fonctions rythmiques sont soumises à une horloge biologique centrale localisée dans les noyaux supra chiasmatisques (NSC) de l'hypothalamus. La rétine, transmet l'information lumineuse nécessaire à l'entraînement de l'horloge centrale. Ce signal optique est véhiculé par une sous population de cellules ganglionnaires et il est projeté directement dans le système nerveux central (CSN), le message construit dans ce derniers, est transmis par le neurotransmetteur à la glande pinéale, qui va synthétiser la mélatonine (Benoit et al, 2006 ; Tournier, 2006). Cette dernière ainsi libérée agit sur l'horloge interne qui réagit en conséquence en modulant la température du corps : en l'abaissant le soir, elle induit le sommeil. Durant la journée, la lumière perçue par la rétine inhibe la sécrétion de mélatonine. En effet cette hormone intervient dans le contrôle des rythmes circadiens et des rythmes saisonniers. (Saboureau, 1992)

### **I.6. Physiologie de l'hibernation**

De nombreuses fonctions du système nerveux central (SNC) demeurent actives au cours de la torpeur ou de l'hibernation en dépit d'une forte réduction de l'activité métabolique. Ceci est confirmé par la régulation de la température de la phase d'état spécifique à chaque espèce et le maintien de cette température minimale de façon quasi constante. Cette activité du SNC se manifeste notamment au travers du maintien de la respiration et du rythme cardiaque, de la sensibilité des animaux en phase d'état vis-à-vis des stimuli extérieurs comme le toucher, la lumière et la température, ainsi que la réactivation métabolique lors des phases de réveils.( Geiser,1996).

Lors de la phase d'entrée en hibernation, la baisse d'activité du métabolisme précède la baisse de température. Notons une diminution progressive de toute activité organique, que ce soit digestive, respiratoire, cardio-vasculaire, l'appareil urinaire et même le système nerveux central.

En phase d'état, seuls les fonctions vitales sont conservées mais à des niveaux normalement létaux pour les espèces non-hibernants.

Il est intéressant de constater que la décroissance automnale de la photopériode quotidienne induit la mise en réserve de substances lipidiques. Cependant, la quantité d'eau augmente dans l'organisme des hibernants. Il s'agit donc d'une eau de métabolisme. La quantité d'urine diminue, ce qui est certainement une conséquence de la réduction des oxydations tissulaires, due, elle-même, au ralentissement du processus respiratoire. Sous l'influence de l'insuline pancréatique, la quantité de sucre sanguin diminue. Celle du magnésium augmente. On constate une baisse de la production d'adrénaline, ce qui est bien compréhensible pour un animal en inactivité (Cristinili, 2006).

Au niveau cellulaire, dans les tissus adipeux bruns la membrane interne des mitochondries possède des protéines découplantes qui laissent passer facilement les protons permettant ainsi de diminuer de part et d'autre de cette membrane, une moins grande quantité d'ATP est ainsi produite par l'ATPase, les flux de protons alimentent donc principalement l'élévation de température par les protéines découplantes, lors de l'hibernation l'activité de ces protéines découplantes est diminuée (Pierre, 2007).

## **I.7. Conséquences écophysiologiques de l'hibernation sur les rythmes biologiques**

La succession périodique dans le temps d'états physiologiques si différents (hypothermie, euthermie) ne font que la vie d'un hibernant est régie par des rythmes qui affectent toutes ses fonctions physiologiques (rythmes de poids, de prise alimentaire, de la température centrale, du métabolisme de base et de la consommation d'eau) et vraisemblablement les fonctions endocrines (thyroïdienne, surrénalienne, hypophysaire et testiculaire).

Les sciuridés, et les Erinaceidae tels que les Spermophiles et les Marmottes et les Hérisson, montrent une rythmicité endogène de la prise alimentaire, de la masse corporelle et de l'hibernation même lorsqu'ils sont exposés à des conditions environnementales constantes (Pengelley, 1957 ; Davis, 1976 ; Kayser, 1964, Saboureux, 1979). Ceci n'est pas une caractéristique propre à tous les hibernants. Par exemple, des conditions constantes de lumière et de température perturbent le rythme pondéral du hamster d'Europe (*Cricetus cricetus*, (Canguilhem et al, 1973) et entraînent une disparition des cycles saisonniers de testostérone, de thyroxine et du rythme pondéral chez le loir (Jallageas et Assenmacher,

1983). Cependant, tout rythme endogène peut être couplé aux variations physiques de l'environnement (Zucker et al 1992). L'importance de l'effet des synchroniseurs (photopériode ou/et température principalement) dans l'entraînement de ces rythmes endogènes diffère suivant les espèces hibernantes considérées (Canguilhem, 1985).

## I.8. Exemples des espèces hibernantes

Contrairement aux endothermes, les ectothermes sont incapables de contrôler leurs pertes de chaleur. A défaut de pouvoir réguler physiologiquement leurs température interne, ils ne peuvent thermoréguler que par leur comportement, c'est à dire, en se déplaçant vers des zones où la température ambiante se rapproche de celle de leur optimum thermique. Lorsque le froid hivernal s'installe, "l'hivernage" devient quasi inévitable chez les ectothermes qui ne peuvent migrer vers des zones où la température ambiante est plus douce (Nathalie, 1996).

Chez les endothermes, l'hibernation "véritable" est principalement rencontrée chez les mammifères. Les oiseaux pratiquent d'avantage la torpeur quotidienne en raison de leur rapport surface/volume défavorable, de leur faible capacité à stocker de l'énergie mais aussi pour certains, à cause d'une balance déficitaire due au coût énergétique élevé du vol principalement chez les colibris (Nathalie, 1996).

Chez les mammifères, l'hibernation est rencontrée dans divers ordres dont les monotrèmes (genre *Tachyglossus*, l'échidné), les marsupiaux (dont le genre *Antechinomys*, le kultarr d'Australie), les insectivores (dont le genre *Erinaceus*, le hérisson), les chiroptères (divers genres de chauves-souris) et les primates, une espèce, le microcèbe (*Micocebus murinus*) présente des phases de torpeur profonde. C'est chez les rongeurs, les insectivores, les carnivores et les oiseaux que l'hibernation est majoritairement étudiée. Elle est différente d'une espèce à l'autre;

### I.8.1. Rongeurs

#### a) *La marmotte*

A l'automne, dès que la température externe s'abaisse au-dessous de 12°C, tout le groupe familial de la Marmotte rentre en léthargie au plus profond de son terrier. Durant l'hibernation, sa température (38°) baisse et devient voisine de celle de l'endroit dans lequel elle s'est réfugiée (quelques degrés au-dessus de zéro). Elle n'a plus que 15 ou 20 mouvements respiratoires par heure. En avril ou en mai, elle quittera son terrier fort amaigri et partira à la recherche des premiers brins d'herbe. (Dellatorre et al, 2001).

#### b) *Le loir*

A la fin d'Automne, lorsque la température descend jusqu'aux environs de 10 degrés, le loir, rentre en hibernation en groupe. Le nid peut compter jusqu'à 10 individus. Ils ne se réveilleront qu'au mois d'avril pour entamer immédiatement leurs provisions. (Anonyme, 1985).

### **I.8.2. Les carnivores**

#### **a) Le blaireau**

A la fin de l'automne, le blaireau se nourrit énormément. Il fait également ample moisson de nourriture qu'il consommera par grand froid. Dès que le sol est gelé et que le blaireau n'arrive plus à en extirper les racines, il se retire dans son terrier. Il gît roulé sur lui-même entre les feuilles et la mousse et dort d'un sommeil qu'il interrompra souvent pour manger. Sa période d'engourdissement se termine très tôt, en février, voire à la fin du mois de janvier. Il part alors à la recherche de nourriture fraîche et n'entamera ses provisions d'hiver qu'en cas d'extrême nécessité. (Anonyme, 1985).

### **I.8.3. Insectivores**

#### **A) Le hérisson d'Europe (*Erinaceus europaeus*)**

Contrairement aux autres hibernants, le hérisson ne fait pas de provisions. Par contre, il se gave en augmentant son poids durant l'automne, accumulant ainsi une réserve considérable d'énergie.

Dès les premières gelées et jusqu'à la fin du mois de mars, il hiberne d'un sommeil interrompu par des réveils périodiques. Il roule en boule durant toute la période d'hibernation. Sa température normale (37°) peut alors descendre jusqu'à 0 ou 1°C. Ce n'est pas la rigueur de l'hiver mais bien sa longueur qui risque d'être fatale à un hérisson en hibernation. (Chevallard, 2002).

#### **b) La chauve-souris**

La chauve-souris hiberne d'octobre à mars (Anonyme, 1985 ; Schmidt, 1998). Elle choisit de gîter dans les écuries, les entrepôts désaffectés, les caves, les tours d'église et les grottes. Au repos, elle demeure suspendue par les pattes arrière, tête en bas. Elle combat la déshydratation en s'enveloppant dans ses ailes. Durant l'hibernation, sa température passe de 38° à 10°, ou moins encore. Ses organes fonctionnent au ralenti. Elle peut perdre alors 1/3 de son poids.

Selon Rowsell (1984), la durée de l'hibernation chez les chauves-souris dépend de la quantité de graisse, du taux métabolique individuel et des conditions de milieu.

#### **I.8.4. Les oiseaux**

Loneux et Simianow (2000), signalent que de nombreux petits oiseaux économisent leur énergie interne en abaissant leur température corporelle de 10 à 15 °C au moment de la journée où ils sont inactifs.

Les lagopèdes et la gélinotte se sont adaptés à passer la majeure partie des journées (et les nuits) hivernales au repos dans des tunnels de neige qu'ils creusent et qui les abritent. Ils ne sortent que deux fois par jour pour se nourrir, d'une nourriture bien moins riche que celle qu'ils pouvaient trouver en automne (baies et bourgeons d'arbres et d'arbustes). Ils vivent donc progressivement du poids tout au long de la mauvaise saison. (Genermont et Perrin, 2003).

## II. Anatomie et fonctionnement normal de la glande thyroïde

### II.1. La thyroïde : glande endocrine

Le terme "thyroïde" tire son origine du mot grec "thyroëidos" qui est une combinaison du terme "thyreos" (protéger) et "eidos" (former). L'anomalie fonctionnelle de la glande, appelée dysthyroïdie, est une maladie fréquente avec une prévalence estimée à dix pour cent de la population (Gullo, 2005).

#### II.1.1. Conformation anatomique

L'anatomie générale de la thyroïde a initialement, été illustrée par Léonard de Vinci au 16<sup>ème</sup> siècle qui a réalisé de nombreuses dissections humaines. Ce n'est qu'au 17<sup>ème</sup> siècle que Thomas Wharton attribue le nom de "thyroïde" aux masses glandulaires occupant la partie supérieure de la trachée en raison de leur forme rappelant celle des boucliers grecs (*thuroeidês* en grec). (Gullo, 2005)

La thyroïde est une glande qui se situe juste en dessous du larynx. Elle est responsable de la sécrétion des deux hormones thyroïdiennes (HT) : la triiodothyronine (T3) et la thyroxine (T4). Ces hormones accélèrent la transcription de nombreux gènes et donc entraînent un accroissement diffus de l'activité fonctionnelle de l'ensemble de l'organisme.

Elle se situe dans la région sous-hyoïdienne médiane (en avant de la trachée proximale) chez l'homme et ventro-latérale chez le chien et le chat le rat, le lapin et autres petits mammifères. (Vigreux, 2009 ; Gilles, 2007). Leur localisation sur la trachée diffère d'une espèce à l'autre. Elles s'étendent de puis le bord caudal du larynx jusqu'aux 5<sup>ème</sup>-8<sup>ème</sup> anneau trachéal chez les chiens et les chats alors qu'elles se situent généralement en regard des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> anneaux trachéaux chez l'homme. La thyroïde est limitée dorso-latéralement par l'artère carotide commune, la veine jugulaire interne, le nerf vague et le nerf laryngé récurrent. Elle est recouverte ventralement par les muscles sterno-thyroïdiens, sterno céphaliques et sterno hyoïdiens (Miller et al, 1964).

Chez les petits mammifères, la thyroïde est constituée de deux lobes latéraux verticaux distincts ; ces lobes sont de forme ovoïde, couverts d'un fascia qui est étroitement lié à la musculature entourant la thyroïde et à la trachée. Chez certains chiens, le dromadaire, le porc, comme chez l'homme, les pôles caudaux des deux lobes thyroïdiens sont reliés par un isthme glandulaire horizontal qui tapisse la surface ventrale de la trachée. (Vigreux, 2009)

Chez certains mammifères, quand il est présent, ils' agit d'un vestige étroit de tissu thyroïdien

alors que chez l'homme il est large et forme un "lobe" ventral pyramidal connecté aux deux lobes latéraux aussi appelé "lobe pyramidal de Lalouette"(Kaneko, 1997). Plus exceptionnellement, cet isthme peut être fibreux et non glandulaire (Miller, 1964). Chez les animaux domestiques, à l'exception du porc, l'isthme se réduit à un mince cordon de tissu glandulaire, chez le bœuf, il se compose seulement de tissu conjonctif chez le cheval, les carnivores et les petits ruminants.

La thyroïde a une consistance molle et une surface lisse légèrement lobulée. Les lobes thyroïdiens sont relativement mobiles et peuvent se déplacer crânio-caudalement notamment pendant la déglutition. Ils sont de taille variables selon le gabarit de l'animal et souvent asymétriques; leur taille est, de plus, augmentée pendant l'œstrus et la gestation chez les animaux (comme c'est le cas chez la femme) (Gullo, 2005).

### II.1.2. Structure histologique

Chaque lobe thyroïdien est entouré d'une capsule conjonctive de la quelle partent des cloisons fibreuses qui sont empruntées par les vaisseaux et nerfs thyroïdiens. Ces cloisons pénètrent dans le parenchyme et le divisent en lobules contenant le tissu thyroïdien. Chaque lobule est constitué par plusieurs follicules thyroïdiens de différentes tailles, de cellules parafolliculaires (anciennement "îlots de Wolfler"), de capillaires sanguins fenestrés, des capillaires lymphatiques borgnes et de fibres nerveuses. (Miller, 1964)

Le follicule est l'unité fonctionnelle de la glande thyroïde. Il représente sous la forme d'une sphère d'un diamètre qui se diffère d'une espèce à l'autre (30 à 160µm chez la chien) (Vigreux, 2009) (50 à 500 µm chez l'être humain) (Anonyme, 2007). Ces follicules sont constitués d'un épithélium simple, formé de cellules cubiques reposant sur une basale, et d'une "cavité" centrale remplie d'une substance amorphe glycoprotéique appelée colloïde. L'épithélium est composé de deux types cellulaires distincts. (Miller, 1964)

**Les thyrocytes**, qui représentent 90% des cellules du parenchyme thyroïdien, synthétisent la colloïde et sécrètent les hormones thyroïdiennes iodées (T4 et T3). Leur pôle basal repose sur la lame basale du follicule (mince couche de collagène); leur pôle apical présente des pseudopodes (ressemblant à des microvillosités) qui se projettent dans la colloïde. Le cytoplasme contient des organites nombreux dont la position traduit la polarité cellulaire: le noyau est en position parabasale ou centrale, le réticulum endoplasmique rugueux occupe l'espace entre le pôle basal et le noyau tandis que l'appareil de Golgi supra nucléaire. De plus, de nombreux lysosomes, phagosomes ("gouttelettes de colloïde") et phagolysosomes se



concentrent au pôle apical.

**Les cellules claires** (ou cellules C) provenant comme les cellules parafolliculaires des corps ultimo branchiaux, sécrètent une autre hormone thyroïdienne: la calcitonine à activité hypocalcémies et hypo-phosphatémiantes. Ces cellules sont situées contre la lame basale des follicules et n'entrent jamais en contact avec le colloïde. Elles se distinguent également des thyrocytes par un cytoplasme plus clair.

L'aspect microscopique des thyrocytes varie selon leur degré d'activité. En cas d'hyperactivité, leur volume augmente et ils deviennent prismatiques; conjointement le volume du colloïde diminue et parfois la lumière intrafolliculaire disparaît totalement. En cas d'hypoactivité thyroïdienne, les thyrocytes diminuent de taille et deviennent cubiques voire aplatis alors que le colloïde augmente de volume et devient acidophile (Vigreux, 2009).

## II.2. Les hormones thyroïdiennes iodées (HTI)

La glande thyroïde produit deux hormones peptidiques dérivées de la tyrosine (Fig. 1): la 3,5,3'-triiodothyronine (**T3**) et la 3,5,3',5'-tétraiodothyronine (**T4** ou **thyroxine**) depuis longtemps reconnues pour leur importance dans la régulation du métabolisme général, du développement et de la différenciation tissulaire. La synthèse des hormones thyroïdiennes iodées requiert l'iode comme oligo-élément (Vigreux, 2009). Dans la plupart des régions du monde, l'iode est un constituant rare du sol et donc présent en faible quantité dans les aliments. Un mécanisme complexe, dont les différentes étapes sont détaillées ci-après, s'est développé pour acquérir et retenir cet élément essentiel mais aussi pour le transformer en une forme appropriée pour son incorporation dans les composés organiques.

Les cellules claires des follicules thyroïdiens sécrètent une troisième hormone, la calcitonine, qui intervient dans l'homéostasie phosphocalcique. Cependant, dans la suite de ce travail seules les hormones thyroïdiennes iodées (HTI) seront étudiées. En effet, les hormones thyroïdiennes iodées interviennent dans de nombreux processus métaboliques (Olivreux, 1970).

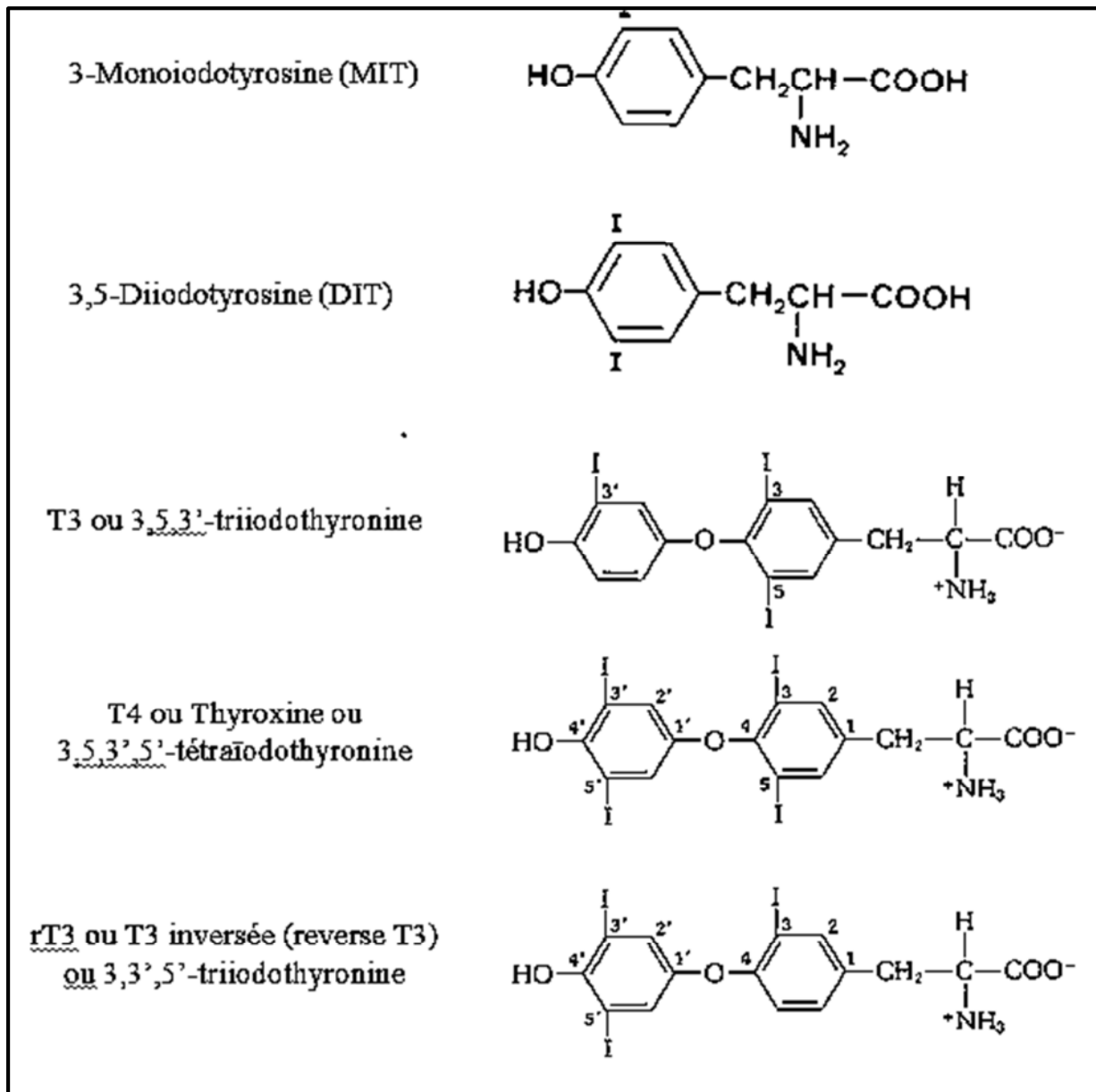


Figure 1: la structure des Hormones Thyroïdiennes Iodé.

## II.2.1. Synthèse des hormones thyroïdiennes iodées

### II.2.1.1. Formation

Les **Hormones Thyroïdiennes Iodées** sont synthétisées au niveau des follicules, à partir de thyroglobuline et d'iode d'origine plasmatique.

La **thyroglobuline** est une glycoprotéine de poids moléculaire important produite par le réticulum endoplasmique granuleux des thyrocytes.

L'**iode** plasmatique peut, quant à lui, avoir deux origines. Il s'agit soit d'iode exogène provenant de l'alimentation et qui, transformé en iodures, passe dans la circulation générale,

soit d'iode endogène résultant du catabolisme des hormones thyroïdiennes elles-mêmes, on parle dans ce cas de déshalogénéation périphérique (Slap, 1989).

Trois étapes successives permettent alors la formation des Hormones Thyroïdiennes Iodées (Wurtz, 2002).

### 1) Oxydation et fixation

Les iodures sont oxydés en iode par une préoxydase, ils se fixent aux résidus thyrolys de la thyroglobuline et forment selon le nombre d'iodes fixés :

- La 3 monoiodotyrosine (MIT).
- La 3,5 diiodotyrosine (DIT).

### 2) Couplage des iodotyrosyls

Il s'agit de couplages intramoléculaires se déroulant au sein de la thyroglobuline :

- Deux DIT couplées donnent la **thyroxine ou T4** (ou 3, 5,3',5'tétraiodotyronine).

Un MIT couplé à un DIT donne la **T3** (ou 3, 5,3'triiodotyronine) ou la **rT3** (ou 3,3',5'triiodotyronine). (Miller, 1964)

### 3) Stockage, libération et sécrétion de T3 et T4

La thyroglobuline iodée est stockée dans le colloïde. Elle est ensuite réabsorbée et hydrolysée par les protéines lysosomiales ce qui libère T4, T3 et une faible quantité de rT3 dans la circulation sanguine. T3, sécrétée en beaucoup moins grande quantité que T4, correspond à la forme biologiquement active de l'hormone.

La forme reverse de T3, ou rT3, est biologiquement inactive en raison d'une configuration spatiale différente qui ne lui assure pas une fixation correcte sur les récepteurs. Elle est peu produite au niveau de la thyroïde mais peut résulter dans certaines circonstances d'une conversion périphérique de T4. (Legeay, 1999)

T4, inactive directement, représente plutôt une forme de transport et de stockage

#### II.2.1.2.Transport

Une fois sécrétée par la thyroïde, les hormones thyroïdiennes circulent par voie sanguine jusqu'aux organes cibles. Elles se présentent sous deux formes différentes, en équilibre :

Une forme libre et une forme liée à des protéines de transport.

-La forme libre est très largement minoritaire puisqu'elle ne représente que 0,6 % de la T3 et 0,1 % de la T4. Mais c'est cette fraction libre qui peut pénétrer dans les cellules et y exercer son action hormonale. (Vigreux, 2009)

La grande majorité des hormones thyroïdiennes se lie à des protéines plasmatiques par des liaisons non covalentes réversibles. Ces protéines sont de deux types :

- non spécifiques : l'albumine qui se lie à T3 et à T4 et les lipoprotéines (VLDL et HDL) qui se lient exclusivement à T4.
- spécifiques : la Thyroxin Binding Globulin (TBG) qui possède une forte affinité pour T3 et T4 et la Thyroxin Binding PreAlbumin (TBPA) qui ne fixe que T4.

Les protéines de transport permettent le stockage des hormones thyroïdiennes. L'équilibre entre la forme liée et la forme libre s'oppose à toute variation brusque de la concentration plasmatique des hormones thyroïdiennes. L'équilibre étant permanent la dégradation et l'élimination des hormones circulantes sont compensées. L'élimination des hormones est également limitée car la TBG liée aux hormones ne passe pas les glomérules rénaux ce qui évite des pertes urinaires (Eisenzimmer, 1992).

### **II.2.1.3.Métabolisme**

Les formes libres de T3 et T4 (fT3 et fT4) passent en permanence du plasma vers les tissus périphériques et y pénètrent sans transporteurs spécifiques en raison de leur caractère lipophile.

La conversion de T4 en T3 se réalise facilement dans tous les tissus. Elle est néanmoins plus importante quantitativement dans le foie et les reins. Comme toutes les cellules, y compris celles des tissus cibles sont capables d'assurer cette conversion, il n'existe pas chez le chien d'affection primitive liée à un trouble de la conversion.

En fonction des besoins de la cellule, T4 sera transformée en T3 par l'enzyme 5' désiodase ou en rT3 par la 5désiodase. La rT3, forme reverse de T3, est comme nous l'avons vu biologiquement inactive mais peut cependant inhiber par compétition l'action de T3. Cette désiodation libère des iodures qui peuvent être recyclés et régule l'excès d'hormones thyroïdiennes tissulaires.

Les hormones thyroïdiennes, essentiellement T3, se fixent alors à des récepteurs protéiques intranucléaires qui contrôlent directement la transcription de gènes spécifiques. Elles ont aussi une action mitochondriale qui reste encore mal connue. Au niveau des cellules cibles, on peut considérer T4 comme une pro-hormone, stockable et transformable en fonction des besoins (Vigreux, 2009).

Après avoir agi sur les cellules des tissus périphériques, les Hormones Thyroïdiennes Iodées sont dégradées. Leur clairance métabolique est beaucoup plus importante chez le chien que chez l'homme : ainsi le réservoir extra thyroïdien de T4 est éliminé en 24 heures ce qui

explique que les doses soient plus élevées et le rythme d'administration plus grand lors de traitements substitutifs chez le chien (Legeay , 1999)

T3 et T4 empruntent 3 voies cataboliques :

**Déshalogénéation périphérique** : dans les cellules cibles mais surtout au niveau hépatique ce qui permet en partie le recyclage des iodures.

**Conjugaison** : essentiellement au niveau hépatique avec sulfo conjugaison pour T3 et Plutôt glycurono conjugaison pour T4.

**Désamination et décarboxylation** de la chaîne aliphatique puis élimination des métabolites par la bile et l'urine.

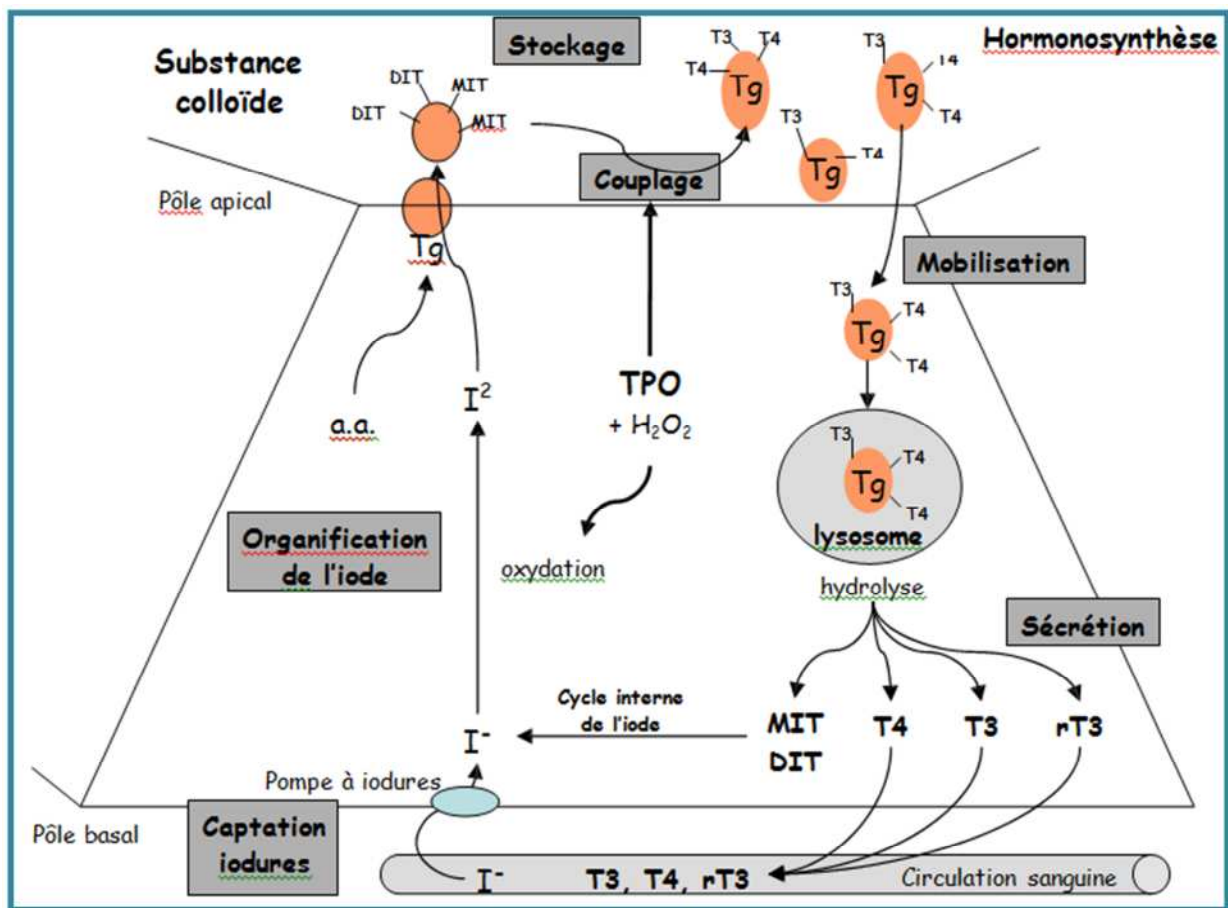


Figure 2 : Les différentes étapes de synthèse hormonale thyroïdienne.

## II.3. Régulation de la fonction thyroïdienne

Cette fonction dépend de l'hypothalamus, de l'hypophyse et de l'apport en iode.

### II.3.1 Contrôle hypothalamo-hypophysaire

#### a. Hormone hypophysiotrope: TRH

La TRH ou thyrotropin releasing hormon est un tripeptide synthétisé au niveau de l'hypothalamus. Il est alors déversé dans le plexus veineux du système porte hypothalamo-hypophysaire de l'éminence médiane et atteint ainsi le lobe antérieur de l'hypophyse où il exerce son action stimulante sur les cellules thyrotrope pour augmenter la libération de TSH et induire sa synthèse. (Krassas et Pontikides, 2004).

La dopamine diminue les effets de TRH et entraîne une diminution de la sécrétion de TSH.

#### b. Thyroestimuline hormone: TSH

La TSH est une glycoprotéine synthétisée par les cellules thyrotropes de l'hypophyse antérieure. La régulation de la sécrétion de TSH se fait à la fois par la TRH et par les HT. En effet, les HT diminuent la sécrétion de TSH et toute diminution de leur taux entraîne une augmentation du taux plasmatique de TSH. C'est ainsi que de faibles variations de la concentration plasmatique des HT modulent la réponse de la TSH à la TRH. Une augmentation des HT atténue ou abolit la réponse de l'hypophyse à la TRH tandis qu'une diminution entraîne une potentialisation de la sécrétion de TSH sous l'action de TRH. (Bek-pecof et al, 2005).

Plusieurs hormones interviennent dans la régulation de la sécrétion de TSH. Ainsi, les œstrogènes potentialisent les effets de TRH sur la libération de TSH et empêchent partiellement l'effet inhibiteur des HT. Les glucocorticoïdes et la somatostatine diminuent la sécrétion de TSH à l'état basal ou sous stimulation par la TRH (Krassas et Pontikides, 2004).

La TSH a des effets multiples sur la glande thyroïde. Elle stimule toutes les étapes de synthèse, de libération des HT. De plus, la TSH à forte dose a un effet sur la croissance de la glande thyroïde: le volume de la glande et l'aspect des follicules se modifient dans le sens de l'hyperplasie. (Bek-pecof et al, 2005).

#### c. Iode

Des faibles doses d'iodure administrées d'une manière aigue n'ont pas d'influence sur la captation thyroïdienne de l'iode radio-actif. Par contre, une élévation importante de l'iodure

plasmatique provoque une inhibition de l'organification d'iode dans la thyroïde et une diminution de la synthèse des HT. Ainsi, la glande thyroïde se trouve capable de s'opposer quantitativement à l'apport aigu de forte dose d'iodure empêchant ainsi l'augmentation massive de la formation des HT. Les mécanismes de ces effets régulateurs sont mal connus et complexes. (Murray et al, 1993).

#### **d. Les anti-thyroïdiens**

Ces composés bloquent la synthèse des HT du fait qu'ils abaissent la concentration des HT dans la circulation conduisant ainsi à la formation d'un goitre réactionnel par augmentation de la sécrétion de TSH et sont donc goïtrogène.

Les agents anti-thyroïdiens sont classés en 2 groupes selon qu'ils inhibent:

- Le transport thyroïdien de l'iodure
- La transformation de l'iodure en iode organique et le couplage des iodotyrosines.

Dans le premier groupe, on trouve les anions monovalents dont le thiocyanate de potassium et le perchlorate. Leur action est bloquée par de fortes doses d'iodure.

Parmi les composés appartenant au 2ème groupe, le plus puissant est le propyl-thiouracile. Ils agissent compétitivement avec la peroxydase thyroïdienne. L'iodation des résidus tyrosines et le couplage des résidus d'iodotyrosine sont inhibés (Krassas et Pontikides, 2004).

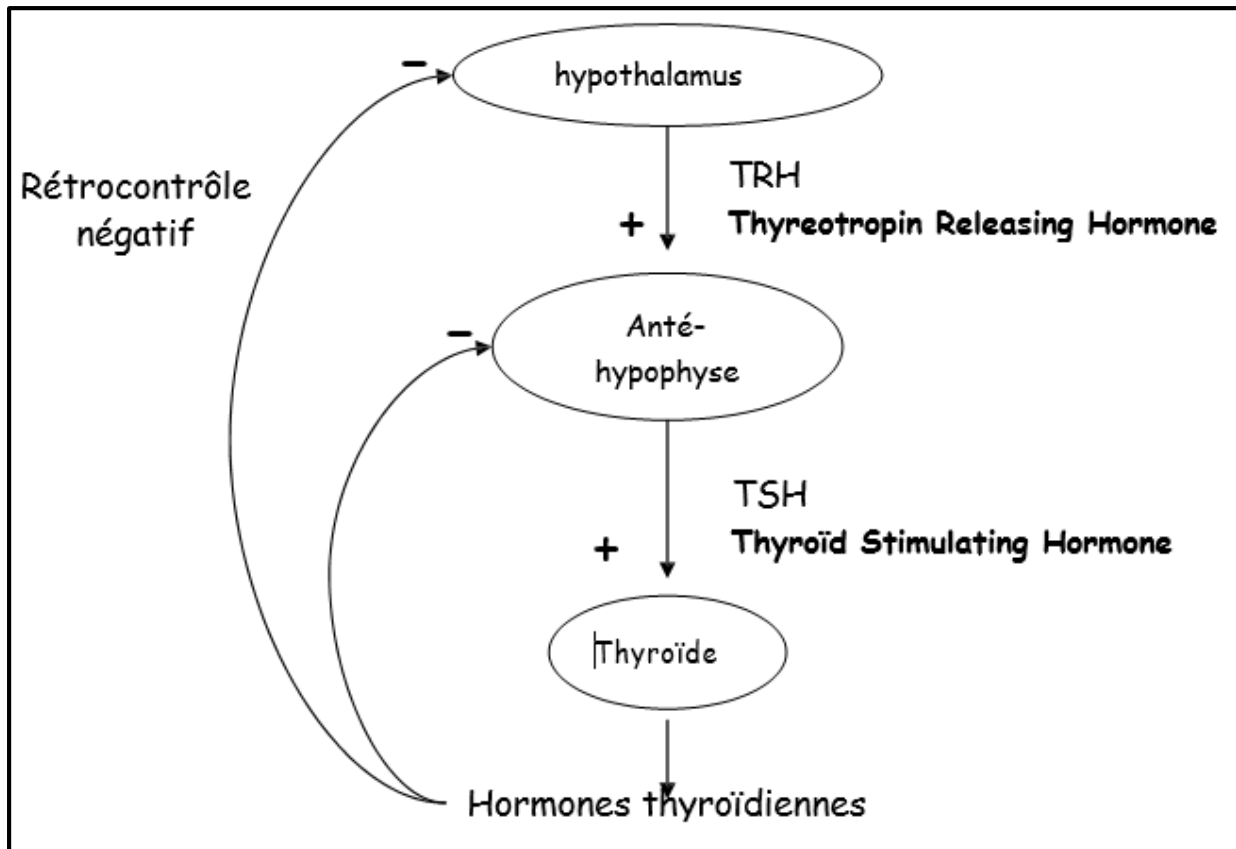


Figure 3: Les différentes étapes de la régulation de fonctionnement thyroïdien.

## II.4. Rôles des hormones thyroïdiennes iodées

### II.4.1. Mécanisme d'action des hormones thyroïdiennes iodées

Après passage transmembranaire, (et éventuellement conversion de T4 en T3), les hormones thyroïdiennes vont agir à différents niveaux :

- sites d'actions nucléaires

La T3 se lie à un récepteur cytosolique nucléotrope ; le complexe entre dans le noyau et participe à la régulation de l'expression génique ;

- sites d'actions extra nucléaires

La T3 exerce des actions membranaires avec un effet facilitateur du métabolisme cellulaire (potentialisation des récepteurs adrénergiques et des pompes ioniques, facilitation du passage de substrat énergétiques tels que le glucose et les acides aminés).

Elle exerce également des effets au niveau de la mitochondrie avec augmentation de la calorigénèse. ( Danienet et Ferguson, 2003).



## II.4.2. Effets des hormones thyroïdiennes

Les HT ont des effets multiples, métaboliques et tissulaires. Elles règlent le développement et la différenciation de l'organisme. Tous les tissus répondent d'une façon ou d'une autre à leur action. Elles stimulent ou inhibent l'activité d'un grand nombre d'enzymes.

La cinétique de l'effet des HT est particulièrement lente: l'effet d'une dose unique d'HT administré à un animal hypothyroïdien est précédé d'un temps de latence. De plus, l'effet métabolique ou tissulaire se poursuit plusieurs jours après l'injection.

Enfin, les HT modifient, en général dans le sens d'une potentialisation, l'effet de nombreuses hormones en particulier les catécholamines, le glucagon, la GH, l'insuline, (Lazar, 1993).

### II.2.1 Effets sur le développement:

Cet effet s'observe sur la croissance et la différenciation. La croissance est définie comme une augmentation de la masse totale de l'organisme. Elle peut résulter soit de l'augmentation de la taille des cellules due à la synthèse des protéines ou de matériel de réserves soit à une augmentation des mitoses cellulaires. La différenciation correspond à l'ensemble des modifications complexes qui conduisent à la diversification de la structure et des fonctions cellulaires et à la morphogenèse de l'organisme (Krassas et Pontikides, 2004).

#### a. Période fœtale

La croissance fœtale ne nécessite pas les HT. En effet, le poids et la taille de naissance des nouveaux nés hypothyroïdiens sont normaux de même que les fœtus anencéphales.

Par contre, la différenciation et la maturation osseuse dépendent étroitement de la présence des HT. En effet, l'absence des HT entraîne un retard d'apparition des points d'ossification épiphysaire et si ces points apparaissent, ils sont dysgénésiques avec des zones d'ossifications anarchiques (Legeay, 1999)

#### b. Période post natale:

Pendant cette période, la maturation et la différenciation osseuse restent dépendante des HT. Le fait nouveau est la nécessité des HT pour la croissance. En effet, les HT ont un rôle direct sur la maturation des chondrocytes et indirect par l'intermédiaire de l'hormone de croissance (GH) dont elles augmentent la sécrétion et la synthèse et potentialisent son action au niveau des cartilages de conjugaison. La suppression de la fonction de l'une de ces deux hormones a permis l'analyse des effets propres de chacune d'elles sur le cartilage de conjugaison. La GH favorise surtout l'ostéogenèse à partir des chondrocytes alors que les HT

préparent les chondrocytes à l'action de la GH. Le rôle des HT est beaucoup plus modeste sur les os plats alors qu'il est prépondérant sur les os longs et le développement des dents (Belslaw et al, 1975).

Enfin, les HT ont un rôle général de stimulation de la croissance cellulaire qui se marque probablement sur tous les tissus et c'est à ce titre que les HT font partie des facteurs de croissance. En effet, à la suite de l'ablation de la thyroïde chez le jeune, on observe un ralentissement de la croissance avec un nanisme dysharmonieux parce que les os cessent de s'allonger par défaut de prolifération du cartilage de conjugaison. Par contre, l'ossification périoste est moins atteinte et de ce fait, les os plats ont un développement presque normal si bien que le sujet est petit avec une tête de taille normale et des membres courts (Benoist et Mathis, 1997).

### **II.2.2 Effet sur le système nerveux central**

Les HT sont indispensables au développement et à la maturation du système nerveux. Dès la naissance, l'enfant hypothyroïdien présente un comportement anormal. Il est léthargique avec un ralentissement de tous les réflexes.

Les HT favorisent la myélinisation des fibres nerveuses et stimulent le développement et la croissance des axones, des corps cellulaires et des dendrites.

Les HT ont un rôle organisateur définitif dans le système nerveux si bien que tout déficit thyroïdien durant la vie fœtale ou à la naissance entraînera des anomalies irréversibles du développement nerveux. Dans les déficits plus tardifs, la qualité du développement neurologique ultérieur est directement lié à la précocité de l'apport des HT (Benoit et mathis, 1997).

### **II.2.3 Effet sur les muscles squelettiques**

La carence en HT entraîne une augmentation du volume et de la consistance des muscles squelettiques dont la contraction est ralentie alors que dans l'hyperthyroïdie cette contraction se fait à une vitesse presque normale mais est relativement inefficace. L'administration à un hypothyroïdien de faible dose d'HT augmente l'efficacité du travail musculaire, alors que de fortes doses la diminue. Ces anomalies cliniques trouvent leur traduction dans la mesure du temps de relaxation de la contraction du muscle (Benjamain et al, 1966).

**II.2.4 Effet sur le système cardio vasculaire**

Les modifications cardiovasculaires induites par les HT permettent de répondre aux besoins accrus en oxygène et en nutriments des tissus en état d'hypermétabolisme.

Les HT exercent des effets chronotrope, dromotrope, inotrope et lusitrope positifs sur la fonction cardiaque. Il en résulte une accélération du rythme cardiaque, une amélioration de la conductivité, de la contractilité et de la fonction diastolique respectivement. Ces effets sont directs et secondaires à une potentialisation de l'action des catécholamines sur le cœur.

L'effet cardiaque est couplé à une vasodilatation périphérique due à l'augmentation du métabolisme de tous les tissus et à la calorigénèse. (Lazar, 1993).

L'augmentation du débit cardiaque d'une part, et la diminution des résistances vasculaires de l'autre, font qu'en définitive, la pression artérielle moyenne n'est que peu modifiée au cours de l'hyperthyroïdie. En revanche, au cours de l'hypothyroïdie, la pression diastolique, reflet des résistances vasculaires, est fréquemment augmentée.

De point de vue électrophysiologique, les HT augmentent directement la dépolarisation diastolique ce qui augmente la fréquence cardiaque (Belslaw et al, 1975)..

**II.2.5 Effet sur le système digestif**

Les HT augmentent la motricité intestinale, le débit sanguin intestinal, la consommation d'oxygène et l'absorption intestinale.

**II.2.6 Effet sur le système hematopoietique**

La masse globulaire tend à augmenter par un apport d'HT et diminue en cas de carence. L'effet des HT sur le métabolisme du fer et la synthèse de l'hémoglobine paraît modéré et indirect.

**II.2.7 Effet sur la fonction rénale**

Les HT augmentent le taux de filtration glomérulaire et le débit sanguin rénal. Cependant, en excès, elles diminuent la capacité de concentration hydrique du rein. Elles maintiennent donc une diurèse hydrique (Lazar, 1993).

**II.2.8 Effet sur les métabolismes**

Les HT affectent tous les processus métaboliques. L'administration d'HT augmente la consommation d'oxygène, la production de chaleur et accélère le métabolisme glucidique, protidique et lipidique.

L'effet calorigène des HT est facilement démontré par la mesure de la consommation d'oxygène soit sur l'animal entier soit sur des cellules en culture. La consommation d'oxygène de divers tissus est affecté de façon différente par les HT. Le cerveau, les gonades, les vésicules séminales, les ganglions lymphatiques, la rate, le thymus ainsi que le derme ne montrent aucune augmentation de la consommation d'oxygène après traitement par la T4 alors que cette consommation est multipliée par 1,5 en moyenne dans tous les muscles y compris le cœur ainsi que le foie et le tractus digestif (Sicart, 1972).

#### **a. Calorigénèse**

Le rôle des HT dans la production de chaleur et la régulation de la température corporelle est prédominant. L'exposition au froid (4°C) d'un animal thyroïdectomisé est mortelle alors que les animaux normaux s'adaptent parfaitement.

L'effet calorigène des HT passe par une augmentation de la consommation d'oxygène par l'organisme et par la potentialisation de l'action des autres hormones calorigéniques (GH, glucagon, catécholamines) (Nathalie, 1996).

#### **b. Métabolisme protidique**

Les HT sont anabolisantes à dose physiologique et catabolisantes à dose excessive. L'effet global des HT sur le métabolisme protidique est marqué par une augmentation de la synthèse des protéines. Ces HT affectent la synthèse de nombreux enzymes.

#### **c. Métabolisme glucidique**

A dose physiologique les HT stimulent la synthèse du glycogène et l'inhibe à forte dose. Concernant l'équilibre glycémique, l'apparition d'une hyperglycémie post prandiale excessive en cas d'hyperthyroïdie permet de suspecter un rôle diabétogène aux HT. Cette anomalie peut être due à l'augmentation de l'absorption intestinale du glucose, à la diminution du taux de sécrétion de l'insuline et l'accélération de sa dégradation.

Cette action hyperglycémiantes des HT en excès est à la fois directe et indirecte par potentialisation de l'effet d'autres hormones hyperglycémiantes (Legeay , 1999).

#### **d. Métabolisme lipidique**

L'effet des HT affecte aussi bien les triglycérides, les phospholipides que le cholestérol. Les HT sont lipolytiques directement et en potentialisant l'action des autres hormones lipolytiques. Les acides gras deviennent l'une des sources principales d'énergie une

fois les réserves de glycogène et des protéines épuisés (Wurtz, 2002).

## **II.5 Anomalies de la sécrétion des hormones thyroïdiennes**

### **II.5.1.Hypothyroïdie**

Toute anomalie anatomique ou fonctionnelle de la GT aboutissant à une insuffisance de la synthèse et de la sécrétion d'HT déterminera un état hypothyroïdien. La perturbation partielle ou totale de la synthèse des HT par la GT entraîne une augmentation de la sécrétion de TSH et la formation de goitre compensateur. (Schlumberger, 2007)

Le tableau clinique de l'hypothyroïdie est caractérisé par :

- Augmentation des substances mucoprotéiques de la peau et du tissu cellulaire sous-cutané. Cette infiltration mucoïde donne un épaississement des traits et un aspect bouffi du visage d'où le nom de myxœdème donné à ce type d'hypothyroïdie.

- Asthénie et frilosité
- Bradycardie
- Bradypsychie avec tendance dépressive
- Constipation
- Chez l'enfant : un nanisme dysharmonieux avec crétinisme

Biologiquement :

- Hypercholestérolémie
- Anémie
- Hypoglycémie.

### **II.5.2.Hyperthyroïdie**

L'hyperthyroïdie se définit par l'élévation du taux plasmatique d'HT libres. Elle est responsable de manifestations cliniques regroupées sous le terme de thyrotoxicose. On reconnaît 2 grandes variétés : L'adénome toxique et le goitre toxique multinodulaire d'une part, le goitre diffus toxique ou maladie de Basedow d'autre part. (Schlumberger, 2007)

Le tableau clinique de l'hyperthyroïdie est le reflet de la stimulation du métabolisme provoquée par l'excès d'HT. Ainsi, on observe :

- Amaigrissement et thermophobie

- Tachycardie avec élargissement de la pression différentielle
- Troubles du comportement avec agitation et irritabilité
- Fatigue et amyotrophie

Biologiquement :

- Hypercalcémie
  - hypocholestérolémie
  - le taux d'HT circulantes est très élevé, la TSH est indétectable ou à la limite inférieure des valeurs normales.
- Présence des anticorps anti-récepteurs de la TSH (TRAK) dans la maladie de Basedow

# **Chapitre II : Matériel et méthodes**

## I. Présentation de l'animal

### I.1. Systématique

Selon Wilson et Reeder (1993) le hérisson de l'Algérie (*Atelerix algirus*) (Lereboullet, 1842) occupe la place suivante dans la classification des mammifères :

<b>Classe :</b>	Mammifères.
<b>Sous-classe :</b>	Thériens.
<b>Infra-classe :</b>	Euthériens.
<b>Ordre :</b>	Insectivores.
<b>Famille :</b>	Erinaceidae.
<b>Sous famille :</b>	Erinaceinae.
<b>Genre :</b>	<i>Atelerix</i> .
<b>Espèce :</b>	<i>Atelerix algirus</i> .

### I.2. Biogéographie

Les hérissons sont apparus avant la fin du Crétacé, il y a environ 80 millions d'années (Morris, 1984 ; Buteler, 1972), peu de temps après la séparation des Euthériens-Marsupiaux, dans la dernière partie du Crétacé (Bertoud, 1978). Les Erinaceinae étaient largement répartie dans l'Ancien Monde (Herter , 1938). Pour Saint-girons (1973), le hérisson sous sa forme actuelle occupe l'Europe depuis la fin du pléistocène, en compagnie, entre autres, de l'ours des cavernes, du mégathérium et de l'homme. Par contre, selon Morris et Berthoud (1987), les premiers hérissons sont apparus probablement il y'a plus de 15 millions d'années, bien avant les tigres aux dents de sabre, les rhinocéros laineux et les mammoths. Alors que tous ces animaux ont actuellement disparus, le hérisson est toujours présent. Tout porte à croire que dès son apparition sur la terre, le hérisson était déjà suffisamment bien doté de caractères d'adaptation pour traverser les temps géologiques sans être remplacé ni avoir subi de modifications. Le hérisson d'Algérie, (*Atelerix algirus*), aurait une origine éthiopienne (Heim de balsac, 1936).



### **I.3. Distribution géographique**

Les études faunistiques sur les mammifères d'Algérie (Kowalski et Rzebik-kowalska 1991) montrent l'existence de deux espèces de hérissons : le Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) et le Hérisson du désert (*Hemiechinus aethiopicus*).

La répartition de l'espèce ; *Atelerix algirus* est limitée à la côte orientale d'Espagne, en France à la côte du Languedoc et du Var, aux îles Baléares (Matthews, 1972), à l'Afrique du Nord, aux îles Canaries (Saint-Girons, 1973) et enfin du Maroc jusqu'à la Libye (Burton, 1976).

En Algérie, le Hérisson d'Algérie a été signalé par plusieurs auteurs: sur le littoral et les plaines intérieures, Larbaa (Seurat, 1924), près d'El Kala (Telailia, 1990), à Blida, Boumerdès, Jijel, Annaba, El Taraf (Harbi, 1991), dans les environs d'Alger, El Harrach (Doumandji et Doumandji, 1992a) et à Cap Djanet (Metref, 1994), à Mitidja et à Oued Smar, à Bab Ezzouar, à Soumaa et à Baraki (Doumandji et Doumandji, 1992b), dans le parc national de Taza (Mostefai, 1990) et à Souk-Ahras (Harbi, 1991).

Il a été signalé aussi au niveau de l'Atlas Tellien, dans le parc national de Thniet El-Had (Baichi 1987), dans la forêt de l'Akfadou (Chebini, 1987), à Tikjda (Guermas, 1987 ; Sayah, 1988), dans le parc national de Chréa (Mazari, 1988), dans la réserve naturelle du Mont Babor (Mordji, 1988), à Tala Gilef (Hamdine, 1991).

D'autres auteurs notent sa présence au niveau des Hauts Plateaux. Il existe dans la région de Senabla Chergui (Khireddine, 1977), dans la région sétifienne (Gaisler, 1984) à Oued El Biod (Laamari, 1985), dans la forêt d'Oum-Graf à Saida (Talbi, 1985), au Djebel El Achache (Ammam, 1987), au niveau du barrage de Boughzoul (Baziz, 1991), à Sidi Bel Abbès, travers toute la wilaya de Médéa (Harbi, 1991), à et au niveau du lac de Boulhilet à Oum el-Bouaghi (Si bachir, 1991). D'après Kowalski et Rzebik-kowalska (1991), (*Atelerix algirus*) cohabite avec *Paraechinus aethiopicus* au niveau des Hauts Plateaux (Sellami et al 1989). D'ailleurs, Athmani (1988) a noté sa présence au niveau de l'Atlas Saharien dans le parc national de Belezma.

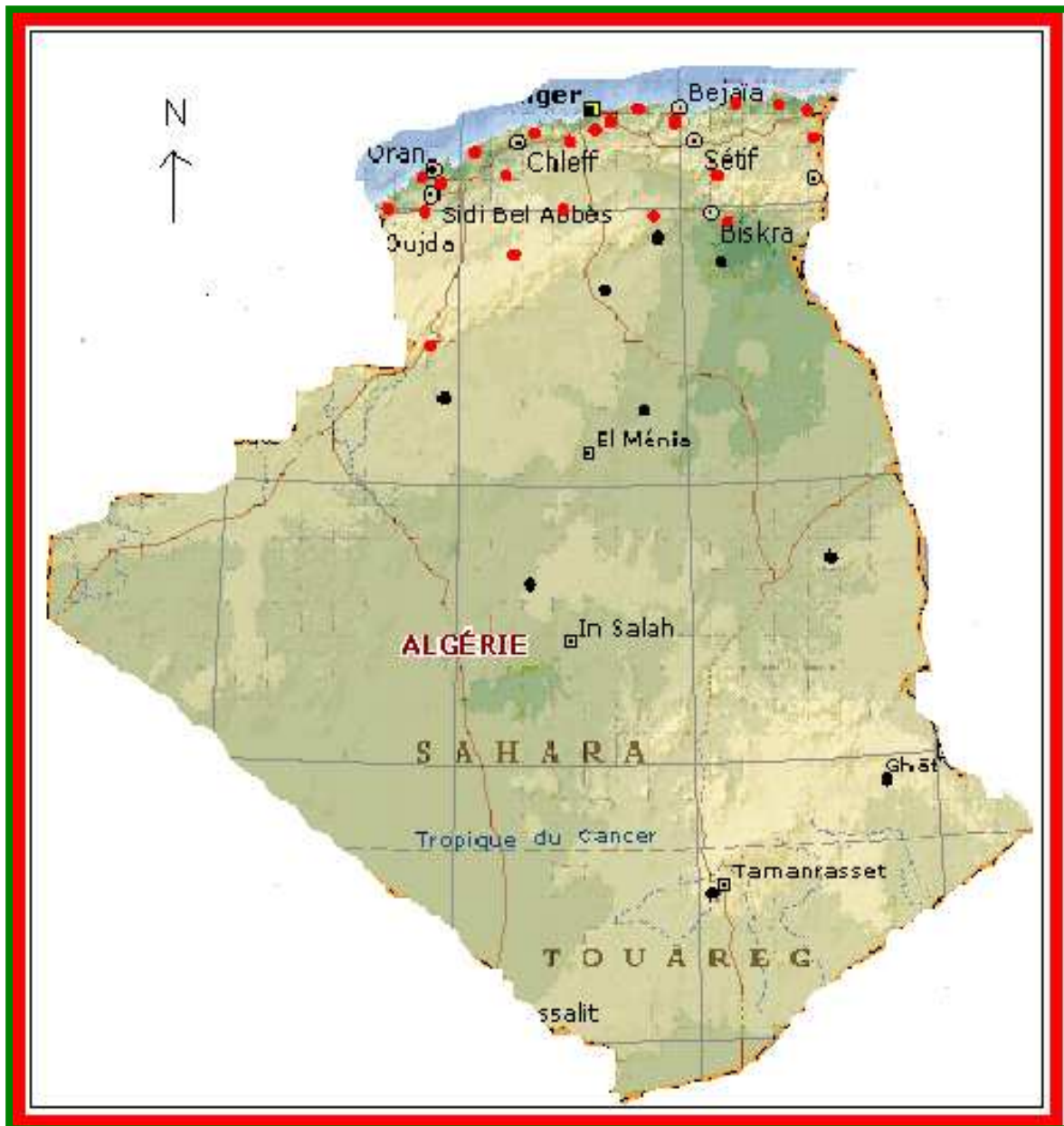


Figure 4: Répartition géographique d'*Atelerix algirus* ● et *Hemiechinus aethiopicus*

● D'après Sahraoui-Brahim (1984), Sellami et al. (1989) et Harbi (1991)

Echelle : 1/14000000.

## **I.4. Données biologiques et écologiques**

### **I.4.1. Description morphologique**

Le hérisson d'Algérie est un mammifère de petite taille, sa longueur est de 20 à 25 cm chez l'adulte et sa masse corporelle est comprise entre 300 et 1300g, selon le sexe et la saison. Les caractères morphologiques les plus remarquables, sont le pelage dorsal, constitué de piquants orientés en tous sens et une musculature peaussière qui permet à l'animal de se mettre en boule dès qu'il est inquiété (stratégie anti-prédateur). Les piquants s'étendent un peu en avant sur le front et sont séparés par une petite échancrure médiane dépourvue de piquants (Thomas, 1918).

### **I.4.2. Habitat**

Commun dans un grand nombre de biotope, le hérisson habite les bois de feuillus, les haies, les broussailles, les parcs, les prairies humides (surtout au bord de ces milieux), les jardins, les dunes avec buissons. On le trouve jusqu'à 2000 m en montagne, trouvé à 1600 m dans les massif du Djurdjura, dans les forêts de cèdres. (Sayah, 1996)

Le hérisson d'Algérie est très commun. On le rencontre dans les terrains découverts normalement secs avec des broussailles, des buissons ou des arbustes (Burton, 1976), dans les milieux cultivés sous des amas de pierres ou d'herbes, là où il peut trouver des insectes (Laamari, 1986). On le retrouve également dans la chênaie sapinière, dans la cédraie mixte et dans la cédraie claire du Mont Babor (Mordji, 1988), dans l'afarécaie, la zeenaie et la subéraie du parc national du Taza (Mostefai, 1990). Il semble être abondant sur les pelouses à graminées et dans les clairières (Hamdine, 1991).

### **I.4.3. Activité**

Le Hérisson d'Algérie est un animal solitaire, il présente une activité crépuscule et nocturne. Pendant la journée, il se repose dans les nids d'herbes sèches et de feuilles mortes souvent situés dans les buissons, mais aussi il peut se caché dans des abris divers telle que les pierres, sous les fagots et sous les troncs d'arbres.

Dès la tombée du jour, les hérissons se mettent en mouvements. Les déplacements de l'espèce sont très mal connus néanmoins Berthoud (1980) note quatre (04) types chez le hérisson d'Europe, *Erinaceus europaeus* :

- Déplacement sur le territoire de chasse.

- Déplacement pour la rencontre de sexes.
- Déplacement pour le gîte diurne et le territoire de chasse.
- Déplacement entre les lieux d'estivage et d'hivernage.

#### **I.4.4. Régime alimentaire**

Le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie est beaucoup étudié par de nombreux auteurs : Athmani (1988), Sayah (1988), Baziz (1991), Doumandji et Doumandji, (1992 a et b), Bendjoudi, (1995), Sayah (1996), Agrane (2001), Baouana et al (2004), Talmat et al (2004), Bouane, (2005), Brahmi (2005), Mimoun, (2006), Derdoukh (2006), Mimoune et Doumandji, (2007), Mouhoub-Sayah (2009). Tous ces auteurs ont conclu que le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie est strictement insectivore.

Le hérisson d'Algérie a un régime alimentaire très riche en espèces proies. Il se nourrit d'Insectes, de Mollusques, de Myriapodes et de Arachnides (Brahmi, 2005) ; il consomme des formicidae (Athmani 1988 ; Sayah 1988) et des Coléoptères notamment des Carabides, des Scarabeïdes, des Méloïdes, des Chrysomelides et des Curculionides (Si Bachir, 1991 ; Ben Djoudi, 1995 ; Agrane, 2001), l'ordre des Hyménoptères vient largement en tête des proies consommées (88%) et parmi ce taxon l'espèce ; *Messor barbara* (fourmi moissonneuse) est la plus consommée (Sayah1996). Mouhoub-Sayah (2009) confirme que les Hyménoptères constituent la catégorie proie la plus dominante pendant toute l'année et qu'une inflexion importante durant l'automne en faveur des Lépidoptères (larves) et des Annélides. Il est aussi friand de petit vertébrés tels que les musaraignes et les lézards (Si Bachir 1991). Par son régime alimentaire, le Hérisson élimine un bon nombre d'animaux déprédateurs, ce qui en fait un précieux auxiliaire des jardiniers et des cultivateurs.

#### **I.4.5. Reproduction**

La reproduction du Hérisson d'Algérie a été très peu étudiée. D'après Mouhoub- Sayah (2009), les animaux en captivité montrent que les accouplements se font à partir du mois d'Avril. Après 05 à 07 semaines de gestation, les femelles mettent bas et les portés sont de 03 à 05 petits. Les nouveaux nés ont une couleur rose pâle, ils sont aveugles et sourds, ils présentent des piquants blancs et mous qui deviennent durs (Fig. 5). La longueur du corps à la naissance est de l'ordre de 50 à 85mm avec un poids moyen de 8 à 22g. Chez les jeunes, la faculté de s'enrouler ne se manifeste qu'à partir du 14<sup>ème</sup> jour. Au cours de notre travail expérimental, nous avons observé parmi les femelles mises en élevage deux mises bas, l'une durant le début du mois de mai et l'autre au cours du mois de juin, les portées varient de 3 à 5 petits.



**Figure 5: Des nouveaux nés du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) après Cinq jours de la mise bas (Original, 2014).**

## **II.2. Méthodes d'études de la température corporelle ( $T_a$ ) chez le Hérisson d'Algérie**

### **II.1. Capture et conditions d'élevage**

Pour effectuer notre étude, la capture des animaux a été réalisée avec l'aide précieuse de plusieurs fournisseurs bénévoles qui fréquentent les biotopes privilégiés par le Hérisson d'Algérie. Les sept animaux capturés proviennent tous des différentes régions du nord de l'Algérie (Bouira, Batna, Vallée de la Soummam).

Dans le domaine de la recherche en physiologie, quand l'animal sauvage est pris comme modèle d'étude, l'installation de l'élevage et du parc de stabulation constitue un travail préliminaire très important et indispensable, compte tenu de l'irrégularité des approvisionnements et de l'hétérogénéité des animaux reçus, tant au point de vue âge que sexe.

Dès leurs arrivées au laboratoire, les animaux sont déparasités, sexés, pesés et installés dans les parcs ou dans des cages.

L'évaluation de l'âge se fait dans la mesure du possible, en de la fonction de saison de capture et de certains caractères morphologiques tels, que le poids et la taille. Généralement, les mâles adultes ont une taille et un poids plus élevé que ceux des femelles adultes. Trois

catégories peuvent être distinguées : les adultes, sub-adultes et les jeunes nés en automne et/ou printemps.

L'identification du sexe se fait visuellement par l'œil nu, dont on peut aisément déterminer l'orifice génital mâle qui apparaît sous forme d'une grande ouverture située à l'endroit où se trouve normalement le nombril, à environ 05 cm de l'anus. Chez les femelles, les deux ouvertures sont proches l'une de l'autre, et sont situées à la base de la queue.

Les hérissons sont mis individuellement soit dans des cages (50×40×30 cm) ou bien dans des parcs au sol plus spacieux (140×70×90 cm). Les cages et les parcs sont équipés d'une caisse en carton bien fixée dans le coin contenant de la paille qui servira pour la construction du nid. Ils sont installés dans une chambre disposant de deux fenêtres qui permettent le bon contact des animaux avec le milieu extérieur, et de les faire soumettre aux variations naturelles proche aux conditions climatiques de l'environnement (Fig. 6).

Durant toute la période d'expérimentation les hérissons sont alimentés avec une pâtée constituée de viande hachée pour chien et chat. Après l'implantation chirurgicale de i-Buttons, les animaux sont nourris pendant deux jours avec des œufs brouillés et mélangés à l'huile d'olive. Cela permettra de faciliter le transit intestinale des animaux implantés. L'eau est fournie habituellement *ad libitum*.

Le nettoyage des cages et des parcs au sol se fait chaque fin de semaine avec une prudence très particulière pour ne pas déranger les animaux.





**Figure 6 : Milieu d'élevage du Hérisson d'Algérie, a) la cage, b) parc au sol.  
(Originale, 2013)**

## **II.2. Mesure de la température corporelle**

### **II.2.1. Utilisations de système i-Button**

Afin de suivre l'évolution de la température corporelle ( $T_c$ ) du hérisson d'Algérie au cours de l'hibernation sans perturber les animaux, nous avons utilisé des « temperature loggers » ou système i-Button (Dallas Maxim Integrated Products, UK). Ce système est une puce électronique, ayant un diamètre de 17mm, une épaisseur de 6mm et pèse 3g, il permet de capter et d'enregistrer la température corporelle des Hérissons pendant une longue période. Il est doté d'une capacité de stockage qui, selon les caractéristiques imposées (précision, intervalle d'échantillonnage) est variable et peut aller de quelques jours à plusieurs mois. Le modèle utilisé est celui DS1922L datalog memory. Le type d'acquisition utilisé est celui de 8 bits, qui correspond à une précision de mesure de la température  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , avec un échantillonnage pris à un intervalle de temps constant (20 minutes) et une durée d'enregistrement de 114 jours. Avant l'implantation dans la cavité abdominale du Hérisson, chaque émetteur est enrobé dans une couche de paraffine ( Elvax R-Paraffin) afin d'éviter les rejets et les infections.

### **II.2.2. Programmation des émetteurs**

La programmation des émetteurs est effectuée la veille des interventions chirurgicales à l'aide d'un logiciel « *One Wire Viewer* ». Chaque animal est équipé de deux émetteurs : le premier commence les enregistrements au début de l'expérimentation et le second commence plus tard avec un délai de 45 jours par rapport au début (Tab. 1). Ainsi, la durée totale d'enregistrement possible est de 159 jours soit environ de 5 mois.

Une paire d'émetteurs est posé dans le lieu d'expérimentation afin d'enregistrer les variations de la température ambiante ( $T_a$ ).



**Tableau 1 : Programmation des émetteurs i-Button pour l'enregistrement de la Tc et Ta.**

<b>Animal</b>	<b>Date d'implantation</b>	<b>Numéro d'émetteurs</b>	<b>Série</b>	<b>Heure de Programmation</b>	<b>Programmation</b>	<b>Démarrage</b>
01	03/11/2013	1	1FF33E41	09 :10	660-10=650	Après 650mn
		2	1FF87F41	09 :15	650x45=63345 63345-15=63310	Après 63310mn
07	03/11/2013	1	1FF33E41	14:40	660-20=620mn	Après 620mn
		2	1FFD4441	14:45	63360-45=63315	Après63315mn
09	18/12/2013	1	1FF88041	21 :20	1200-20=1180	Aprés1180mn
		2	1FF97841	21 :25	63360-25=63335	Aprés63335mn
10	21/12/2013	1	1FF2C741	21 :10	1200-10=1190	Aprés1190mn
		2	1FFOCD41	21 :15	63360-15=63345	Aprés63345mn
11	21/12/2013	1	1FFB8941	21 :00	1200-00=1200	Aprés1200mn
		2	1FF32041	21 :05	63360-5=63355	Aprés63355mn
13	24/12/2013	1	201A7F41	21 :30	1200-30=1170	Aprés1170min
		2	1FF95D41	21 :35	63360-35=63325	Aprés63325mn
14	24/12/2014	1	1FF32041	21 :00	1200-00=1200	Aprés1155min
		2	FF32041	21 :05	63360-05=63355	Aprés63355min

### **II.2.3. Implantation chirurgicale des iButtons (laparotomie)**

#### **II.2.3.1. Anesthésie**

Le hérisson d'Algérie renferme une structure musculature peaucière puissante et très particulière qui lui permet de se mettre en boule dès qu'il se sent inquiet. Cette réaction comportementale rend particulièrement difficile toutes manipulations de l'animal, ce qui nous a obligé d'avoir recours à l'anesthésie. Deux types d'anesthésies sont utilisés : des anesthésies liquides par injection intramusculaire et une anesthésie gazeuses par inhalation. Elles sont effectuées sur des animaux à jeun avec des doses appropriées à leurs poids.

##### ***a) Anesthésie liquide***

Selon la disponibilité d'anesthésie sur le marché, les sujets sont traités, soit par un cocktail de Kétamine et de Rompun ou bien de Zoletil et de Rompun. Ces mélanges ne provoquent aucune complication cardiaque ou respiratoire, ni des troubles de régulation thermiques et ne nécessitent pas un temps de réveils extrêmement long.

La Kétamine virbac ((RS)-2-(2-chlorophényl)-2-méthylamino-cyclohexan-1-one) : c'est une solution limpide utilisée souvent dans des situations où il n'existe pas de matériel de réanimation, synthétisée pour la première fois 1962 , introduite en médecine vétérinaire dès 1965 et décrite comme anesthésiant dissociatif qui revient à leur effet rapide.

Le Rompun à 2% est un produit sédatif, analgésique, anesthésique et myorelaxant pour les animaux. Il est composé de Xylazine base 0,2g (sous forme de chlorhydrate) methylparahydroxybenzoate. Le Rompun provoque un état hypotonique avec sédation, accompagné d'une relaxation musculaire généralisée. Leur effet se manifeste après 5 à 10 minutes de l'injection.

On détermine la dose d'anesthésie en fonction du poids de l'animal. Pour un hérisson de 580g, les doses utilisées sont : 0,5 ml de Kétamine et 0,1ml de Rompun à 2%. Les deux produits sont injectés successivement dans la cavité péritonéale, leurs effets durent entre 20 à 40 minutes.

Zoletil (virbac SA06516 Carros) est une anesthésie générale composé de la tilétamine 125mg, et du Zolazepun 125mg. Il présente une action sédatif, anxiolytique et musculo-relaxante après 30 à 60 minutes de l'injection, selon la dose et le poids de l'animal. Avant toutes interventions on a appliqué une dilution de 20% à la solution mère (50%) pour éviter tous les risques liés au surdosage de la molécule.

Pour un sujets de 300g, on utilise 0,1ml de Rompun à 20% et 0,4ml de Zoletil à 20% , et pour un hérisson de 600g les doses utilisés sont : 0,15ml à 0,2ml de Rompun à 2% et 0,6ml à 0,7ml de Zoletil. L'anesthésie dure environ de 2 à 3 heures.

### ***b) Anesthésie gazeuse***

**Forène**, est une anesthésie générale par inhalation, utilisable en induction et entretien, composé par l'isoflurane 100 ml. Elle permet une induction et un réveil rapide, produisent habituellement une somnolence et relaxation en 7-10 minutes.

Vu le manque d'appareillage approprié à ce type d'anesthésie nous avons confectionnée un système, qui est constitué d'une bouteille en plastique contenant une boule de coton hydrophile imbibé de Forène reliée à un entonnoir par un tuyau. Ce système est utilisé dans le cas où l'animal se réveille durant l'acte chirurgical.

### **II.2.3.2.La chirurgie (implantation des i-Buttons)**

Ce type d'intervention chirurgicale est indispensable chez le hérisson pour procéder à la mesure de la température corporelle. Elle consiste à pratiquer une petite ouverture dans la gravité abdominale (peau et muscle) de l'animal pour introduire les émetteurs programmés. Cet acte chirurgical comporte plusieurs étapes (Fig. 7):

- Préparation du matériel nécessaire pour l'opération (les pinces, les ciseaux, fil résorbable, sérum physiologique, alcool [éthanol 70%], antibiotique local en poudre et en liquide, coton tige).
- Peser l'animal.
- Anesthésier l'animal.
- Raser l'animal sur la partie abdominale du côté droit ou gauche évitant les veines.
- Nettoyer la peau avec l'alcool.
- Inciser le plan cutané sur 3 cm de longueur.
- Dégager les tissus conjonctifs, et nettoyer la plaie avec un coton tige imbibée de sérum physiologique.
- Effectuer une incision du plan musculaire sur 2cm.
- Placer les émetteurs à l'aide d'une pince dans la cavité après les avoir plongés quelques secondes dans l'alcool (éthanol 70%) ensuite dans le sérum physiologique.

- Suturer le muscle avec un fil résorbable.
- Appliquer un antibiotique local pour éviter tous risques d'infections.
- Suturer la peau à l'aide d'agrafes de Michel 1.5mm
- Nettoyer l plaie au sérum physiologique et appliquer l'antibiotique local en liquide et en poudre.
- Marquer les animaux avec des boucles sur les oreilles.
- Remettre l'animal dans sa cage ou dans son parc, le surveiller pendant les 24h suivant le réveil.

A la fin de l'expérimentation, le retrait des émetteurs se fait suivant le même procédé décrit ci dessus.



**A : préparation du matériel.**



**B : prise du poids**



**C : anesthésier l'animal.**



**D : rasage de l'animal**



**E : incision du plan cutané**



**I : incision du plan musculaire**



**G : emplacement de l'émetteur**



**H : suture du muscle.**



**I : suture de la peau.**



**J : désinfection de la suture**



**K : marquage de l'animal**



**I : prise du poids après l'implantation**

**Figure 7: Les différentes étapes de laparotomie pour l'implantation des iButtons dans la cavité abdominale du Hérisson. (Originale, 2013)**



### II.2.3.3. Lecture et exploitation des données

La lecture des données se fait par l'intermédiaire d'un système de transfert de données (Blue dot) vers un microordinateur. Une paire d'émetteurs i-Button est clipée sur ce système qui fonctionnera au lancement du logiciel « *one Wire Viewer* »

Les paramètres enregistrés (heures, date, température) sont transférés à des logiciels (word pad et Excel) sur un ordinateur. L'analyse *posteriori* des enregistrements nous a permis de rechercher chez le Hérisson d'Algérie l'existence de fluctuations saisonnières et même journalière de la température corporelle (incidence, intensité, durée... etc.).

Chez le Hérisson d'Europe, Casting (1985) ; Saboureau et al (1999) ; Vignault (1994), ont choisi arbitrairement la température corporelle  $T_c=33^{\circ}\text{C}$  comme une limite entre l'hypothermie et l'euthermie.

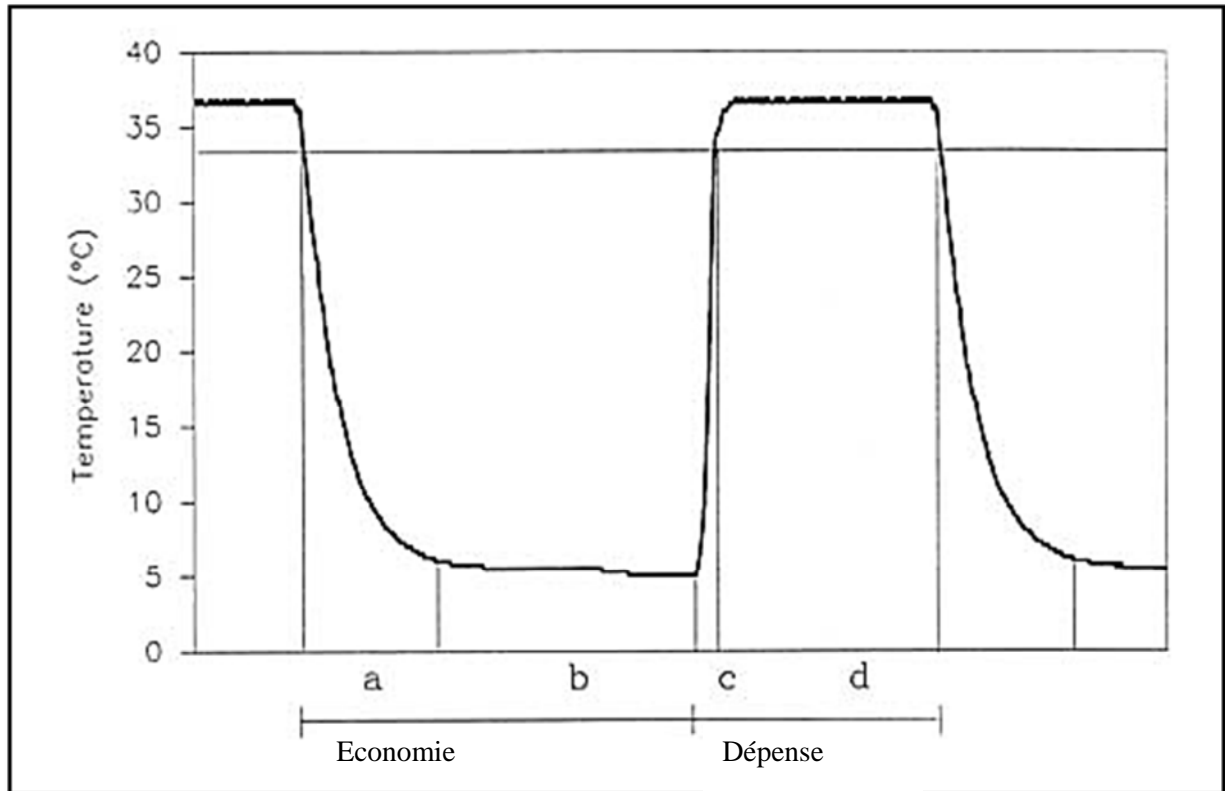
La  $T_c < 33^{\circ}\text{C}$  correspond à la phase d'hypothermie de l'animal, cette phase est caractérisée par une diminution lente de  $T_c$  (phase de refroidissement) puis elle est suivie d'une phase d'hypothermie profonde où la  $T_c$  est proche de la température ambiante ( $T_a$ ). Cette hypothermie profonde est terminée par une phase de réchauffement, qu'on appelle aussi une phase de réveil périodique spontané, avec une augmentation rapide de la  $T_c$  contrairement à la phase de refroidissement. La phase de torpeur se termine par le retour à son niveau normal et régulé avec une  $T_c > 33^{\circ}\text{C}$ , ou commence la phase d'euthermie.

On distingue deux types de torpeur selon leur durée et leur amplitude : torpeur de courte durée  $< 24$  heure qu'on appelle torpeur journalière et torpeur de longue durée  $> 24$  heure qui se manifestent durant l'hibernation proprement dite (Gaiser, 2004).

Les phases de torpeur et d'euthermie, ainsi que les réveils périodiques spontanés ont été caractérisées par la situation de leur début et de leur fin au cours du nyctémère. Nous déterminerons aussi d'autres paramètres de ces phases, tels que leurs durées totales, leur amplitude, leur fréquence, et leurs vitesses de refroidissement et de réchauffement. Au cours de notre expérimentation, nous comparons les données de la  $T_c$  à la variation de la  $T_a$ .

Le suivi de la  $T_c$  est effectué sur sept Hérissons femelles d'une manière générale (l'hétérogénéité du début et de la fin d'expérimentation est due à la disponibilité et à l'état des animaux) à partir du mois d'Octobre jusqu'à le mois de Mai. Après l'implantation des animaux, nous notons quotidiennement la prise alimentaire que nous comparons ultérieurement avec les variations de la  $T_c$ . Pour suivre les variations de la masse corporelle, les animaux mis en expérimentation, sont pesés durant les phases de réveil.

L'ensemble des paramètres exploités à partir de la variation de la Tc, a permis de déterminer la phase d'économie d'énergie (refroidissement+ hypothermie profonde) et la phase de dépense d'énergie (réchauffement+ eutherme) (Fig. 8).



[a]= refroidissement. [b]=hypothermie profonde. [c]=réchauffement. [d]=eutherme.

[a+b+c]=phases de torpeur ou d'hypothermie. [d]=phases d'eutherme.

Bilan énergétique : [a+b]=économie d'énergie. [c+d]= dépense d'énergie.

**Figure 8 : Représentation schématique des variations de la température corporelle du Hérisson au cours de l'hibernation.**

### III. Etude de la thyroïde

#### III.1. Etude de l'aspect morphologique de la thyroïde

##### III.1.1. Echographie

Pour une première étude sur la thyroïde chez le Hérisson d'Algérie, et selon la bibliographie citée précédemment indiquant des différences concernant l'anatomie et l'emplacement de la glande par rapport aux anneaux trachéaux, nous avons jugé utile de déterminer la localisation précise de la glande thyroïde par une échographie.

Vu la réaction comportementale du Hérisson qui se « roule en boule » dès qu'il se sent iniquité, l'échographie est pratiquée sur un animal soumis a une anesthésie gazeuse (Forène). Cela permettra de dégager le cou en hyperextension.

Nous avons utilisé un appareil d'échographie Imago (ECM réf. 90-1945) qui est un système d'imagerie de diagnostic. Cet appareil est muni d'une sonde à barrette linéaire à haute fréquence (7,5MHz) qui permet d'examiner les structures les plus profondes. Cet appareil est conçu pour les applications vétérinaires chez divers animaux (vaches, chevaux, brebis, chiens et chat) (Fig. 9).



**Figure 9 : Echographie vétérinaire Imago utilisé pour imagerie de la thyroïde du Hérisson d'Algérie (ECM réf. 90-1945).**

### **III.1.2. Méthode de prélèvement de la glande thyroïde**

Les échantillons de la thyroïde ont été prélevés durant deux périodes importantes chez le Hérisson d'Algérie ; l'hibernation et la reprise période d'activité. L'échantillonnage de la glande dépend essentiellement de la disponibilité des animaux sur le terrain qui s'amointrit en période hivernale. Nous avons aussi effectué des prélèvements de la thyroïde sur des animaux morts au laboratoire ou sacrifiés à la fin d'expérimentation sur l'hibernation.

Afin de prélever la glande thyroïde, nous avons pratiqué une incision de 6 cm sur la peau et le muscle qui couvre la face antéro- latérale du cou de l'animal. Une fois que la glande thyroïde est bien localisée, nous avons déterminé sous une loupe binoculaire (GX2.5), sa forme, sa couleur, sa position par rapport aux anneaux trachéaux, son innervation et son irrigation. En parallèle, nous avons effectué des mensurations des lobes thyroïdiens (longueur, largeur) à l'aide d'un pied à coulisse. Nous avons pesée les glandes prélevées à l'aide d'une balance électronique (précision 1/10000g). Après une ablation totale de la graisse



périthyroïdienne, nous avons immergé immédiatement les échantillons dans un liquide fixateur en pour réaliser ultérieurement des coupes histologiques.

### **III.2.Coupes histologiques**

Les coupes histologiques ont été réalisées au niveau de service d'Anatomie Pathologie de l'Hôpital Franc Fanon de la Wilaya de Béjaia.

#### **III.2.1. Fixation :**

Durant notre travail la fixation des glandes thyroïdes est faite par le formol à 10%, il est le plus utilisé pour ses qualités de bon fixateur et conservateur. Il est disponible sous forme d'une solution mère de formaldéhyde de 30 à 40% de concentration. A partir de cette solution mère, on prépare une dilution à 10%.

Le Formol est un excellent fixateur pour le tissu adipeux. Sa vitesse de pénétration est moyenne. Des échantillons prélevés de la glande sont découpés à 4mm d'épaisseur sont fixés de 4 à 6 heures. Une fixation complète est de 12 à 24 heures, tout dépend de la nature du tissus (Cabanne et Bonenfant, 1980).

#### **III.2.2. Etape de la confection des fragments**

Actuellement cette étape de la technique, se fait d'une façon automatique à l'aide d'un appareil de traitement des tissus. Celui-ci est réglé sur un cycle de 18 heures, des programmes plus courts de 14 heures ou 8 heures peuvent être utilisés. Cet appareil de traitement réalise trois étapes successives : déshydratation, désalcoolisation et enfin inclusion (Fig. 10A).

##### **a) Déshydratation**

Les prélèvements découpés en tranches fines (2-3 mm sur 1-2 cm) et placés dans des cassettes qui passeront successivement dans 7 bacs d'alcool éthylique à titrage croissant de 70° 100° pour réaliser une déshydratation en douceur et non brutale qui risque de rétracter les cellules. Cependant, on préfère entamer la déshydratation directement avec de l'alcool éthylique à 96° sans endommager les pièces.

##### **b) Désalcoolisation**

La pénétration du xylène dans les tissus élimine d'une part, toute trace d'éthanol utilisé à la déshydratation puisque celui-ci n'est pas miscible à la paraffine et d'autre part, éclaircit les pièces. Le xylène (xylol) est un excellent et véritable agent désalcoolisant et

d'éclaircissement (Lynch, 1976). Le séjour toléré des prélèvements est de 3 heures. Le délai maximum dans le xylène est de 24h ; au-delà de ce temps la pièce devient dur et cassante.

Un éclaircissement insuffisant rend le tissu opaque ou nuageux et le débitage des coupes est difficile ou même impossible.

Pour clore ce cycle de traitement, les pièces passent par 2 bacs de paraffine liquide.

### **c) Inclusion**

Consiste à faire pénétrer, aussi intimement que possible dans le tissu de la thyroïde et à l'échelle cellulaire, la paraffine (universellement utilisée). Une imprégnation à la paraffine insuffisante donne un bloc humide et a tendance à s'effriter et garder l'odeur de l'agent éclaircissant (Lynch, 1976).

## **III.2.3. Confection des coupes**

### **a) L'enrobage**

Après la fixation, on met les fragments traités sous la paraffine dure à l'intérieure des cassettes puis dans le congélateur pendant 24 heures pour pouvoir effectuer l'étape de coupe. (Lynch, 1976). (Fig. 10 B).

### **b) La coupe**

Les coupes sont réalisées par le microtome (Leica RM2125 RT) selon les étapes suivantes (Martoja et Martoja, 1967). (Fig. 10 C)

- Reculer la cassette au maximum.
- Placer le bloc dans le porte objet sans le fixer.
- Placer le rasoir face gravée vers l'extérieur et fixer (face à couper dans un plan vertical, parallèle au fil du rasoir) les deux arêtes du bloc les plus ondulés horizontalement.
- Dégrossir.
- Régler l'épaisseur des coupes (0.3 à 0.5mm).
- Mettre le cliquet.
- Couper.

**c) Etalement des coupes**

Un liquide d'étalement est nécessaire pour étaler le ruban de coupe sur la lame. Le liquide le plus utilisé est l'eau gélatinée dont 30g de gélatine en feuille et 400 ml d'eau distillé. Une fois que les lames sont repérées, mettre la plaque chauffante à 45°C pour que la coupe soit bien aplatie et choisir une bonne coupe à placer sur la lame (face brillante contre la lame). La lame étant sur la platine, l'égoutter, puis la mettre à sécher pendant 24 heures dans une étuve à 37°C et colorer la immédiatement. (Fig. 10 D).

**III.2.4. Etape de la coloration et du montage****a) Colorations**

Les procédés des colorations jouent un rôle important dans la technique histologique. Grace à ce procédé, sont différenciés les parties élémentaires de la thyroïde tels que : noyaux, cytoplasme, fibres conjonctive, grains de sécrétion..etc. Les colorations histologiques sont très nombreuses et variées mais, durant notre travail on a choisi une coloration standard, universellement adoptée en histologie et même en anatomie pathologique, est celle dite « Hemalun-Eosine » dont la technique est détaillé (Annexe 7). Les étapes de coloration sont effectuées dans appareil (Leica) de 12 colorants et la suite des étapes sont réalisées manuellement (Fig. 10 E).

**b) Montage**

Le montage est la dernière étape technique de la préparation des lames pour la lecture en microscopie. Il s'agit de recouvrir l'étalement avec une lamelle en utilisant un milieu de montage permanent. Le but, est multiple, il permet, d'une part, l'obtention d'un degré de transparence et d'indice de référence élevé du point de vue optique et, d'autre part, protéger mécaniquement l'étalement qui ne supporte pas le dessèchement et de conserver l'éclat des colorations aussi longtemps que possible. Les milieux de montage permanant sont les résines naturelles.

Après avoir étalé et séché les lames, à l'aire libre on met une goutte de liquide de montage kitte ou le résine, sur une lamelle, pour la disposée le plus vite possible sur la lame préparée.

Pour accélérer la solidification du milieu du montage et ainsi immobiliser définitivement la lamelle, on pose les lames sur une plaque chauffante à 50°C ou dans l'étuve pendant 2 heures. Parfois des bulles d'aire sont emprisonnées sous la lamelle. Elle ne devrait pas exister si on laissait une petite quantité insuffisante de xylène sur la coupe avant de placer la lamelle avec la résine. Si malgré tout, des bulles d'air sont emprisonnées, on pratique

délicatement une pression sur les lamelles (tant qu'elles sont encore fraîches) pour les chasser. (Fig. 10 F).



**A. Confection des fragments sous l'appareil automatique.**



**D. Etalement des coupes**



**B. Enrobage (préparation des cassettes pour la coupe)**



**E. Coloration des coupes sous un appareil automatique.**



**C. Coupe des fragments avec un Microtome**



**F. Montage des coupes**

**Figure 10 : Les différentes étapes de réalisation des coupes histologiques de la glande thyroïde du Hérisson d'Algérie (Original, 2014).**

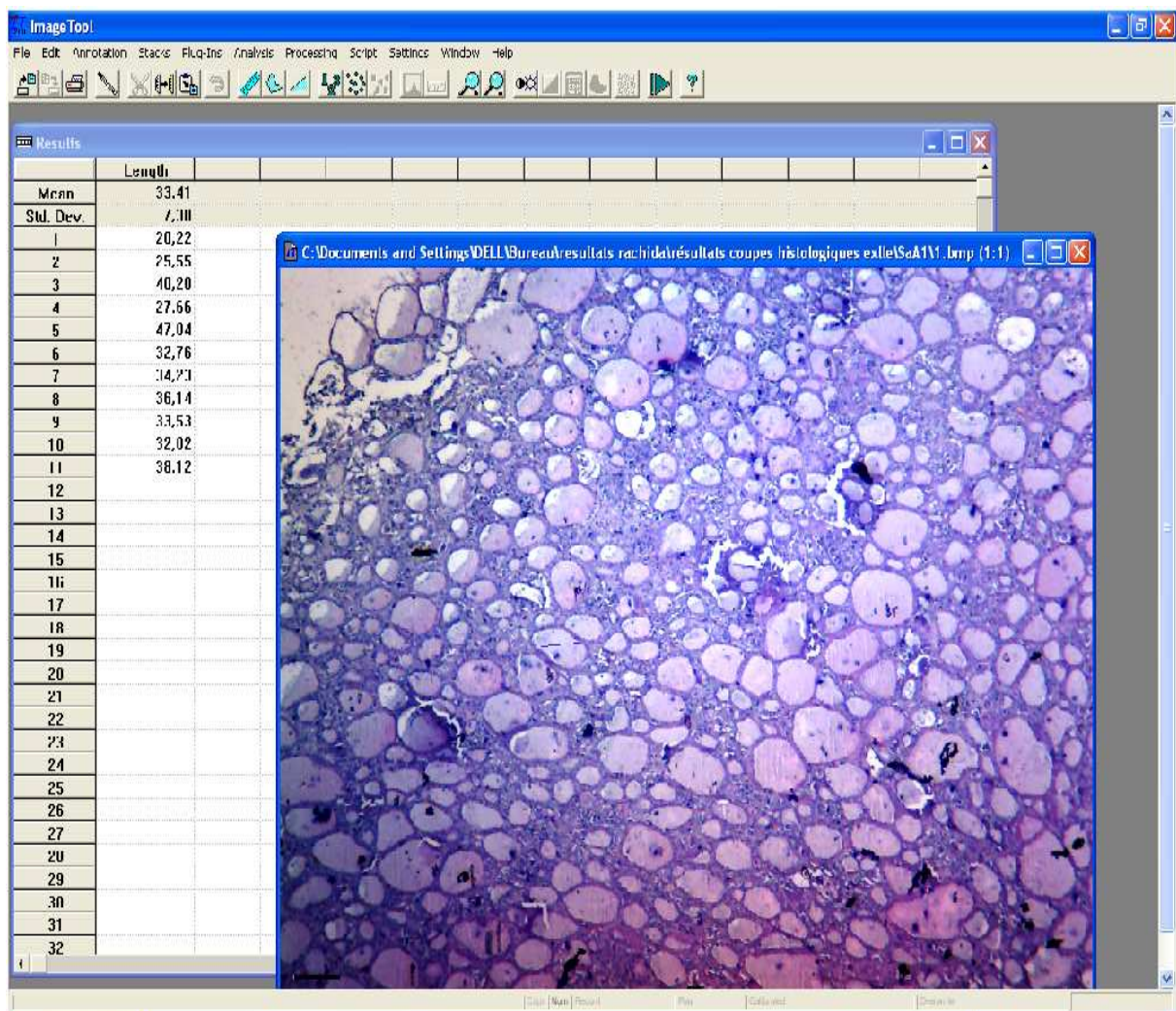


### III.3. Lecture et exploitation des coupes histologiques

La lecture des lames histologiques se fait à l'aide d'un microscope Binoculaire Digital Mod:DM-15,2M PIXELS : Optika doté d'un appareil photos.

Pour avoir le maximum d'information sur la structure histologique de la thyroïde, nous avons pris des photos sur les parties centrales et périphériques des échantillons de la glande.

Une fois que les photos sont traitées on procède à la mensuration des diamètres ainsi que les superficies des follicules thyroïdiens grâce au logiciel Image Tools (Fig. 11).



**Figure 11 : Mensuration des diamètres des follicules thyroïdiens avec le logiciel Image Tools (Original, 2014).**

### **III.4. Fonctionnement thyroïdien (hormones thyroïdiennes iodées)**

#### **III.4.1. Prélèvement sanguins**

Vu les difficultés rencontrées lors du prélèvement sanguin chez le Hérisson, et qui sont liées à la réaction comportementale de l'animal qui se met en boule dès qu'il est inquiet, nous avons tenté de faire plusieurs ponctions : veineuses (veine jugulaire, veine gastrocnémien), et intracardiaque. Celle qui a été retenue dans notre expérimentation est la ponction intracardiaque, l'inconvénient de cette technique est le taux élevé de mortalité, essentiellement en période d'hibernation.

Afin de diminuer l'influence des variations d'un rythme nyctéméral de la sécrétion endocrine de la thyroïde, les prélèvements sanguins sont toujours effectués en fin de journée qui pourra correspondre généralement au réveil de l'animal.

Le sang prélevé est recueilli dans des tubes sec en verre afin d'éviter tous risques de molécules chimiques de l'héparine qui peu interférer les résultats de dosage. Le prélèvement sera incubé dans un bain mari à 37°C pendant une nuit (12 heure), jusqu'à la séparation totale du plasma avec d'autres constituants du sang et la formation du caillot de coagulation. Ce temps est souvent plus long pendant la période d'hibernation à cause de l'héparine sanguine élevé du Hérisson durant cette période (Herter, 1965). A l'aide d'une spatule propre on casse le caillou avec un seul mouvement rotationnel rapide on évitant la libération des globules rouge et les risques d'hémolyse. Après centrifugation (15 min à 4000 tours/min), le plasma recueillie est réparties dans des microtubes, référencées, congelées et conservées à (-25°C) jusqu'au moment des dosages hormonaux.

#### **III.4.2. Dosage de la thyroxine (T4)**

Le dosage des hormones thyroïdiennes iodées repose sur le principe de la technique de compétition isotopique immunofluorescence. Cette technique est effectué par le teste d'électrochimiluminescence, basé sur les analyseurs Elecsys et Cobas E411. Le dosage à été fait au niveau du laboratoire d'analyses médicales du Docteur SAYAH, (Wilaya de Bouira).

La durée totale de la technique utilisée est 18 minutes, elle se déroule en plusieurs étapes :

- 1<sup>ère</sup> incubation : une prise d'essai de 20µL d'échantillon est incubée avec des anticorps anti-T4 (auto-antigène potentiel) marqués au lithénium.
- 2<sup>ème</sup> incubation : la T4 marquée à la biotine et les microparticules tapissées de streptavidine sont ajoutées. Les anti-T4 de l'échantillon entrent en compétition avec les anticorps-T4 marqués au ruthénium vis-à-vis de la T4marqué à la biotine.

- Le complexe est fixé à la phase solide par une liaison biotine- streptavidine.
- Le mélange fonctionnel est transféré dans la cellule de mesure, les microparticules sont maintenues au niveau de l'électrode par un aimant.
- L'élimination de la fraction libre est effectuée par le passage de ProCell (une solution permettant de générer l'émission de signaux électrochimiques sur les analyseurs de l'appareil utilisé, Elecsys 2010).
- Une différence de potentiel appliqué à l'électrode déclenche la production de luminescence qui est mesurée par un photomultiplicateur.
- Les résultats sont obtenus à l'aide d'une courbe de calibration. Celle-ci est générée, pour l'analyseur utilisé, par une calibration en deux points et une courbe de référence mémorisée dans le code-barres du réactif. (Passing et al, 1988)

# **Chapitre III :**

## **Résultats**



## Résultats

Les résultats obtenus à travers de cette étude sur le l'Hérisson d'Algérie seront présentés en deux parties successives. La première concerne l'hibernation et la deuxième est relative au fonctionnement thyroïdien.

### I. Hibernation

#### I.1. Etude de la variation de la température corporelle durant la période d'hibernation

##### I.1.1. cadre expérimental du suivi de la température corporelle (Tc)

Le suivi des variations saisonnières de la température corporelle (Tc) chez le Hérisson d'Algérie a été effectué au cours des différentes saisons de l'année (Automne, Hiver et Printemps) à l'aide d'enregistreurs de température ("temperature loggers-i Button"). Au cours de cette expérimentation 07 animaux adultes de sexe femelle sont implantées.

**Tableau 2 : Etude des variations de la température corporelle (Tc) chez 07 Hérissons d'Algérie femelles adultes.**

	Sexe /Age	Début d'expérimentation	Fin d'expérimentation
A01	Fad	24/10/2013	15/02/2014
A07	Fad	03/11/2013	24/02/2014
A09	Fad	21/12/2013	30/03/2013
A10	Fad	18/12/2013	12/03/2014
A11	Fad	18/12/2013	21/05/2014
A13	Fad	18/12/2013	08/05/2014
A14	Fad	24/12/2014	19/02/2014

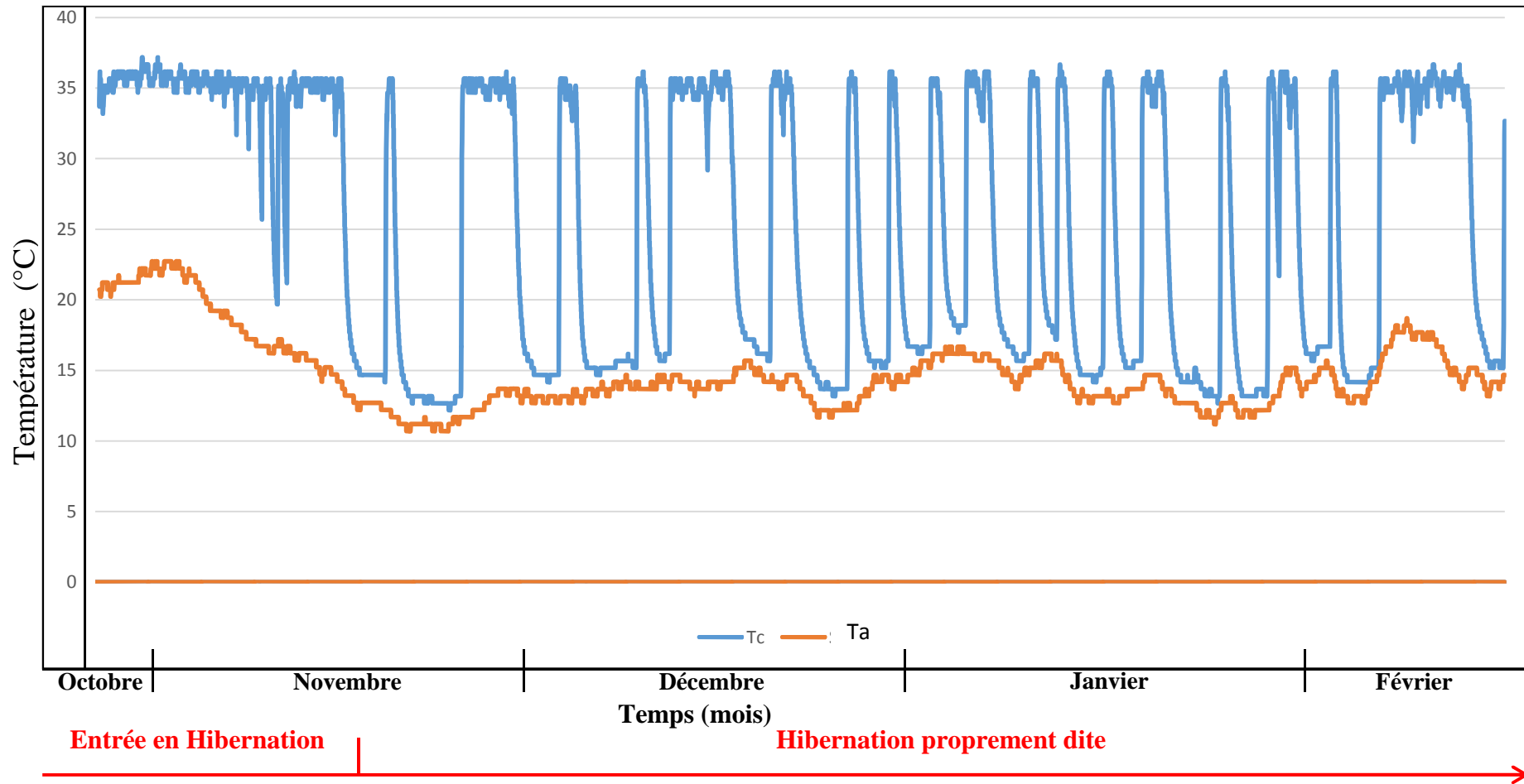
Fad : femelle adulte.

Chez les 7 Hérissons expérimentés, les variations de la Tc ont été déterminées pendant des durées variables d'un animal à l'autre (Tab. 2).

- De la fin du mois d'octobre jusqu'à la fin de février pour l'animal A1.
- De début de novembre jusqu'à la fin du mois de février pour l'animal A7.
- A partir de décembre jusqu'au mois de mars pour les animaux : A9 et A10.
- De décembre jusqu'au mois de mai pour les animaux A11 et A13.
- De décembre jusqu'au mois de février pour l'animal A14.

Les expérimentations ont été réalisées à l'animalerie de l'université de Béjaia, en environnement semi naturel (salle ouverte). Les animaux sont soumis aux variations saisonnières naturelles de la lumière, de la température ambiante, de l'humidité et, ils ont à leur disposition de la nourriture et de l'eau *ad libitum*.

Parmi l'ensemble des animaux implantés, les hérissons A1 et A11 représentent de bons modèles pour un long suivi des variations de la température corporelle ( $T_c$ ) en relation avec la température ambiante ( $T_a$ ) durant différentes périodes de l'année (de l'automne jusqu'au printemps) (Fig. 12,13).



**Figure 12: Variation simultanée de la température corporelle [ $T_c$  (°C)] du Hérisson d’Algérie (A1) en relation avec la température ambiante [ $T_a$ (°C)] d’octobre à février, 2014.**

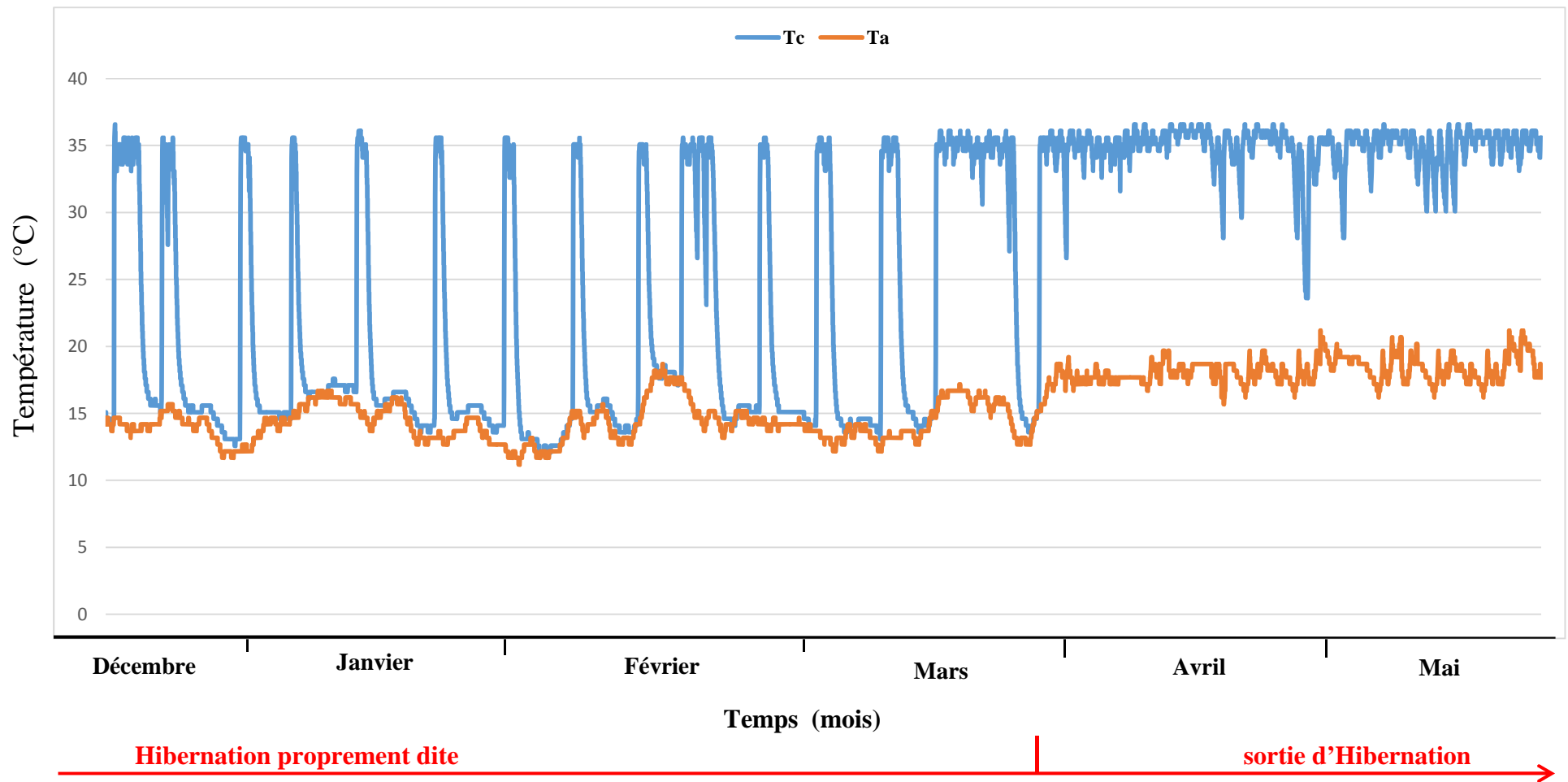


Figure 13 : Variation simultanée de la température corporelle ( $T_c$ ) du Hérisson d'Algérie (A11) en relation avec la température ambiante moyenne ( $T_a$ ) de décembre jusqu'à mai, 2014.

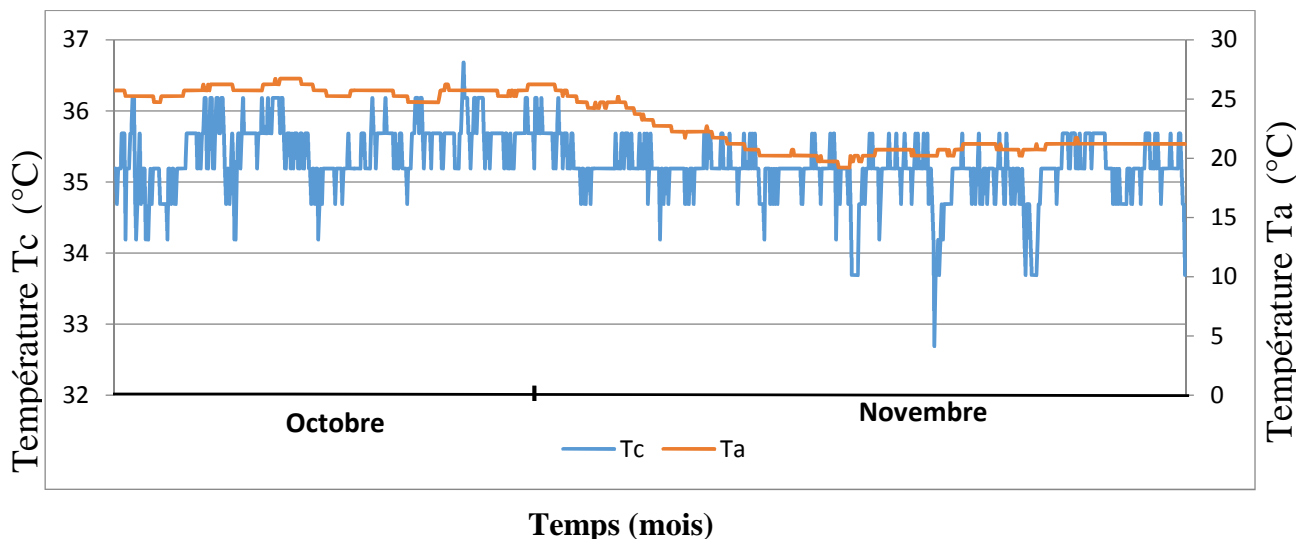
### I.1.2. Données globales des différentes phases d'hibernation

Le traitement global des résultats obtenus sur les variations de la Tc en relation avec la Ta du Hérisson d'Algérie femelle d'octobre jusqu'au mois de mai nous montre, la succession de trois périodes différentes : l'entrée en hibernation, l'hibernation proprement dite et la sortie d'hibernation (Fig. 12, 13) :

#### a. L'entrée en l'hibernation

Cette période est bien notée chez deux animaux, A1 et A7 entre les mois d'octobre et novembre. Elle est définie par une mise en place de la diminution de la Tc et l'apparition des hypothermies journalières qui varient d'un animal à l'autre (06 hypothermies chez le hérisson A1 et 05 hypothermies chez le hérisson A7). Ces hypothermies sont d'une durée moyenne de  $6,78 \pm 0,44$  h (Tab. 3).

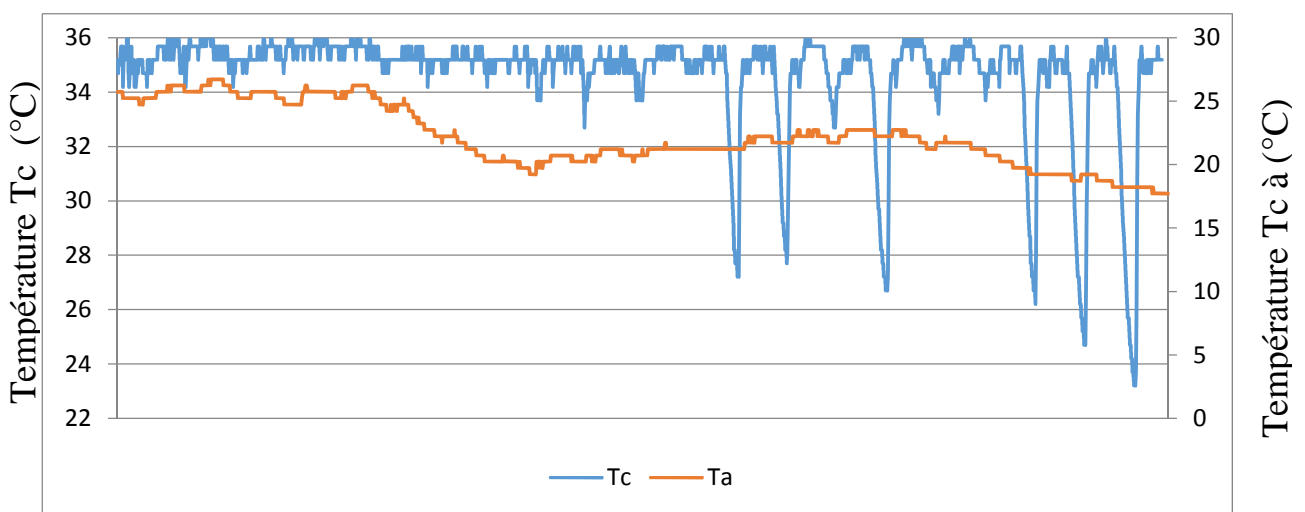
Avant l'entrée en hibernation, au cours du mois d'octobre, la Tc des hérissons est relativement stable (niveau moyen =  $35,68 \pm 0,45^\circ\text{C}$ ) mais présente des variations cycliques nettes au cours de nyctémère (Fig. 14). En effet, pendant la phase éclairée, la Tc moyenne est égale à  $35,18 \pm 0,42^\circ\text{C}$  (avec un minimum de  $34,18^\circ\text{C}$ ) tandis qu'au cours de la nuit, elle est de  $36,18 \pm 0,06^\circ\text{C}$  (avec un maximum de  $37,18^\circ\text{C}$ ). Les valeurs inférieures de la Tc au cours du jour correspondent à la phase de repos diurne du Hérisson, alors que les valeurs plus élevées au cours de la nuit sont liées à l'activité générale nocturne décrite chez cet animal.



**Figure 14: Variation nyctémérale de la température corporelle (Tc) [°C] chez le Hérisson d'Algérie femelle adulte en relation avec la température ambiante (Ta) [°C] en phase de l'entrée en Hibernation.**

Au cours de l'automne (octobre, novembre), une modification du cycle circadien de la température corporelle  $T_c$  apparaît, et elle caractérise l'entrée en hibernation (Fig. 14). Des chutes de la  $T_c$  sont observées au cours de nycthémère, irrégulièrement au cours du temps et sans synchronisme entre les spécimens. Ces hypothermies sont de faible amplitude et de courte durée (<12h), il s'agit des torpeurs journalières (Fig. 15). Le début de l'abaissement de la  $T_c$  est enregistré à la fin de la nuit ou au début de jour. Au cours de cette partie de l'hibernation, la  $T_c$  s'abaisse de manière progressive chez les individus, mais les  $T_c$  minimales observées pendant les hypothermies varient entre 30°C et 19°C, la  $T_c$  moyenne étant de  $25,43 \pm 0,50^\circ\text{C}$ . (Fig. 15)

Pendant l'entrée en hibernation, la durée des hypothermies augmente et ceci définit alors les phases de torpeur. Les durées de ces phases varient selon les animaux, elles sont alternées avec des phases d'euthermie généralement longues (durée >24h). Cette perte de cyclicité de la  $T_c$  est très variable d'un individu à l'autre malgré les conditions extérieures identiques. Au même moment, les animaux peuvent être soit hypothermique ou soit euthermiques.



**Figure 15 : Caractéristique de la variation de la température corporelle  $T_c$  (°C) en relation avec la température ambiante  $T_a$ (C°) en période d'entrée en hibernation chez le Hérisson d'Algérie femelle (A1).**

### b. L'hibernation proprement dite

L'hibernation proprement dite se déroule généralement de décembre à mi-mars. Cette période correspond à l'alternance marquée des phases de torpeur et de réveil. La phase de torpeur est caractérisée par l'abaissement et le maintien de la température corporelle ( $T_c$ ) à un niveau voisin de la température ambiante ( $T_a$ ). La phase de réveil correspond au réchauffement de l'animal et à son retour à la l'euthermie. Chez les 07 animaux mis en expérimentation, nous avons marqué 21 hypothermies d'une durée moyenne de  $100,8 \pm 0,88h$  (Tab. 3).

### c. La sortie de l'hibernation (mars- mai)

Elle est aractérisée par une reprise de la vie active des Hérissons. Chez les deux animaux concerner par la sortie d'hibernation, la transition vers la vie active se fait par de nombreuses torpeurs journaliers similaires à celles observées en automne (16 hypothermies d'une durée moyenne de  $14,60 \pm 0,60h$ ), cette transition est en général rapide, caractérisée par une diminution progressive de la durée des torpeurs et/ou, par un allongement de la durée des phases de réveil (Tab. 3).

**Tableau 3 : Données globales des différentes phases d'hibernation**

	<b>Entrée en Hibernation</b>	<b>Hibernation proprement dite</b>	<b>Sortie d'hibernation</b>
<b>Nombre d'animaux</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
<b>Nombre de torpeur</b>	<b>5,5</b>	<b>21</b>	<b>16</b>
<b>Durée moyenne des torpeurs (h)</b>	<b><math>6,78 \pm 0,44</math></b>	<b><math>100,8 \pm 0,88</math></b>	<b><math>14,60 \pm 0,60</math></b>

### I.1.3. Les caractéristiques de l'hibernation

L'analyse à posteriori des enregistrements nous a permis de décrire et de caractériser les variations de la  $T_c$  au cours de temps, et principalement, en relation avec la variation de la température ambiante ( $T_a$ ) (Tab.4).

**Tableau 4: Caractéristiques des variations de la température corporelle chez 07 femelles adultes du Hérisson d'Algérie élevée en salle du mois de novembre jusqu'à le mois de mars. Présentation des données en nombre (n) ou en pourcentage (%) des valeurs totales et des durées en heures (h).**

		SaA1	SaA7	SaA9	SaA10	SaA11	SaA13	SaA14	Total	%
Début des torpeurs	18:00-24:00	11	4	8	2	4	8	0	37	19,58
	00:00-08:00	17	13	19	15	23	38	9	134	70,90
	08:00-12:00	0	4	0	2	0	3	1	10	5,29
	12:00-18:00	1	1	0	2	1	2	2	9	4,76
Début des réchauffements	18:00-24:00	2	1	0	3	2	3	1	12	6,35
	00:00-08:00	13	2	3	2	4	4	2	30	15,87
	08:00-12:00	12	10	17	4	7	18	3	71	37,57
	12:00-18:00	2	9	7	12	14	26	6	76	40,21
Début des euthermites	18:00-24:00	1	3	1	3	5	6	3	22	11,64
	00:00-08:00	12	2	3	3	4	3	1	28	14,81
	08:00-12:00	13	6	9	2	7	12	3	52	27,51
	12:00-18:00	3	11	14	13	11	30	5	87	46,03
Durées des torpeurs (h)	< 12h	9	2	10	2	12	18	3	56	29,6
	12-24h	0	1	2	0	1	10	0	14	7,4
	24-48h	2	2	0	2	0	6	2	14	7,4
	48-72h	5	6	3	8	2	6	2	32	16,9
	72-96h	7	7	6	4	1	7	2	34	18,0
	96-120h	2	3	4	2	2	1	2	16	8,5
	> 120h	4	1	2	3	9	3	1	23	12,2



Durées des réchauffements (h)	00-01h	8	4	8	2	11	9	3	45	23,8
	01-02h	5	16	18	18	15	30	6	108	57,1
	02-03h	16	2	1	1	1	12	3	36	19,0
Durées des Euthermies (h)	00-12h	2	1	5	11	4	16	3	42	22,2
	12-24h	20	12	12	8	12	20	3	87	46,0
	24-48h	3	5	6	2	5	9	3	33	17,5
	48-96h	4	0	4	0	2	6	2	18	9,5
	>96h	0	4	0	0	4	0	1	9	4,8
<b>Nombre (n)</b>		<b>29</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>21</b>	<b>27</b>	<b>51</b>	<b>12</b>	<b>189</b>	

<b>Durées moyenne (h)</b>										moyenne
des torpeurs	71,98	60,75	67,52	67,00	79,05	80,72	33,02			<b>65,72±16,02</b>
des réchauffements	2,26	1,14	1,50	1,22	1,56	0,82	1,39			<b>1.39±0.45</b>
des euthermies	29,30	36,89	28,60	12,02	63,23	49,17	26,84			<b>35,15±16.67</b>

<b>Bilan énergétique%</b>									
Economie	68,85	60,86	68,69	83,23	54,68	59,77	57,48	64,79	
Dépense	31,15	39,14	31	16,72	45,32	40,42	42,5	35,18	

<b>vitesse moyenne (°C/h-1)</b>									
des refroidissements	1,11	1,91	1,65	1,01	1,59	1,59	1,13		<b>1.43±0.34</b>
des réchauffements	9,15	12,11	13,68	11,98	10,89	11,34	13,88		<b>11.86±0.47</b>

Tc minimales	<b>11,676</b>	<b>12,167</b>	<b>12,582</b>	<b>12,131</b>	<b>12,081</b>	<b>13,079</b>	<b>12,11</b>		12,26
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	--------------	--	-------

### I.1.3.1. Les torpeurs

Pendant la phase de torpeur, on distingue deux parties :

#### a-Le refroidissement

phase pendant laquelle la  $T_c$  de l'animal chute au dessous de  $33^\circ\text{C}$  jusqu'à un point stable proche de la  $T_a$ . Nous avons choisi arbitrairement la  $T_c$  de  $33^\circ\text{C}$  comme la limite entre l'eutherme et le refroidissement. Cette phase correspond au début de la phase de torpeur, elle est marquée par une diminution lente (vitesse moyenne de refroidissement :  $1,43 \pm 0,34^\circ\text{C}$ ) et progressive de la  $T_c$  en dessous de son niveau normal et régulé ou eutherme ( Tab.4), et il n'apparaît pas de grande différence entre les animaux, du début à la fin de l'hibernation.

#### b-L'hypothermie ou hibernation profonde

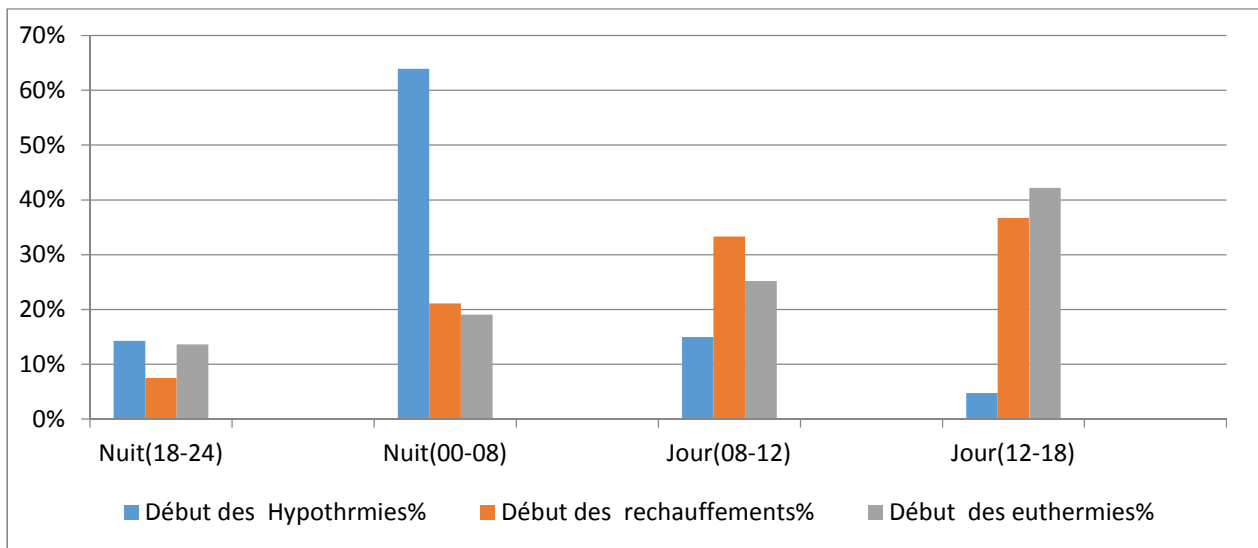
Caractérisée par une  $T_c$  basse, voisine de la  $T_a$ , elle débute lorsque la décroissance de la  $T_c$  est stabilisée.

Les phases de torpeur sont caractérisées par un abaissement (lent et progressif) de forte amplitude de la  $T_c$ , puis son maintien à un niveau proche de la température ambiante ( $T_a$ ), un allongement de la durée à basse température (hypothermie profonde de plusieurs jours) et un réchauffement rapide (réveil spontané sans variation des conditions environnementales) qui précède le retour à l'eutherme.

Pendant la phase d'hibernation profonde, les durées des phases de torpeur augmentent ( 3 à 9 jours) et montrent de grandes amplitudes ( $T_{c_{\min}}$   $11-13^\circ\text{C}$  proches des  $T_{a_{\min}}$ ), (Fig. 12. 13). Les durées les plus longues sont de 5 à 9 jours, elles sont observées en janvier ou février. Une valeur maximale de 09 jours est notée chez le hérisson A09 entre fin de janvier et début de février. Ces torpeurs sont marquées avec les plus basses  $T_c$  ( $11,67^\circ\text{C}$ ) et en relation directe avec l'abaissement des niveaux moyens de la  $T_a$  ( $T_{a_{\min}}$   $10,67^\circ\text{C}$ ).

La  $T_c$  suit les variations de la température ambiante, les phases d'eutherme sont en générale de courte durée et elle diminuent progressivement au début de l'hibernation, pour être minimales (3-6h) à la fin de décembre-début de janvier.

Les phases de torpeur commencent le plus souvent durant la deuxième partie de la nuit (70,80% des entrées entre 00:00 et 08:00) tandis que la fin ( ou début des eutherms) se produit pendant la deuxième partie de journée (46,03% des retours à l'eutherme entre 12:00 et 18:00h) (Tab. 4, Fig. 17). Il est à noter que la fréquence d'entrées en torpeur, en deuxième partie de la nuit, est plus élevée chez l'animal A13 (n=38) (Tab. 4), les fins de torpeur (ou retour à l'eutherme), en deuxième partie du jour sont plus fréquentes chez l'animal A13 (n=30).



**Figure 16: Etude chez le Hérisson d'Algérie de la position au cours du nyctémère du début : a) des entrées en torpeur, b) des réveils, c) des euthermies .**

La durée moyenne des phases de torpeur varie d'un individu à l'autre, elle est d'ordre de  $65,72 \pm 16,02$ h. La durée maximale moyenne des torpeurs ( $80,72 \pm 2,51$ h) est enregistrée chez l'animal A13 et la durée minimale moyenne des torpeurs ( $33,02 \pm 1,63$  h) est enregistrée chez l'animal A14 (Tab. 4).

### I.1.3.2. Les réveils

On distingue deux parties : la phase de réchauffement et la phase d'euthermie.

**a. La phase de réchauffement** (ou réveil périodique spontané) pendant laquelle l'animal augmente sa température corporelle spontanément et rapidement jusqu'au retour à l'euthermie ( $T_c 33^\circ\text{C}$ ).

Le réchauffement, au cours des réveils spontanés, chez les animaux non perturbés, représente une phase rapide. Sa vitesse est de  $11,86 \pm 0,47^\circ\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ , soit 8 fois plus rapide que la vitesse de refroidissement. Il n'apparaît pas de différence considérable de la vitesse de réchauffement entre les individus.

Pendant l'hibernation, le début des réchauffements s'effectue le plus souvent durant la fin de journée (12:00 à 18:00h) (40,21%). Il est à noter une forte tendance à un réveil en fin de la nuit avec un pourcentage de 34,21% ( $n=13$ ) chez l'animal A1 (Tab. 4).

Les réchauffements les plus fréquemment observés, ont une durée qui varie entre 1 et 2 heures (57,1%) (Tab. 4). La durée moyenne des réchauffements est donc courte et relativement

constante de  $1.39 \pm 0.45$ h (Tab. 4), sans une grande différence entre les individus. La durée des réchauffements est en fonction de l'amplitude de la température ( $\Delta T$ ) entre les niveau initial de la  $T_c$  en hypothermie profonde et en euthermie ( $T_c > 33^\circ\text{C}$ ).

#### **b. La phase d'euthermie ( ou normothermie)**

La phase d'euthermie caractérise la vie active de l'animal avec une température corporelle élevée et régulée ( $T_c > 33^\circ\text{C}$ ).

Les phases d'euthermie commencent le plus souvent en fin de journée (12:00 à 18:00h) (46,03%) mais, on a observé un début d'euthermie en deuxième partie de la nuit (00:00-08:00h) chez l'animal A1 avec un pourcentage de 42,85% ( $n=12$ ) (Tab. 4).

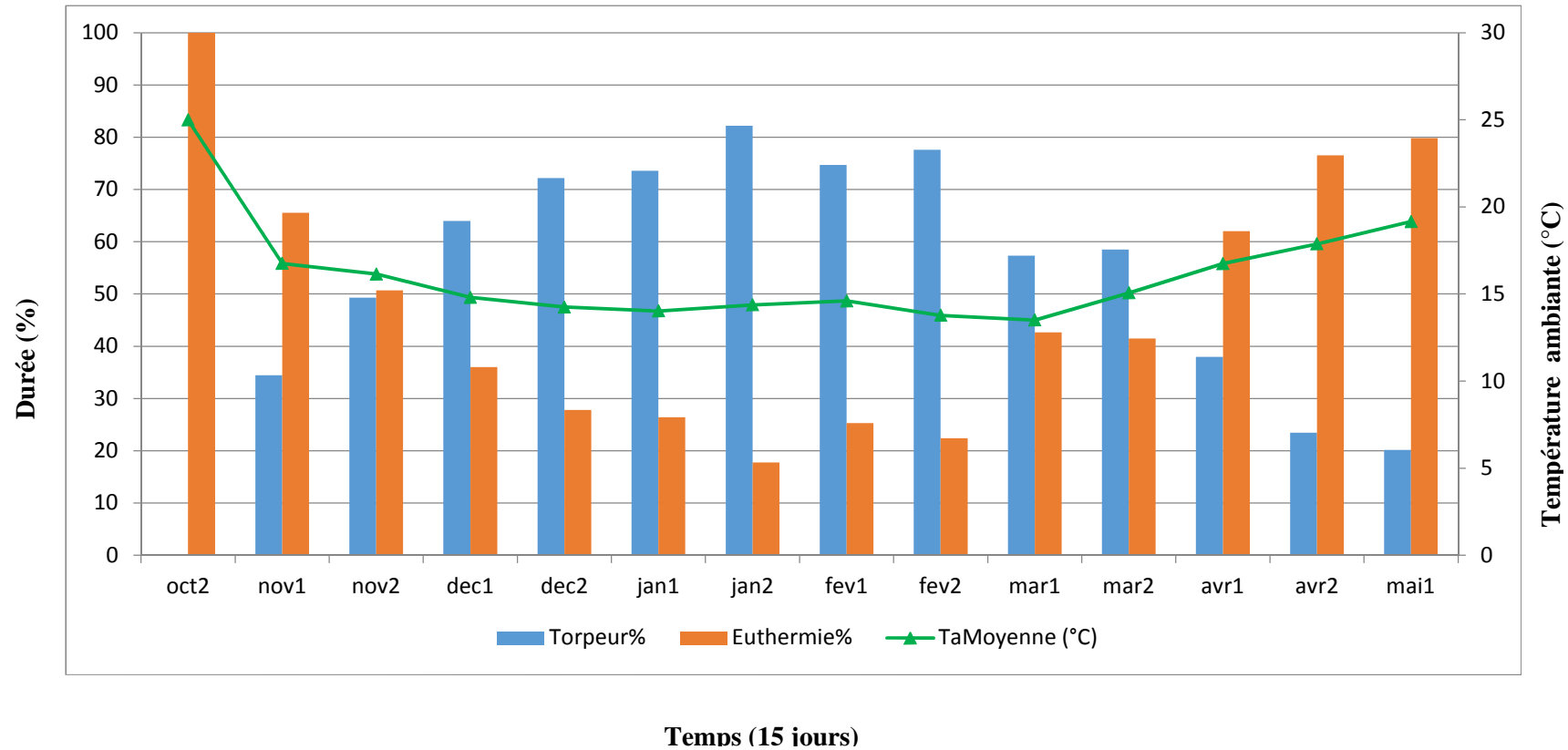
La durée moyenne des phases d'euthermie est de  $35,15 \pm 16,67$ h, elle varie au cours de l'hibernation (6heures à 3-4 jours), avec différence entre les individus. On note la durée maximale d'euthermie chez le Hérisson A11 ( $63,23 \pm 1,18$ h). La durée minimal des eutherxies est enregistrée chez le hérisson A10 ( $12,02 \pm 0,3$ h) (Tab. 4).

Les eutherxies ayant les durées les plus courtes sont observées entre décembre et février (A1 :7h [30/01/2014] ; A10 :6,5h [24/12/2013] ; A13 : 6,58h [20/02/2014] ; A14 :9,91h [13/02/2014]) en relation avec des  $T_a$  basses (Fig.12, 13).

#### **I.1.3.3. Fréquences de torpeur et d'euthermie par période de 15 jours**

L'évolution du pourcentage des réveils par période de 15 jours chez le Hérisson d'Algérie montre clairement que, durant la fin du mois d'octobre, les réveils représentent 100% du temps, ils décroissent progressivement pour atteindre des valeurs minimales en fin de janvier (18%). Pendant l'hiver, le pourcentage de reveil augmente progressivement à partir de la fin janvier, tandis qu'il reste bas jusqu'à la fin de février (22%) et augmente rapidement au mois de mars pour atteindre un un maximum au mois de mai (80%).

Si nous considérons le pourcentage de torpeur par période de 15 jours, nous observons une augmentation régulière à partir de novembre (34%) jusqu'à des valeurs maximales en fin de janvier (82%). Pendant le mois du février le pourcentage de torpeur reste maximum, il commence à décroître vers la fin du mois. A la fin d'avril et début mai le taux de torpeur est très réduit (20%), il correspond au torpeurs journalières notées en dehors de la période d'hibernation.



**Figure 17: Étude des durées relatives (% par période de 15 jours) en torpeur et en euthermie chez le hérisson d’Algérie femelle d’octobre jusqu’au mai, en relation avec la températures ambiante moyenne .**

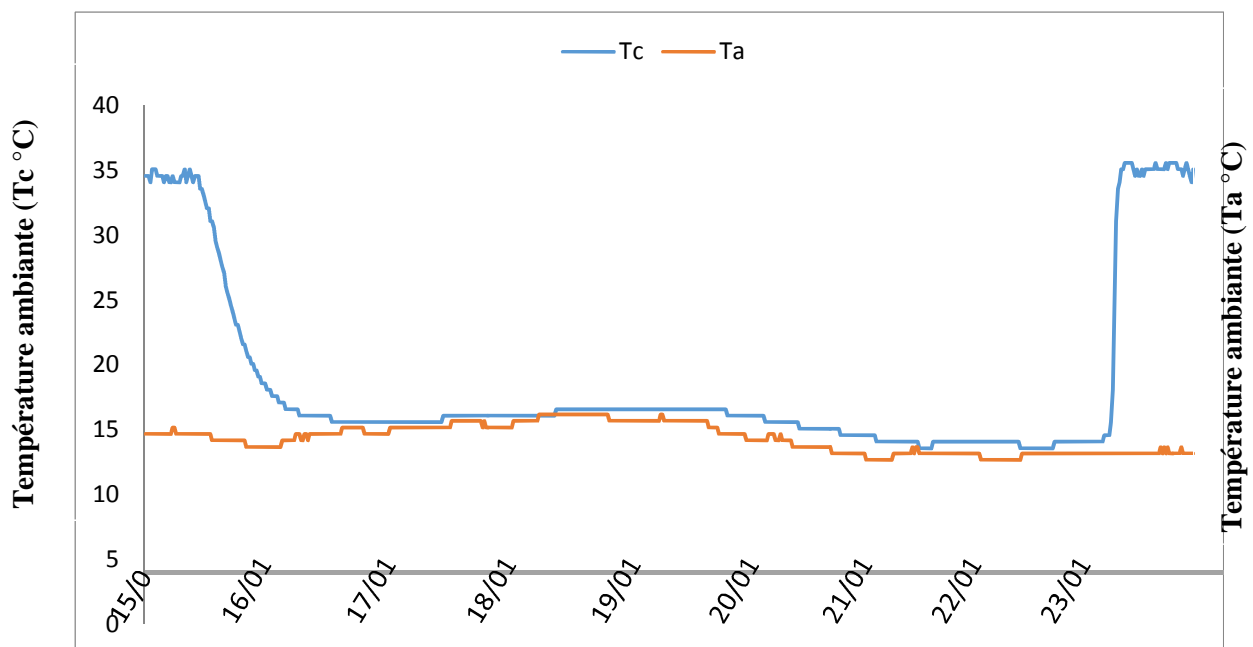
### I.1.3.4. Relation entre les évolutions de la température ambiante (Ta) et la température corporelle (Tc).

A partir de mois de décembre jusqu'au mois de mars, les températures ambiantes (Ta) sont basses, entraînant des diminutions de la température corporelle, qui favorisent des torpeurs de longues durées avec une forte amplitude.

Des euther mies importantes sont observées lors de l'élévation de la Ta. Chez l'animal A14 au mois de janvier, la diminution de la température ambiante de 25,58°C à 12,67 °C entraîne la chute de Tc de 34,58°C à 14,08°C, proche de la Ta. Cette diminution de la Tc engendre une torpeur importante d'une durée de 09 jours qui s'étale de 15/01 au 23/01/2014 (Fig. 18).

La diminution de la Tc en relation avec la Ta est observée chez tous les animaux à des dates différentes, avec des durées de torpeurs et des amplitudes variables.

A partir du mois de mars, une augmentation de la Ta de 13,17°C à 16,18°C entraînant une augmentation de Tc de 14,68°C à 34,59°C favorisant ainsi une euther mie de longue durée (08 jours) qui s'étale de 18/03/2014 jusqu'à le 25/03/2014.



**Figure 18 : Evolution de la température ambiante (Ta) et de la température corporelle (Tc) du Hérisson pendant une phase de torpeur et son retour à l'euther mie.**

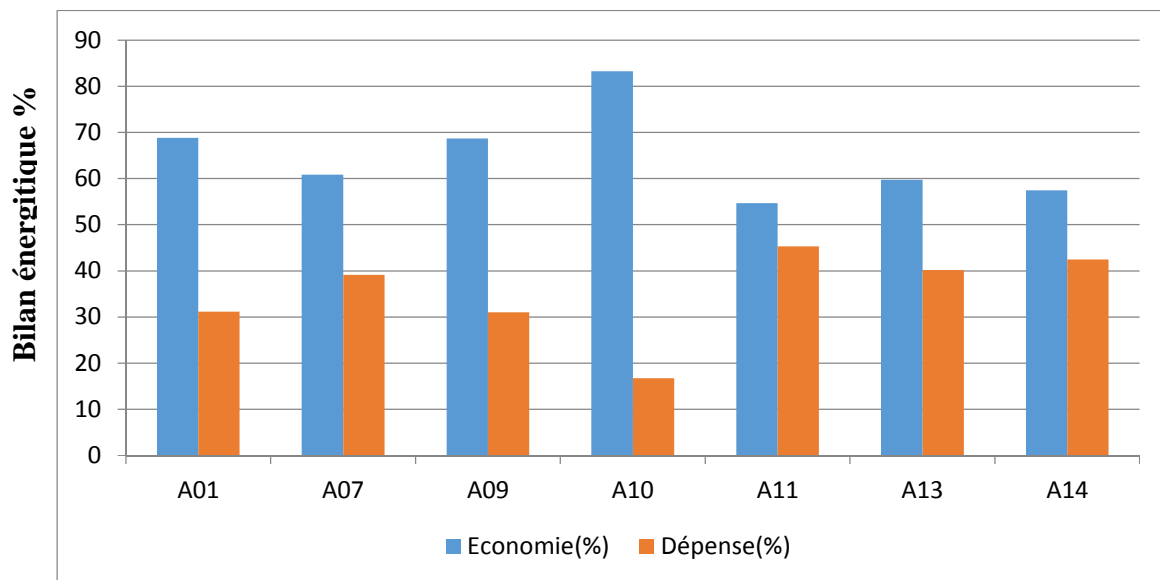
### 5) Le bilan énergétique des animaux

Pour établir le bilan énergétique au cours de l'hibernation, plusieurs paramètres sont à mesurer tels que les durées d'hypothermies, de réchauffements et d'euthermies, l'économie et la dépense d'énergie. Ces paramètres sont traités grâce au logiciel : Excel. Nous avons définie : la période, hypothermie + refroidissement comme étant une période d'économie, et la période de réchauffement + euthermie comme étant une période de dépense.

L'analyse globale des résultats obtenus chez les animaux pendant la période d'expérimentation, indique que les périodes d'économie moyenne (64,79%) sont supérieures aux périodes de dépenses (35,19%). On remarque une grande variabilité de gestion énergétique entre les animaux, la période la plus longue d'économie d'énergie est enregistrée chez l'animal A10 (83,23%) (Tab.5, Fig.19).

**Tableau 5: Pourcentage de dépense et d'économie d'énergie du Hérisson d'Algérie femelles pendant l'hibernation.**

Animaux	A01	A07	A09	A10	A11	A13	A14
Economie(%)	68,85	60,86	68,69	83,23	54,68	59,77	57,48
Dépense(%)	31,15	39,14	31	16,73	45,32	40,2	42,5

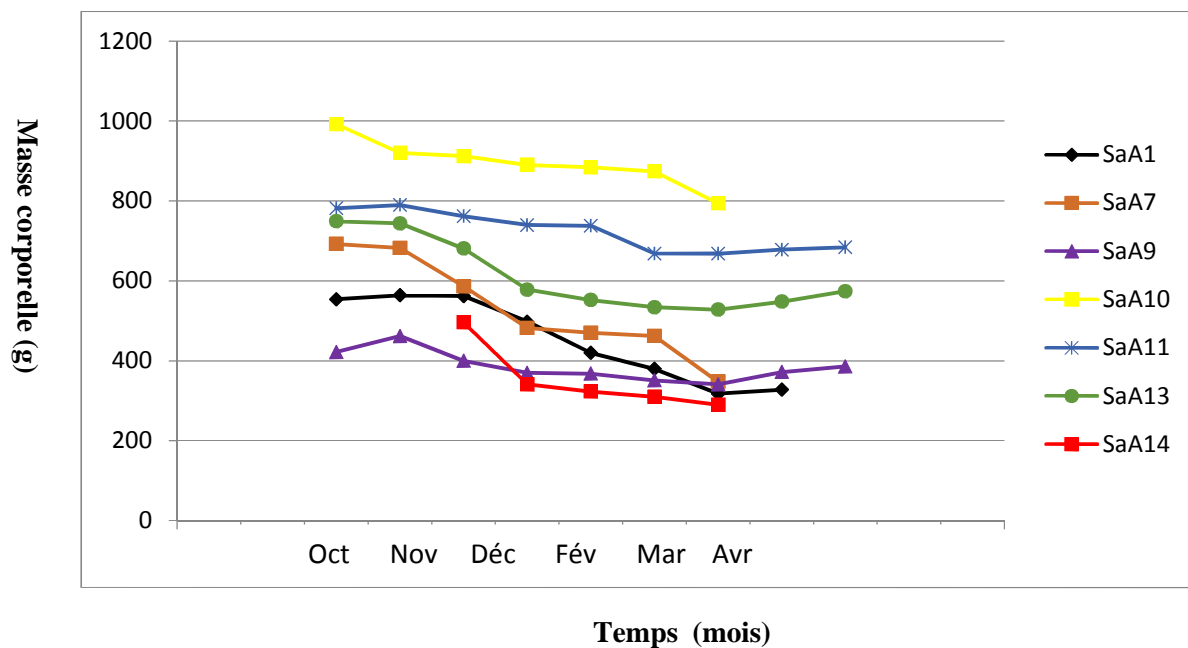


**Figure 19 : Variation mensuelle du bilan énergétique en pourcentage (économie-dépense) au cours de la période d'expérimentation chez le Hérisson d'Algérie femelle adulte.**

## I.2.Variation de la masse corporelle

Chez les hibernants, la masse corporelle présente un cycle annuel et elle peut être utilisée comme indicateur de l'état des réserves énergétiques disponible des animaux. Après la mise en place des animaux implantés, nous avons effectué des pesées irrégulières pendant des phases d'euthermie (Fig. 20). Les variations de la masse corporelle chez les hérissons ont été mesurées d'octobre à mai, chez sept hérissons femelles.

Le suivi de la masse corporelle des animaux montre que, malgré une forte variabilité de la masse corporelle initiale, le niveau moyen de masse corporelle se maintient élevé chez les animaux A1, A9 et A11 au cours des premiers mois de l'expérimentation (fin octobre, mi novembre) ou légèrement faible chez le reste des animaux. A partir du décembre une diminution générale de la masse corporelle s'amorce chez tous les animaux. La masse corporelle décroît régulièrement en février, elle atteint un niveau minimal en mars. Dès le mois d'avril, la masse corporelle augmente (début d'engraissement) avec une forte variabilité entre les individus



**Figure 20 : Variations mensuelles de la masse corporelle chez les sept Hérissons d'Algérie au cours de l'hibernation.**



### 1.3. La prise alimentaire

Au cours de l'étude des variations de la Tc pendant la période hivernale, nous avons suivi la prise alimentaire des animaux. Les Hérissons reçoivent chaque jour une ration alimentaire journalière similaire.

L'examen journalier de ce paramètre alimentaire, montre que durant la période expérimentale, les animaux peuvent rester sans s'alimenter pendant plusieurs jours. Cette variation dépendra des durées et de l'amplitude des torpeurs. Durant les torpeurs les plus importantes (torpeur de 9 jours [15/01 au 23/01]), l'animal ne s'est pas alimenté pendant 11 jours.

## II. Fonctionnement thyroïdien

La glande thyroïde, grâce aux hormones qu'elle secrète, constitue un régulateur essentiel du métabolisme général de l'organisme. Elle occupe donc, comme nous l'avons souligné antérieurement, une place primordiale dans la régulation du phénomène de l'hibernation.

Afin d'aborder l'étude du fonctionnement thyroïdien chez le Hérisson d'Algérie, durant l'hibernation et la vie active, nous avons tenté pour la première fois d'analyser les divers aspects biologiques de la thyroïde. A travers cette approche préliminaire sur la physiologie de la thyroïde, il nous est paru évident en premier lieu de faire une description anatomique générale de cette glande (la topographie, l'emplacement et la forme). En suite, nous avons procédé à la mensuration du poids. Enfin, pour évaluer l'activité thyroïdienne, nous avons associé des notes sur la structure histologique de la thyroïde (mesure du diamètre et de la superficie des follicules thyroïdiens, état de la colloïde, vacuoles de résorption, thyrocytes), avec un dosage hormonal de la thyroxine (T4).

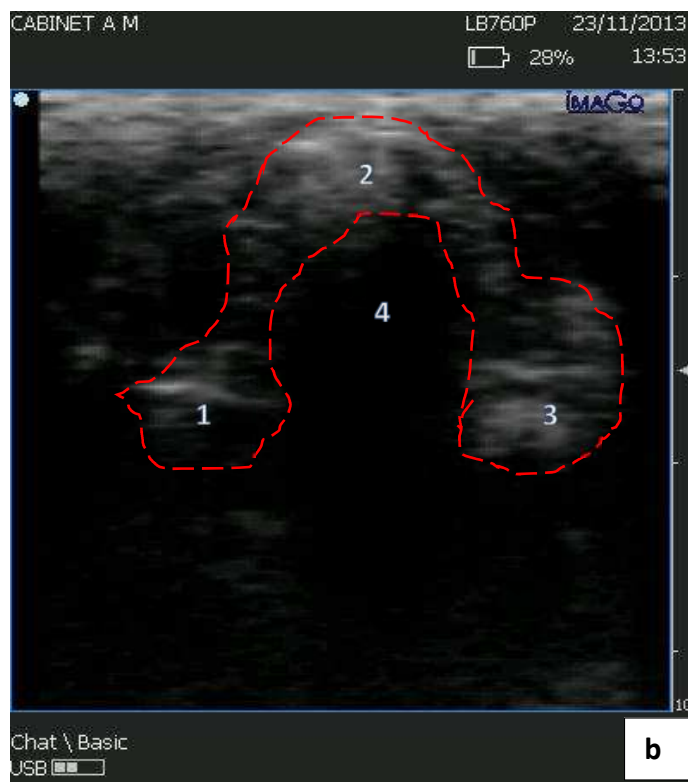
### II.1. Localisation de la thyroïde par échographie

De par son emplacement, la glande thyroïde et ses abords (composés des glandes parathyroïdes, des glandes salivaires et des chaînes lymphatiques ganglionnaires) constituent un organe d'accès difficile à l'échographie. Son emplacement impose l'utilisation d'une sonde de haute fréquence mettant en évidence, avec une excellente sensibilité, les changements morphologiques de cette région. L'intérêt de l'utilisation de cet examen d'imagerie médicale nous donne ou préalable des informations générales sur l'anatomie de la thyroïde à savoir, sa localisation et son volume. La glande thyroïde est d'une texture fine et homogène avec des bords lisses et bien délimités (ventro-latérale). La trachée est localisée en position médiane

par apport à la glande, avec une interface échogène au niveau des cartilages, postérieurement elle présente une ombre acoustique due à la présence d'air (Fig. 21).



1 : Lobe droit -2 : La trachée -3 : Lobe gauche.



1 : Lobe droit -2 : Isthme -3 : Lobe gauche -4 : La trachée .

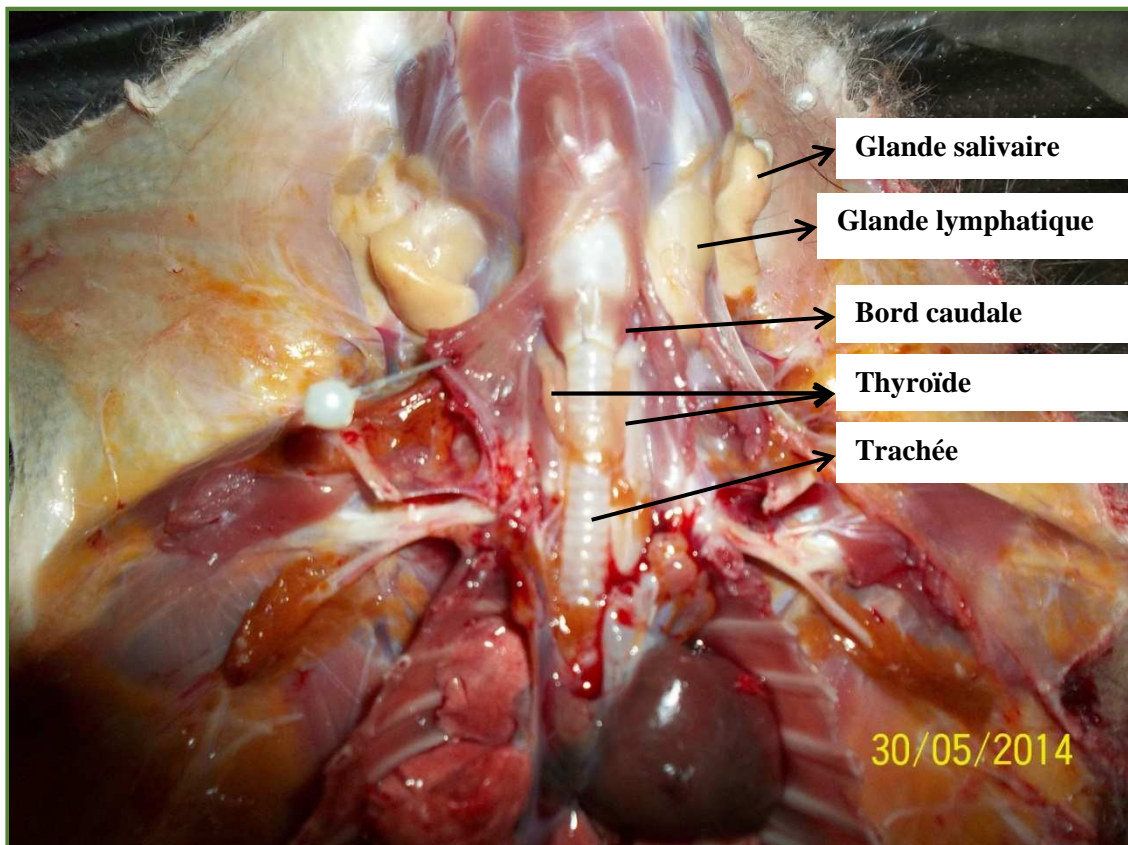
**Figure 21 : Ecographie thyroïdienne chez le Hérisson d'Algérie  
(a : vue longitudinale; b : vue transversale).**

## II.2. Description anatomique de la thyroïde

La thyroïde du Hérisson d'Algérie est une glande bilobée délimitée par une capsule fibreuse. Les deux lobes se positionnent verticalement, de part et d'autre sur la trachée. Ils s'étendent depuis le bord caudal du larynx jusqu'au 3ème-5ème anneau trachéal, et ils sont reliés ou non par un isthme horizontal selon les individus (Fig. 22).

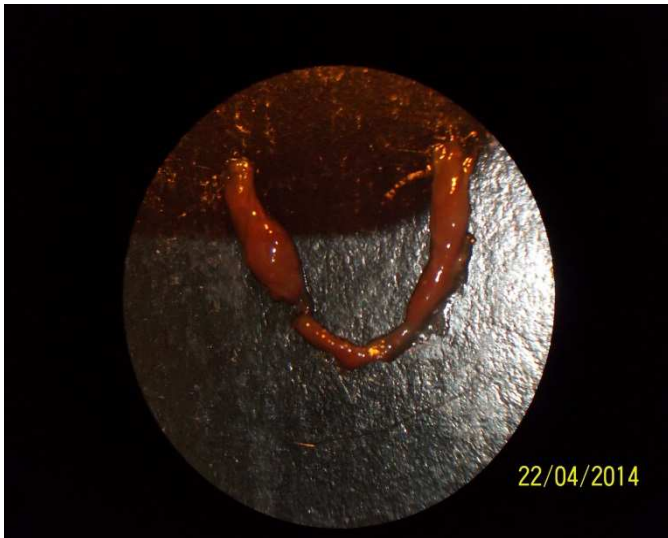
La thyroïde est de couleur rose brunâtre claire, elle est en rapport étroit avec les glandes parathyroïdes. Les parathyroïdes externes se trouvent à proximité du pôle crânial dorsolatéral de chaque lobe. Elles sont parfois distinctes et parfois enchâssées dans le parenchyme thyroïdien.

A l'examen plus rapproché, la glande thyroïde du Hérisson ne possède pas un aspect lobulé assez visible à l'œil nu, des travées conjonctives divisent chaque lobe thyroïdien en plusieurs lobules de tailles variables. La couleur de la capsule est blanche à reflet transparent.



**Figure 22: Localisation de la thyroïde du Hérisson d'Algérie dans la région cervicale. (Originale, 2014).**

Les lobes thyroïdiens sous une loupe binoculaire, dévoilent deux formes différentes. En effet, nous déterminons une forme allongée en cigare et une forme ovale. Cette dernière dégage plusieurs aspects selon les différences qui existent entre les terminaisons crâiales et caudales des deux lobes de la glande. Cependant, on distingue une forme ovale avec des extrémités crâiales, l'une arrondie et l'autre triangulaire, une forme ovale avec des extrémités crâiales triangulaire et une forme ovale avec des extrémités crâiales arrondies et caudales étroites (Fig. 23).



**Forme allongé en cigare aplatie**



**Forme ovale avec des extrémités crâiale arrondie et triangulaire.**



**Forme ovale avec des extrémités crâiale triangulaire.**



**Forme ovale avec des extrémités crâiale arrondies et caudale étroite.**

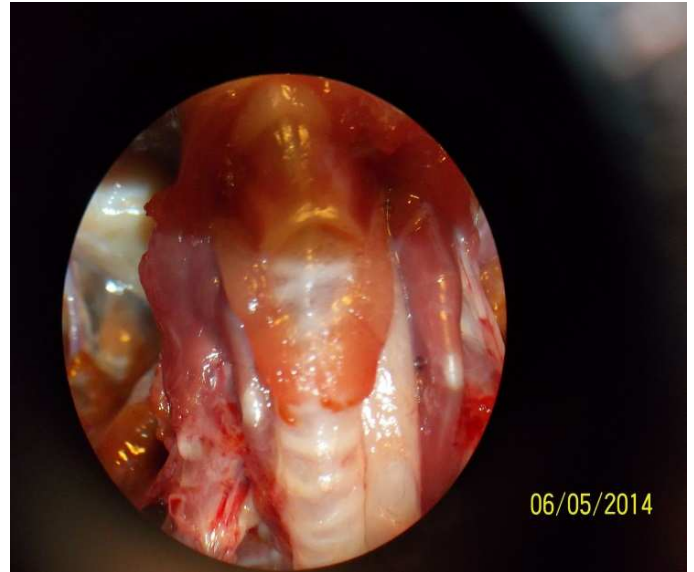
**Figure 23: Différentes formes des lobes thyroïdiens du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) (Originale, 2014).**



L'observation globale de la thyroïde révèle plusieurs formes selon la position des deux lobes par rapport à la trachée. Les lobes, droit et gauche de la glande sont réunis par un isthme (09/16 cas). L'ensemble des lobes et de l'isthme réalise trois formes représentatives : U (4 cas [44.4%]), V (3 cas [33,3%]) et H (2 cas [22.2%]). L'échantillonnage de la thyroïde chez certains animaux est marqué par l'absence de l'isthme (7/16 cas soit 43,75%) ce qui forme une position parallèle des deux lobes par rapport à la trachée (Fig. 24).



Position en forme U



Position en forme V



Position en forme H



Absence de l'isthme

**Figure 24: Différentes formes de la thyroïde du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*)(Originale, 2014).**

### II.3. Vascularisation :

Chez le Hérisson, comme chez tous les autres mammifères, la thyroïde se trouve à proximité de l'artère carotidienne commune et de la veine jugulaire interne. Elle est très richement vascularisée, l'apport sanguin est assuré par deux artères (Fig. 25):

-L'artère thyroïdienne crâniale (*Arteria thyroidea cranialis*) qui provient de l'artère carotide commune (*Acarotis communis*) et qui se divise en deux avant de pénétrer le pôle crânial des lobes thyroïdiens.

-L'artère thyroïdienne caudale (*Arteria thyroidea caudalis*), issue également de l'artère carotide commune (ou exceptionnellement de l'artère cervicale superficielle), pénètre la thyroïde a un niveau de face postérieure.

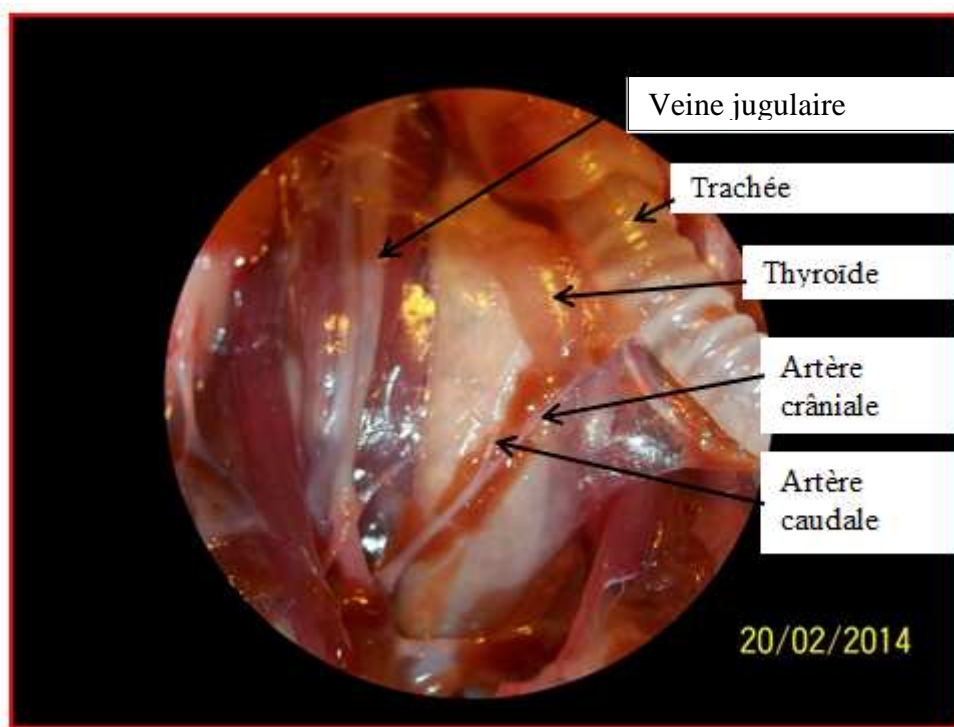


Figure 25 : Vascularisation de la thyroïde du Hérisson d'Algérie (Originale, 2014).

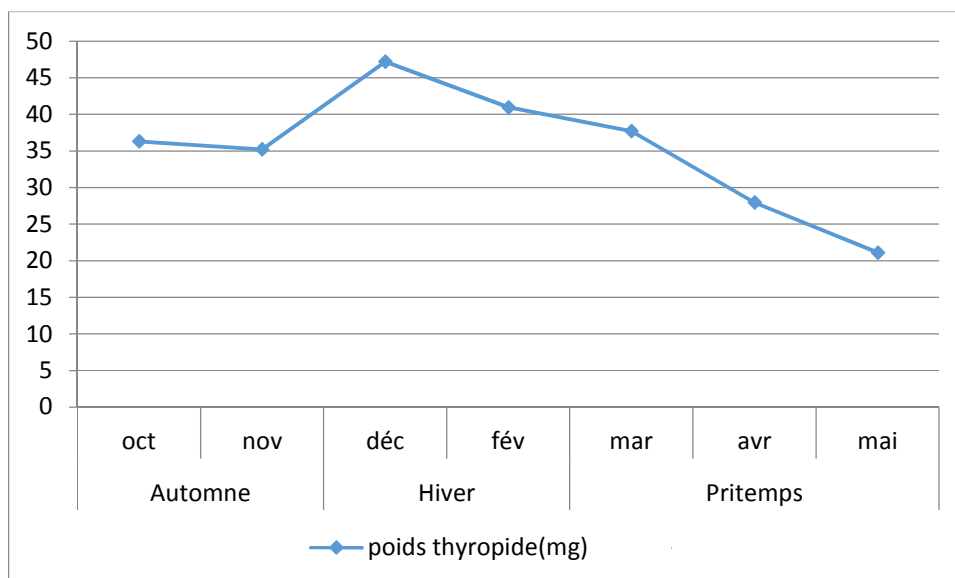
#### II.4. Variation du poids de la glande thyroïde

La pesée de la glande thyroïde est effectuée à différentes périodes de l'année chez l'ensemble des animaux échantillonnés, morts ou sacrifiés après l'expérimentation sur l'hibernation. Le poids mensuelle de la glande thyroïde peut varier d'un animale à l'autre, les mesures sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau 6 : Variation mensuelle du poids de la glande thyroïde chez le Hérisson d'Algérie.**

Saisons	Mois	poids de la thyroïde (mg)
Automne	octobre	36,30
	novembre	35,21
Hiver	décembre	47,20
	Février	40,95
Printemps	Mars	37,70
	Avril	27,95
	Mai	21,11

Le poids de la thyroïde fluctue au cours des différentes saisons de l'année. En période automnale le poids de la glande est moyen, il est de l'ordre de 35,75mg. Dès la fin de l'automne le poids commence à croître jusqu'à qu'il attient son maximum en période hivernale avec 47,20 mg au mois de décembre ; puis il commence à décroître jusqu'à qu'il attient son minimum en période printanière avec une moyenne de 21,1mg au cours du mois de mai (Fig. 26).



**Figure 26 : Variations mensuelles du poids de la glande thyroïde chez le Hérisson d'Algérie.**

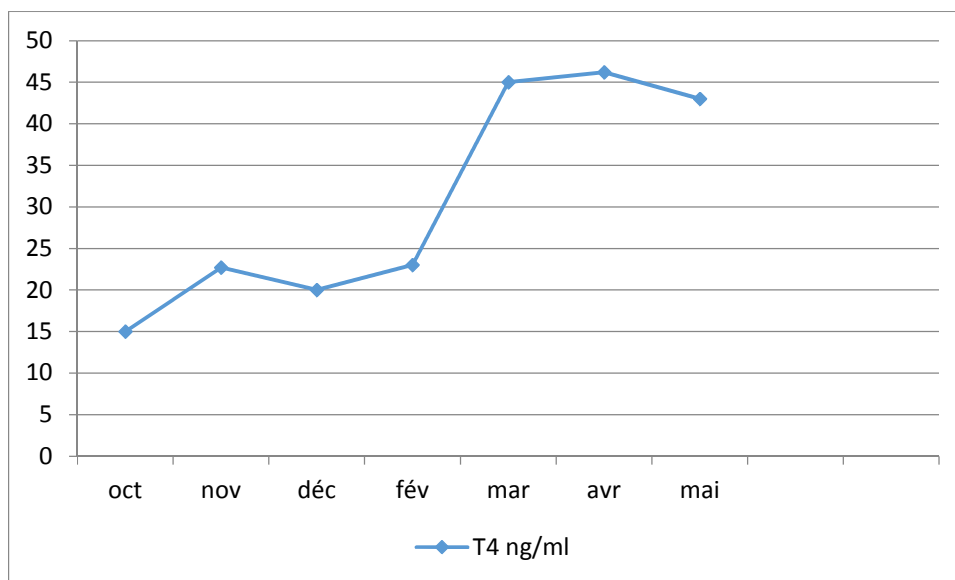
### II.5. Variations de la thyroxinémie (T4) chez le Hérisson d'Algérie

Le prélèvement sanguin durant la période d'expérimentation chez le Hérisson d'Algérie femelle nous a permis de rechercher la concentration plasmatique en thyroxine (T4) pendant deux périodes essentielles chez le Hérisson ; hibernation et la reprise de la vie active. Les données relatives à ce dosage endocrinien sont consignées dans le tableau suivant :

**Tableaux 7 : Variation de taux plasmatique de la thyroxine (T4) chez le Hérisson d'Algérie.**

Mois	Animaux	T4 ng/ml
<b>Octobre</b>	A3	15
<b>Novembre</b>	A8	22,7
<b>Décembre</b>	A12	20
<b>Février</b>	A14	23
<b>Mars</b>	A10	45
<b>Avril</b>	A9	46.2
<b>Mai</b>	A11	43.43

La thyroximie présente des variations mensuelles importantes. Les taux les plus bas s'observent au cours des mois d'octobre et de novembre (entre 15 ng/ml et 22,7 ng/ml). Les valeurs commencent à augmenter en période hivernale à partir du mois de décembre (20ng/ml), pour atteindre un maximum en période printanière (45 ng/ml) (Fig. 27).



**Figure 27: Variations mensuelles de la concentration plasmatique de la thyroxine (T4) chez le Hérisson d'Algérie femelle.**



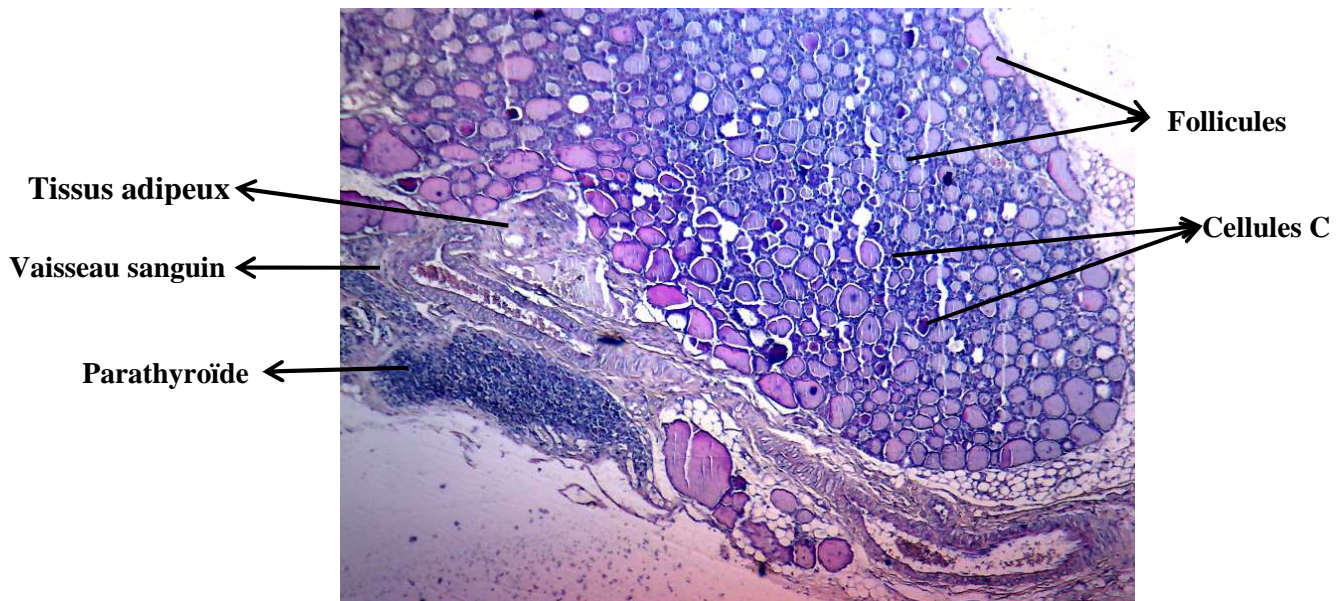
La comparaison des résultats obtenus sur le dosage hormonal de la T4 aux variations du poids de la glande thyroïde montre, clairement que les variations ont tendance à évoluer en opposition de phase. En effet, entre les mois d'octobre et décembre le taux de la T4 augmente puis diminue, par contre le poids de la thyroïde diminue puis augmente ; entre les mois de décembre et février, la thyroxine s'élève, on observe pendant le même temps une diminution du poids de la glande thyroïde ; le taux d'hormone reste à un niveau élevé de mars à mai, tandis que le poids de la glande est à son niveau bas.

### **III. Données histologiques de la thyroïde**

#### **III.1. La structure histologique de la glande thyroïde**

Afin d'apporter un premier éclairage sur la physiologie de la thyroïde chez un modèle hibernant, le Hérisson d'Algérie, nous avons réalisé des coupes histologiques sur cette glande durant deux périodes essentielles pour un hibernant : l'hibernation et la reprise de vie active.

La structure histologique de la glande thyroïde du Hérisson d'Algérie a été déterminée à partir des échantillons prélevés chez 16 animaux femelles. L'exploitation de l'ensemble des coupes histologiques réalisées montre que la glande thyroïde chez le Hérisson est essentiellement constituée par un grand nombre de follicules. Chaque follicule est formé d'une colloïde, structure pâteuse (semi-liquide) entouré par vésicules cellulaires (thyrocytes) d'une forme cubique ou cylindrique. Entre les follicules, dans le stroma conjonctif, la thyroïde contient des cellules épithéliales plus grandes et plus sombre appelées: cellules claires, parafollicules, ou cellules C, qui sont responsables de la sécrétion et la synthèse de la calcitonine. Les coupes histologiques montrent aussi que cette glande est alimentée par des vaisseaux sanguins à partir de ses extrémités polaires, juxtaposés de la parathyroïde (Fig. 28).



**Figure 28 : Structure histologique de la thyroïde du Hérisson d'Algérie femelle (*Atelerix algirus*) (Original, 2013).**

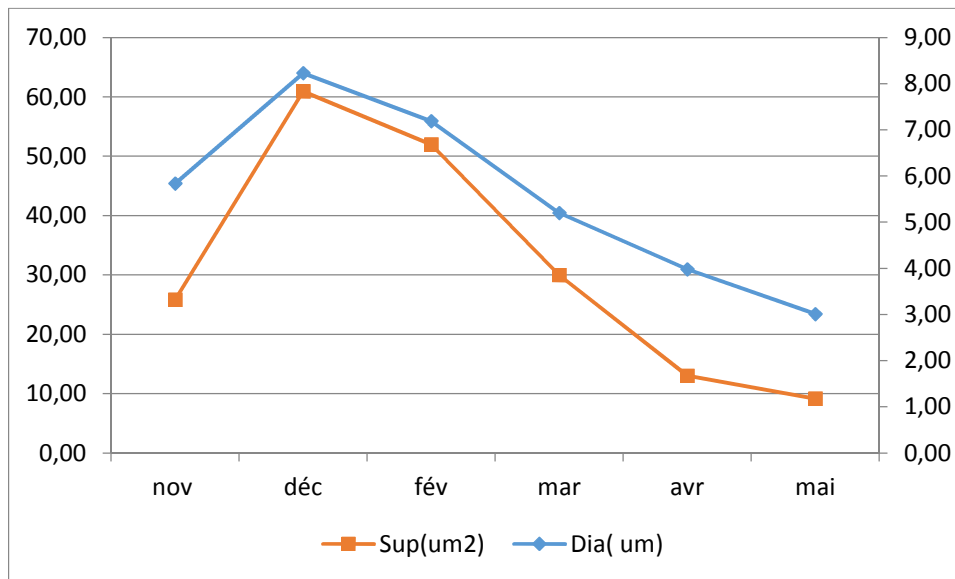
### III.1. Evaluation de l'activité physiologique de la thyroïde

Devant l'hétérogénéité des tailles folliculaires au cours des saisons, la mensuration des superficies et des diamètres des follicules s'impose. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel Image Tools qui permet de déterminer les différentes dimensions folliculaires à partir d'une photo numérique, transmettant les pixels en unités de mesure ( $\mu\text{m}$ ).

Les données moyennes relatives aux mensurations des diamètres et des superficies des follicules thyroïdiens sont consignées dans le tableau suivant:

**Tableau 8: Variations mensuelles des diamètres et des superficies des follicules thyroïdiens.**

Mois	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Superficie ( $\mu\text{m}^2$ )
<b>Novembre</b>	5,84±2,98	25,81±298
<b>Décembre</b>	8,23±1,24	60,94±4,51
<b>Février</b>	7,19±2,58	51,98±2,84
<b>Mars</b>	5,2±1,38	29,97±6,41
<b>Avril</b>	3,98±1,33	13,01±7,98
<b>Mai</b>	3,01±1,11	9,16±8,07



**Figure 29 : Variations mensuelles du diamètre et de la superficie folliculaire de la glande thyroïde chez le Hérisson d'Algérie.**

L'appréciation de l'activité thyroïdienne au cours de l'hibernation et pendant la vie active du Hérisson est basée sur différents critères histologiques tels que : la hauteur de l'épithélium vésiculaire, importance des vacuoles de résorption de la colloïde et la présence des cellules C.

Les coupes histologiques réalisées chez les animaux à différentes périodes de l'année, montre une nette variation des tailles folliculaires.

Pendant le mois de novembre, chez le hérisson en période de pré-hibernation, on note une activité thyroïdienne modérée. Les follicules ont une forme souvent irrégulière, assez grande sur le pourtour glandulaire; le diamètre colloïdal varie de 3,05  $\mu\text{m}$  à 9,29  $\mu\text{m}$  (Annexe. 8), selon la localisation périphérique ou centrale ; chez les sujets étudiés, il est d'une moyenne de  $5,84 \pm 2,98 \mu\text{m}$  (Tab.8, Fig. 29). Dans certains follicules, la thyroglobuline est abondante, sans indice de résorption intense. Les cellules C sont nombreuses, d'une forme sphérique, mais sans être encore très volumineuses.

En décembre (période d'hibernation), la thyroïde n'est jamais au repos complet, la hauteur épithéliale est hétérogène, variable selon les animaux, et au sein de la même glande, plus élevée dans les follicules centraux. La majorité des vésicules sont de grandes dimensions (macro-follicules) ; l'épithélium est généralement aplati, peu élevé, la colloïde est dense, elle est d'un diamètre de  $8,23 \pm 1,24 \mu\text{m}$  (Fig. 30). Les cellules C sont très nombreuses surtout incorporées dans les parois folliculaires.

En février, nous avons noté des signes d'une reprise d'activité thyroïdienne; la structure est plus homogène que le mois précédent, les vésicules sont de taille moyenne ou petite, la hauteur épithéliale devienne plus au mois importante, généralement formée de cellules prismatiques ou cubique à noyaux sombre. La colloïde est moins dense qu'au début de l'hibernation, elle est pourvue de nombreuses et volumineuses vacuoles de résorption, elle est d'un diamètre de  $7,19 \pm 2,58 \mu\text{m}$ . (Fig. 29, 31).

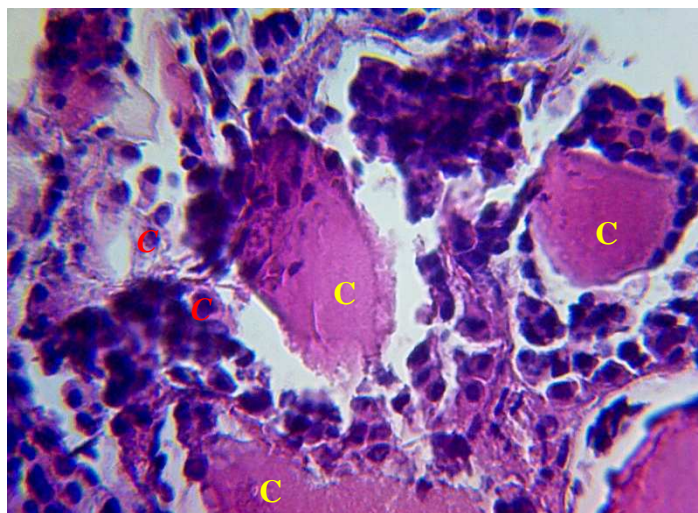
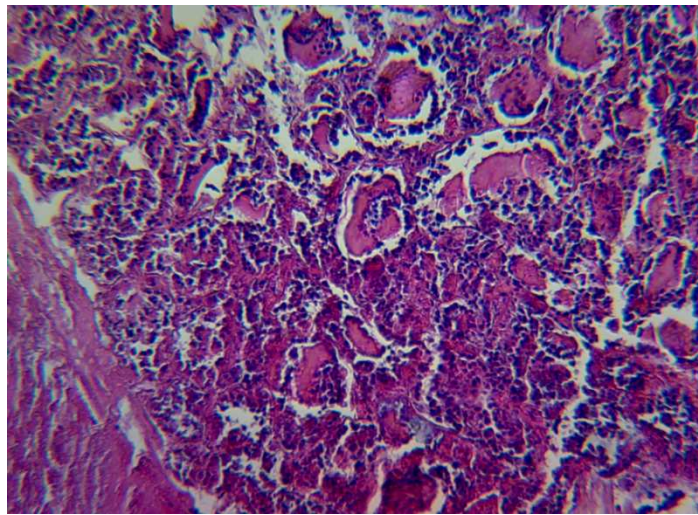
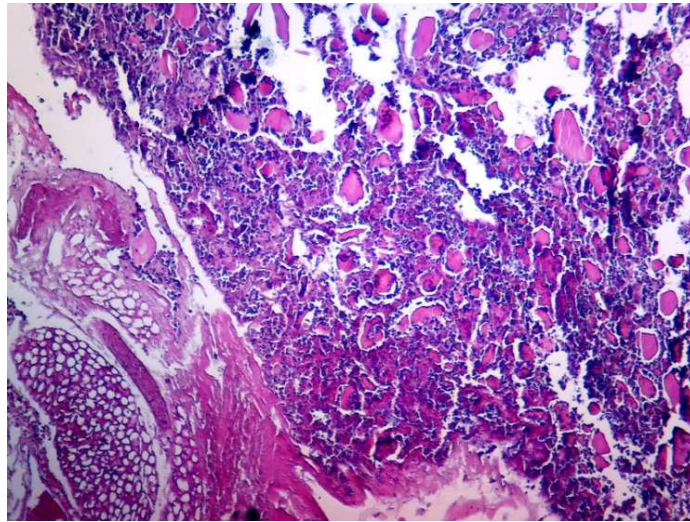
Au mois de mars, les signes d'une stimulation thyroïdienne sont très évidents, l'activité glandulaire oscille autour de valeurs moyenne ; l'épithélium folliculaire est le plus souvent bien développé, les vacuoles de résorptions sont variable, la colloïde est d'un diamètre de  $5,2 \pm 1,38 \mu\text{m}$  (Fig. 29).

Au cours du mois d'avril, l'activité glandulaire est un peu supérieure à celle du mois précédent. Le diamètre folliculaire est en moyenne  $3,98 \pm 1,11 \mu\text{m}$ .

Au mois de mai, nous observons une augmentation du fonctionnement thyroïdien qui s'accroît au cours de cette période printanière. L'activité thyroïdienne est intense, la colloïde est peu dense, très souvent résorbée avec un diamètre qui varie entre  $2,22 \mu\text{m}$  et  $5,2 \mu\text{m}$ , ( $3,01 \pm 1,11 \mu\text{m}$  en moyenne) (Fig.29, 32). Les cellules C sont généralement rares, petites, situées entre les follicules et non plus dans la paroi épithéliale.

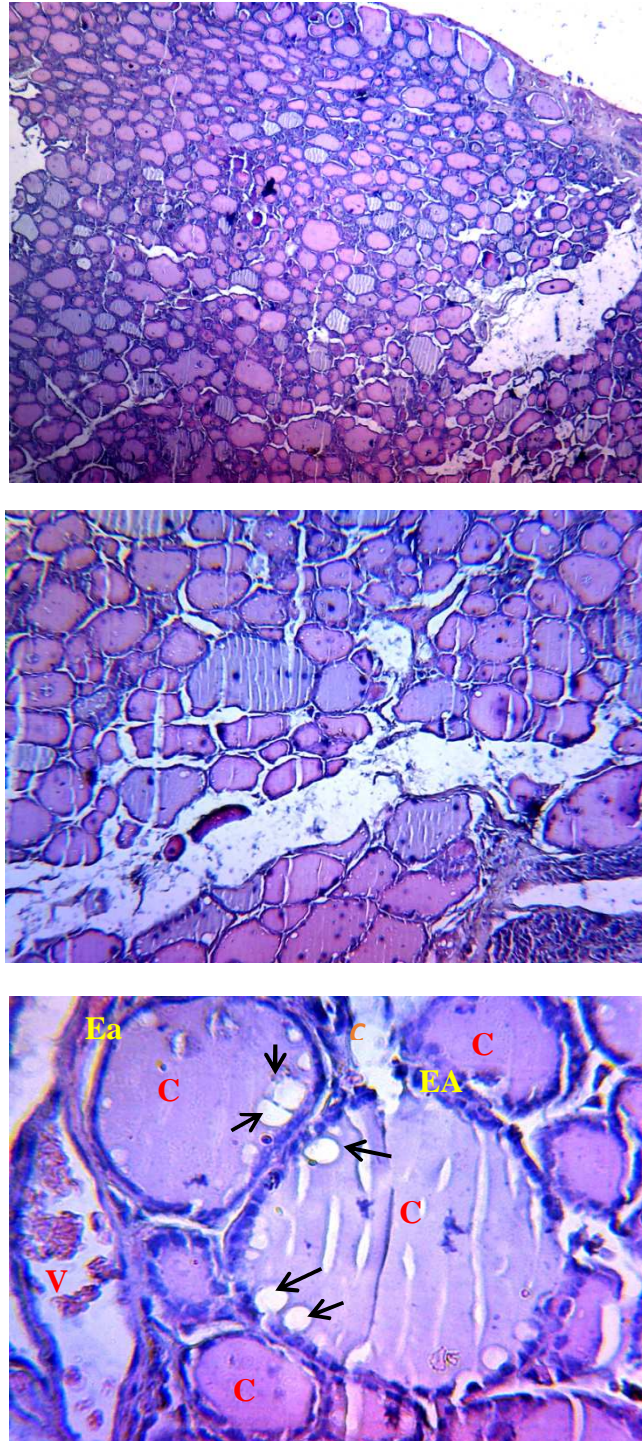
Les dimensions de la superficie folliculaire sont corrélées avec les variations du diamètre folliculaire, elles ont une moyenne de  $25,81 \pm 2,98 \mu\text{m}^2$  au mois de novembre, elles atteignent leurs maximums au mois de décembre ( $60,94 \pm 4,51 \mu\text{m}^2$ ) puis elles diminuent jusqu'à qu'elles atteignent leurs minimums au mois d'avril ( $9,16 \pm 8,07 \mu\text{m}^2$ ).





Glande thyroïde peu active -C : colloïde C sans vacuolisation périphérique.- C : Cellules C intra-folliculaires.

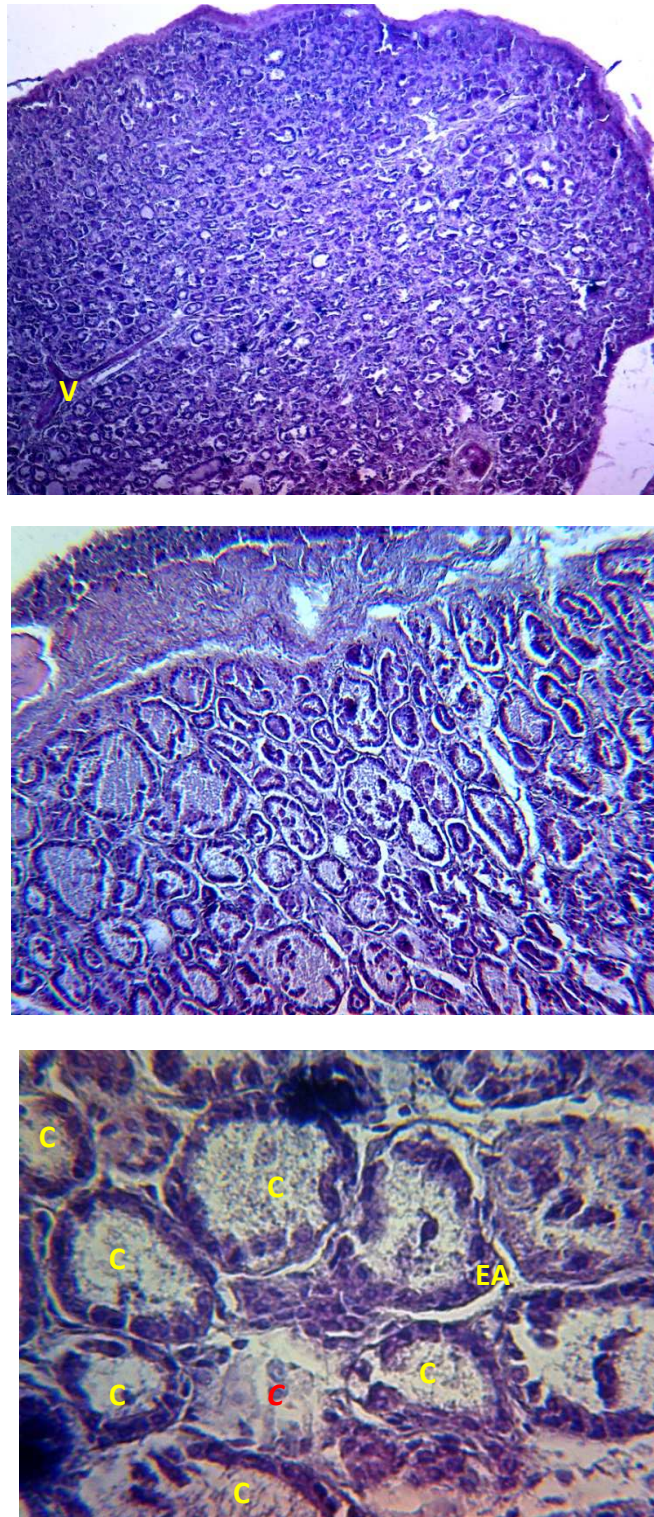
**Figure 30 : Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A8 en période de pré-hibernation (mois de novembre) (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**



C : La colloïde -EA : Epithélium actif -Ea : Epithélium aplatie -V : vaisseau sanguin -c : cellule C  
-flèche : vacuoles de résorptions.

**Figure 31: Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A14 en période d'hibernation (au mois de février) (a [Gx4], b[Gx10], c[Gx40]).**





C : La colloïde -EA : Epithélium actif, très développé -V : vaisseau sanguin -c : cellule C.

**Figure 32: Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A11 en période d'activité (sortie d'hibernation) en mai (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**





# **Chapitre IV : Discussion**

## Discussion

### I. Variation de la température corporelle au cours de l'hibernation

Le suivi des variations de la température corporelle ( $T_c$ ) chez le Hérisson d'Algérie femelle, ainsi que les variations de la température ambiante ( $T_a$ ) par l'utilisation des enregistreurs de température (Température loggers- i-Button) pendant la période automne, hiver et début de printemps, nous a permis de mettre en évidence les différents paramètres propres à l'hibernation, à savoir, les durées des phases de torpeur et des phases de réveil, l'influence de la  $T_a$  sur la  $T_c$ , les variations de la masse corporelle, la prise de nourriture ainsi que le bilan énergétique.

#### I.1. L'entrée en hibernation

Le cycle circadien de la  $T_c$  chez le Hérisson présente un minimum ( $34^\circ\text{C}$ ) pendant le jour et un maximum ( $37^\circ\text{C}$ ) pendant la nuit. Ces deux phases correspondent respectivement à la phase de repos diurne et à la phase d'activité nocturne du Hérisson.

Au cours de l'automne (octobre- novembre), le cycle circadien de  $T_c$  est modifié et de courtes hypothermies journalières, sont mises en évidence par le suivi continue de la  $T_c$ . Pendant cette période, les hérissons continuent de sortir et de s'alimenter au début de la nuit malgré l'hypothermie qui apparaît à la fin de la nuit (00:00 - 08:00h). Ces résultats confirment, les observations des hypothermies journalières décrites par Mouhoub-Sayah (2009). Ces hypothermies de courte durée (<12h) et de faible amplitude pourraient correspondre à une préparation progressive de l'hibernation. Par ailleurs, l'incidence de ces hypothermies journalières au début de la période d'hibernation traduirait la mise en place d'une stratégie d'économie d'énergie (French, 1982). Ceci est comparable aux courtes phases de torpeur enregistrées chez le Spermophile de californie (*Citellus beecheyi*) (Strumwasser, 1960), le Spermophile de richardson (*Spermophilus richardsonii*) (Scott et al, 1974), le Spermophile arctique (*Spermophilus parryi*) (Barnes et Ritter, 1993), ainsi que chez les animaux vivant ou originaire des zones désertiques tel que le Hamester djungarian (*Phodopus sungorus*) (Heldmaier et al, 1985).

Pendant la période d'entrée en hibernation, les torpeurs journalières apparaissent avec des températures ambiantes ( $T_a$ ) décroissantes mais toujours élevées ( $16-22^\circ\text{C}$ ) et concomitantes d'une prise alimentaire et d'une activité des hérissons pratiquement inchangées en début de nuit. Des températures similaires ont été notées par Mouhoub Sayah (2009) durant son travail sur l'écophysiologie du Hérisson d'Algérie dans quelques stations du Djurdjura et dans la

vallée de la Soummam. Chez le Hérisson d'Europe, l'entrée en hibernation varie selon la latitude, et elle est observée à 20-24°C, en Crète (Herter, 1938), à 18-20°C, en Italie (Boitani et Reggiani, 1984), à 15-17°C, en Allemagne comme en France, et à 12°C, en Finlande (Kristoffersson et Soivio, 1964). Ainsi le Hérisson montre une adaptation au milieu et plus il habite à de hautes latitudes, plus la Ta entraînant l'entrée en hibernation est basse. La Ta est un des facteurs principaux favorisant l'entrée en hibernation chez le Hérisson. Il faut aussi considérer son effet sur la réduction des disponibilités alimentaires, comme le montrent Dmi'el et Schwarz (1984), chez les hérissons de milieu désertique, dont l'entrée en hibernation est sous l'influence combinée des deux facteurs.

Notre étude montre que chez le hérisson d'Algérie femelle, l'entrée en hibernation est observée, en octobre et en novembre, avec un faible nombre d'hypothermies, (5 hypothermies chez A1 et 6 hypothermies chez A7). Vignault (1994), montre que la limite critique de la Ta permettant l'entrée en hibernation est plus basse chez les mâles (Ta°15C). Chez les femelles, les stéroïdes sexuels femelles ne jouent aucun rôle sur le déclenchement de l'hibernation (Casting, 1985 ; Saboureau et Casting, 1986), il s'agit d'un autre mécanisme qui est mis en place lié à l'importance des réserves cumulées. De plus, les femelles ayant terminé leur reproduction à la fin de l'été (possibilité de 2ème portée), retardent leur entrée en hibernation, et les premières hypothermies sont observées fin-octobre, après achèvement de la constitution des réserves. Chez *Spermophilus richardsonii*, l'entrée en hibernation est en fonction du sexe, de la fin de la période de reproduction et de l'état d'engraissement des animaux (Michener, 1979). Par ailleurs, Vignault (1994), a montré que, chez le Hérisson d'Europe femelle soumis pendant deux années à des conditions stables de température (5°C) et de photopériode (jours courts), une seconde saison d'hibernation débute spontanément en septembre de la 2ème année. Cette observation traduirait l'existence d'un rythme circannuel interne de période inférieure à 635 jours (Bernard, 1992).

L'entrée en hibernation plus tardive chez les femelles représente un mécanisme autonome avec une programmation plus souple, dont les limites sont fixées, en milieu naturel, par les facteurs externes, tels que la température, la photopériode et les disponibilités alimentaires. En effet, les femelles à jeun débudent l'hibernation plus rapidement et plus précocement que celles disposant de nourriture (Casting, 1985).

## I. 2. Hibernation proprement dite

### I. 2.1. Refroidissement et réchauffement

Au cours de l'hibernation proprement dite ou la chute de la  $T_c$  se déroule selon une courbe exceptionnelle, en effet le processus de refroidissement n'est pas un abandon de la thermorégulation, mais un phénomène contrôlé, comme il a été montré chez le *Tamias satriatus* (Ecureuil corré) et *Eutamias sminimus* (Ecureuil gris) (Pivorun, 1976 in Casting, 1985).

Chez le Hérisson, la vitesse de refroidissement ne montre pas de différence d'un animal à l'autre. Exprimée en vitesse moyenne ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ) pour pouvoir comparer avec des données antérieures, elle est de  $1,43\pm 0,34^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$  en moyenne et semble indépendante de la température ambiante pendant toute la durée de l'hibernation. Cette vitesse est presque similaire à celle trouvée par Mouhoub-Sayah (2009) ( $1,22\pm 0,6^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ) et celle calculée par Ben-mouhoub (2013) ( $1,32\pm 0,1^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ) chez la même espèce étudiée, ainsi que, chez le Hérisson d'Europe ( $1,35\pm 0,03^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ) (Vignault, 1994). Cette vitesse est inférieure à celle mesurée en Ecosse chez le Hérisson d'Europe ( $1,90\pm 0,30^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ; Fowler et Racey, 1990) ou en conditions stabilisées ( $12^{\circ}\text{C}$  :  $1,98\pm 0,40^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ; Dmi' el et Schwarz, 1984).

Au cours de l'hibernation, la vitesse de réchauffement est 8 fois plus importante que la vitesse de refroidissement chez le Hérisson et elle est constante pendant toute la durée de l'hibernation au cours de notre étude ( $11,86\pm 0,47^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Cependant la durée du réchauffement est plus courte après une longue phase de torpeur. Geiser et Baudinette (1990) ont établi une corrélation entre la vitesse de réchauffement et la masse corporelle des mammifères. En particulier, chez les insectivores, la vitesse de réchauffement est lente chez les espèces de grande taille alors qu'elle est rapide chez les petites espèces dont le volume à réchauffer est proportionnellement moins important. La vitesse de réchauffement des hérissons est différente à celle mesurée chez d'autres hibernants, tels que *Spermophilus richardsonii* ( $8,4^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$ ; Wang, 1973), et  $48^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$  chez le pachyure étrusque (*Sunus etruscus*) (Frey, 1980). La vitesse n'est pas seulement inversement proportionnelle à la taille de l'hibernant mais elle reflète également les capacités thermogéniques des tissus des animaux (Wang et Hudson, 1971). En effet, le réchauffement fait intervenir des processus physiologiques (thermogenèse sans frisson et thermogenèse avec frisson) qui varient selon les espèces (Bockler et Heldmaier, 1983 ; Heldmaier et al, 1985 ; Cossing et Bowler, 1987).

### **I.2.2. Phase de torpeur**

La durée des phases de torpeur augmente progressivement à partir du début de l'hibernation (décembre) pour atteindre un maximum au milieu de la période d'hibernation (9 jours). Les durées maximales que nous avons enregistrées en janvier-février (9 jours) correspondent aux  $T_a$  les plus basses en environnement naturel (10-14°C). Mouhoub-Sayah (2009) a enregistré des durées comparables chez la même espèce soumis aux mêmes conditions expérimentales. En condition extérieurs (environnement naturel), les torpeurs présentent des décours similaires à celles obtenus en conditions expérimentales mais leurs caractéristiques sont sensiblement accentuées (durées plus longues : 4 à 9 jours et,  $T_{c_{min}}$  plus basse : de 7,6 à 2,2°C). Ces longues torpeurs sont notées en décembre et janvier, en même temps que le minima saisonniers ( $T_a$  entre 5 et 0°C) (Mouhoub-Sayah, 2009). Dans des conditions de température constante (4°C), le Hérisson d'Europe présente des durées de torpeurs voisines (maximum 9 jours) en février (Kristofferon et Soivio, 1964). Ces observations suggèrent l'existence d'un processus interne régulé par les facteurs externes. Vignault (1994) a montré que, les mâles présentent une durée moyenne des phases de torpeur plus courte que chez les femelles. En conditions stabilisées, les hérissons allongent la durée des phases de torpeur lorsqu'ils sont soumis à une diminution du niveau de la  $T_a$  (Soivio et al, 1968). Chez le Hérisson, la durée des phases de torpeur est donc inversement corrélée à la  $T_a$ , comme chez de nombreux hibernants : (*Citellus lateralis* : Twente et Twente, 1965; *Spermophilus parryii* : Barene et Ritter 1993 ; *Tachyglossus aculeatus* : Nicol et Adersen, 2007 ; Superina et Boily 2007).

La fréquence des réveils est plus basse au milieu de la période de l'hibernation (Zivadinovc et al, 2005). Si les  $T_a$  déterminent la durée des torpeurs, le niveau de la  $T_c$  est aussi à prendre en considération car, en hypothermie profonde, il est 1 à 2°C au-dessus de la  $T_a$  et il suit ses variations. Pendant cette étude les  $T_c$  minimales observées sont de l'ordre de 11°, donc encore relativement élevées et probablement encore loin des limites des  $T_a$  entraînant le réveil chez cette espèce.

Au cours de l'hypothermie, les hérissons sont capables de réagir à un abaissement ou à une augmentation rapide du niveau de la  $T_a$ , en déclenchant le processus de réchauffement. En effet, la sensibilité aux variations thermiques au niveau de l'hypothalamus est conservée chez les hibernants pendant la phase de torpeur. Les variations rapides de la  $T_a$  entraînent la mise en place des mécanismes de thermorégulation, et donc, le réveil de l'animal (Lyman et al, 1982 ; Wunneberg et al, 1986 ; Helter, 1938 ; Kiduff et Heller, 1989).

### **I.2.3. Phase de réveil (euthermie)**

La durée des phases de réveil suit une évolution inverse de celle des phases de torpeur : elle est plus courte lorsque la  $T_a$  est la plus faible, en milieu naturel et elle peut être réduite à 6h seulement. Cependant, chez le Hérisson d'Europe, Kristoffersson et Soivio (1967) ont montré que, en conditions stabilisées ( $T_a=5^\circ\text{C}$ ), la durée des phases de réveil demeure constante pendant toute la durée de l'hibernation.

Pendant la phase de réveil, le niveau de la  $T_c$  des hérissons est plus faible au cours de l'euthermie que pendant la vie active ( $34-35^\circ\text{C}$ ), ceci, confirme les observations de Fowler et Racey (1990) sur le Hérisson d'Europe. Cette différence semble être le reflet d'une stratégie de conservation d'énergie chez les hérissons, qui réduisent les pertes de chaleur par diminution du gradient entre leur  $T_c$  et la  $T_a$ . Ceci est renforcé par le fait que les hérissons ne sortent pas pour s'alimenter lors de chaque réveil, entraînant ainsi une réduction de dépense d'énergie.

Au cours du nyctémère, le début des phases de réveil est observé le jour, résultats similaire à ceux obtenus par de Mouhoub-Sayah (2009). Chez le Hérisson en milieu naturel, aucune rythmicité des phases de réveil n'est observée au cours de la période d'hibernation, comme chez le spermophile à manteau dorée (*Citellus lateralis*) (Twente et Twente, 1965) et *Spermophilus lateralis* (Twente et Soivio, 1964). Le nombre des réveils pendant toute la période d'hibernation montre une grande variabilité individuelle, comme chez les autres hibernants (Lyman et al, 1982). Ce nombre varie en fonction de la masse corporelle, les petits animaux ont généralement moins de phases de réveil évitant ainsi de fortes dépenses énergétiques (French, 1985).

Au cours de cette adaptation, les phases de réveil sont obligatoires et nécessaires à la survie des hibernants (Kayser, 1961). Plusieurs théories sont développées actuellement pour expliquer les causes de ces réveils. L'hypothèse la plus ancienne repose sur le fait que l'hibernant doit éliminer les différents produits du métabolisme (urée, corps cétoniques..) dont l'accumulation peut devenir toxique ou rétablir les réserves énergétiques après une durée de fonctionnement et selon les conditions du milieu (Dubois, 1896 ; Kayser, 1953 ; French, 1982). Pour Willis (1982) et Malan (1992), l'animal doit restaurer au cours de réveil, l'homéostasie des processus liés au métabolisme qui ont été perturbés pendant l'hypothermie et en particulier, éliminer une acidose qui prend place lorsque l'individu est en hypothermie. Ainsi les hibernants rétablissent la balance ionique qui influencerait sur la durée des phases ce qui implique une durée des phases de réveil plus longue chez les gros animaux que chez les petits (French, 1985 ; Wang, 1989). Une des dernières hypothèses sur la cause des réveils est la

synthèse de substances chimiques dans le système nerveux central (opioïdes et 5 Hydroxy Tryptophane), nécessaires à initier et maintenir l'hypothermie (Akil et al, 1989 ; Henry, 1982 ; Wang, 1993). Enfin, selon Goldman (1989), ces phases pourraient servir à la réception des variations du milieu (photopériode, disponibilité alimentaire...etc) et pourraient avoir un rôle dans la resynchronisation des fonctionnements physiologiques préparant le retour à la vie active.

#### **I.2.4. Rythmicité**

Au cours de nyctémère, chez nos animaux, le début des phases de torpeur est observé la nuit et celui des phases de réveil, le jour, nos résultats font apparaître comme dans l'étude de Fowler et Racey (1990) et celle de Vignault (1994) sur le Hérisson d'Europe, une périodicité circadienne. Ceci montre une différence de programmation entre les phases de torpeur et les hypothermies nocturnes qui débutent seulement la fin de la nuit. Les autres données de littérature, sur la situation du début des phases de torpeur et de réveil par rapport au nyctémère sont contradictoires chez le Hérisson. Pour Kristoffersson et Soivio (1964), chez le Hérisson d'Europe, il n'existe aucune cyclicité circadienne du début de ces phases.

La cause de ce phénomène est mal connue et la Ta pourrait être un facteur régulant ce processus. En effet, pendant l'hypothermie, la Tc de l'animal suit les variations de la Ta, et le réchauffement au cours du jour, apparaît alors moins coûteux énergétiquement lorsque l'écart entre Tc hypothermique et la Tc normothermique est faible. De même, l'entrée en torpeur au cours de la nuit, lorsque la Ta chute, permettrait de réduire les dépenses énergétiques, par réduction de l'écart entre la Tc et la Ta. Le déclenchement de la torpeur serait ainsi adapté pour que l'hypothermie soit atteinte au cours de jour qui correspond à la période normale de sommeil. De la même façon, le début de réchauffement serait programmé pour que la température normothermique soit atteinte au cours de la nuit, période normale d'activité.

### **I. 3.Sortie de l'hibernation**

Au cours de présent travail, l'étude de la sortie d'hibernation est basée sur les résultats obtenus par l'enregistrement de la Tc en relation avec Ta de deux hérissons (A11 et A13) en mars-avril.

A partir du mois de mars, on constate la disparition des torpeurs de longues durées (>24h) qui sont remplacées par de nombreuses torpeurs journalières (<24H), dont l'amplitude varie en fonction de l'augmentation de la Ta. Mouhoub-Sayah (2009) a signalé la présence des torpeurs journalières durant la période printanière. D'après Ben-Mouhoub (2013), à la fin de

l'hibernation (fin mars, début avril), des hypothermies de courtes durées sont observées alors que les températures ambiantes sont aussi élevées. La transition vers la vie active se fait par de nombreuses torpeurs journalières similaires à celles de l'automne.

Le maintien de ces torpeurs journalières en période printanière n'a pas été observé chez l'espèce voisine, le Hérisson d'Europe. En effet, *Erinaceus europeus* montre à la fin de l'hibernation, une nette transition entre l'hétérothermie avec une stabilité marquée de la  $T_c$  durant la période printanière (Saboureau, 1979 et al, Vignault, 1994).

Chez le Hérisson d'Europe, les dates de sortie d'hibernation sont très variables selon le climat comme le montre la répartition observée au nord au sud de l'Europe : fin d'Avril en Finalde (Kristoffesson et Soivio 1964), fin mars- début avril en Suède (Johansson et Senturia 1972), avril-mai au Danemark (Walhovd, 1975), avril en Angleterre (Morris, 1973), mars en Allemagne (Herter, 1938), mi-mars en Suisse (Bertoud, 1982), de Janvier à fin mars (selon le sexe et l'âge des animaux) dans l'Est de France (Casting 1985).

Lors des expériences de jeûne de longue durée, Casting et El omari (1987), montrent que la diminution de la durée des phases des torpeurs associée à une augmentation de réveil, indique le retour à la vie active. Ainsi, ces phénomènes classiques sont masqués en milieu naturel par l'effet des variations rythmiques des facteurs de l'environnement. Le même schéma est décrit chez d'autres hibernants, chez le Spermophile d'Europe (*Citellus citellus*) (Larchiver et Berthoud, 1967 in Casting, 1985), la marmotte à ventre jaune (*Marmota flaviventris*) (Anderson et al, 1982 ; Vignault, 1994) et la souris sauteuse de l'ouest (*Zapus priceps*) (Wang, 1973 in Casting, 1985).

Chez le hérisson femelle, la sortie de l'hibernation est plus corrélée avec l'augmentation de la température ambiante (French, 1977 ; Michener, 1977 ; Cranford, 1987), des disponibilités alimentaires (Yahner et Svendsen, 1978) ou à un rythme endogène (Saboureau, 1986). Par contre, chez le mâle, maintenant, il est bien démontré que la réactivation spontanée du fonctionnement testiculaire pendant la fin d'hibernation entraîne le réveil. (Saboureau ; Casting, et Boissin, 1984). La fin de l'hibernation est plus précoce chez le male que chez la femelle.

La présence des torpeurs journalières chez le Hérisson d'Algérie maintenu en salle, montre la dépendance des animaux vis-à-vis de la  $T_a$  pour retrouver une température stable d'homéotherme. Ce défaut de thermorégulation pourrait être dû à une déplétion profonde, des réserves en fin d'hiver (Mouhoub-Sayah) et/ou à l'impossibilité (du fait de la captivité et des conditions de stabulation en salle) de développer des comportements particuliers comme le réchauffement passif dû à l'augmentation de la  $T_a$  (Schmid, 1996 ; Lovegrove et al, 1998 ;



Geiser et al, 2004) ou l'exposition à la chaleur radiante du soleil pendant la journée (Geiser et al, 2000 ; Geiser et al, 2004). De tels comportements observés chez les animaux des zones arides facilitent le réveil (après le lever du soleil) et réduisent les couts énergétiques lors de réchauffement et/ou pendant l'eutherme.

## **I.2.Variation de masse corporelle**

Au cours de notre étude, la masse corporelle atteint un maximum lors de l'entrée en hibernation, et chute progressivement jusqu'au retour à la vie active. Dans ce sens, il a été noté chez le Hérisson d'Europe que sa masse corporelle présente un cycle saisonnier bien marqué, avec un maximum au début de la période d'hibernation (Saboureau, 1997 ; Mrosovsky, 1985 ; Ambid et al, 1986 ; Canguilhem, 1989 ; Saboureau et Boissin, 1983 ; Saboureau et al, 1986). Une augmentation 40% de la masse corporelle constitué des réserves de grasse assure la bonne préparation à l'entrée en hibernation (Soumalainen et Saariskosky, 1971).

Au cours de l'hibernation, la masse corporelle diminue et présente plusieurs phases : décroissance rapide, au cours des premiers mois, puis décroissance plus lente, les mois suivants. Une observation similaire est signalée chez la même espèce par Mouhoub-Sayah (2009) et chez le Hérisson d'Europe par Vignault (1994). Chez le Hérisson d'Europe, la perte de masse corporelle mensuelle la plus importante est noté entre décembre est janvier ( $1,71\text{g/j}^{-1}$ ) (Vignault, 1994). Selon Morris (1984), un hérisson entrant en hibernation doit peser au minimum 450g et au moins de 600g selon Jourde (2008) et plus de 400g selon Germain (2008) pour assurer l'hibernation sans menace.

## **I.3.La prise alimentaire**

Au cours de notre expérimentation sur le suivi de la variation de la Tc en relation avec la Ta, les hérissons ont reçu quotidiennement de la nourriture et de l'eau *ad libitum*. La prise alimentaire (PA) a été notée régulièrement, pour chaque animal, durant toute la période d'étude. Ces observations régulières nous ont montré que la prise alimentaire est maximale en octobre et novembre, ainsi, elle est associée à des torpeurs journalières. A partir du mois de décembre, malgré la disponibilité alimentaire les animaux manifestent un jeûne d'une durée variable de 4 à 7 jours. Ce jeûne est associé à la diminution de la Ta ( $10,69^{\circ}\text{C}$ ) et à des torpeurs de longues durées (5 à 9 jours). Selon Mouhoub Sayah (2009), la prise alimentaire

montre une évolution en opposition avec les variations moyennes mensuelles des pourcentages de torpeurs.

Chez le Hérisson d'Europe, la disponibilité alimentaire n'empêche pas le Hérisson d'hiberner, mais elle peut modifier le déroulement de l'hibernation (la durée totale, la durées des phases de torpeur) (Saboureau et al, 1984).

La disponibilité alimentaire est une cause potentielle ou un régulateur de l'hibernation chez les différentes espèces (Morosvsky et Barnes, 1974 in Vignault, 1994). La qualité de la nourriture peut modifier l'hibernation chez (*Eliomys quercinus*) qui hiberne si la nourriture est pauvre en protéines (Casting, 1985 ; Ambid et Cazaneuve, 1984), ou chez (*Napaeozopus insignis*) qui raccourcit les phases de torpeur si le régime est riche (Collins et Cameron, 1984). Chez le Hérisson d'Europe, comme chez d'autres hibernants (Davis, 1976 ; Mrosovsky, 1980) le retour a la vie active n'est observé que si la nourriture est disponible. La température et la disponibilité alimentaire constituent des facteurs distaux importants pour la préparation, le bon déroulement et la fin de l'hibernation (El omari, 1987).

#### **I.4. Le bilan énergétique**

L'analyse de l'ensemble des données relatives à la variation de la Tc, nous montre l'importance des variations individuelles (chaque animal a son rythme d'entrée et de sortie en hibernation) dans le contrôle de la gestion énergétique. Dans ce sens, Mouhoub-Sayah (2009), note qu'au cours de la mauvaise saison (automne et hiver), le Hérisson d'Algérie montre une capacité à gérer ses réserves énergétiques pour sa survie, par la réduction de son métabolisme générale et ses dépenses.

L'ensemble des résultats relatifs aux torpeurs et aux euthermies, permettent de faire une approche sur le bilan énergétique des animaux. Durant la période automnale et hivernale, les torpeurs de longues durées ont permis une économie d'énergie très importante (64.79%) par rapport aux dépenses (35,15%).

Selon Vignault (1994), la réduction des dépenses énergétiques est inversement corrélée à la taille des animaux : plus l'animal est petit, plus l'économie est importante, et en conséquence, entraîne une réduction de l'utilisation des réserves. Dans tous les cas, les avantages énergétiques (réduction des besoins et des dépenses d'énergie) acquis par le phénomène de torpeur peuvent aider considérablement à la survie des animaux face aux conditions défavorables du milieu.

## II. La thyroïde

### II.1. Etude anatomique

La littérature ne fournit, à notre connaissance, aucune indication sur l'anatomie et la physiologie de la thyroïde chez le Hérisson d'Algérie. La discussion de nos résultats est, de ce fait, extrêmement problématique. Néanmoins, nous tenterons de les comparer à ceux obtenus chez d'autres mammifères.

Dans le but d'apporter un nouvel éclairage sur cet aspect physiologique inconnu chez le Hérisson d'Algérie, nous avons jugé utile d'abord en premier la description anatomique de la glande. Cette démarche permettra de constituer des données de base dans la voie de recherche engagée dans l'étude de la physiologie de l'hibernation chez le Hérisson d'Algérie.

La thyroïde du hérisson est une glande qui se situe dans la région ventro-latérale du cou, elle s'étend du bord caudal du larynx jusqu'aux 3<sup>ème</sup>-5<sup>ème</sup> anneaux trachéaux. En comparant son emplacement chez d'autres mammifères, elle se situe généralement en regard du 5<sup>ème</sup>-8<sup>ème</sup> anneau trachéal chez le chien (Miller et al, 1964), 3<sup>ème</sup>- 4<sup>ème</sup> anneau chez les bovins, et de 2<sup>ème</sup>-3<sup>ème</sup> anneau trachéal chez l'homme (Vigreux, 2009).

La thyroïde du Hérisson d'Algérie est une glande bilobée délimitée par une capsule fibreuse. Les deux lobes se positionnent verticalement de part et d'autre sur la trachée avec des formes variables ayant l'aspect des lettres U, Vet H ou autres, ces formes sont décrites chez plusieurs espèces de mammifères tels que le dromadaire (Rdjeb et al, 2011 ; Tayeb, 1956) et le chien (Vigreux, 2009).

Les deux lobes thyroïdiens ont des formes variables, en effet, ils peuvent avoir une forme allongée en cigare ou une forme ovale. Pour cette dernière forme, nous avons noté des différences morphologiques au niveau des extrémités crânielles et caudales des lobes. Plusieurs auteurs ont décrit des formes similaires chez les animaux. Cependant, Curasson (1974), a noté une forme allongée en cigare de la glande thyroïde chez le dromadaire, alors que Gilles (2007) a signalé une forme plutôt ovale avec des extrémités crânielles et caudales arrondies chez la vache. Vigreux (2009) montre que les lobes thyroïdiens sont allongés ou ovales chez le chien.

Nos constats concernant la présence de l'isthme chez la majorité des animaux sont similaires à ceux signalés par Radjeb et al (2011) et Taha et Abdelmagid (2000), ayant travaillé sur l'anatomie de la thyroïde du dromadaire. Par contre, Lesbre (1906), in (Tayeb, 1956) constate l'absence d'isthme thyroïdien chez cette espèce. Cependant, Curasson (1974), remarque qu'il est plutôt inconstant. Barone et Montane (1978) ont rapporté, aussi, cette observation chez le cheval. Selon Aslouj (1997), d'une manière générale, l'isthme thyroïdien est constant chez les

animaux jeunes mais peut disparaître chez les animaux âgés ou se transforme en un fin faisceau conjonctif difficilement repérable. Chez l'homme ce tissu est large et forme un "lobe" ventral pyramidal connecté aux deux lobes latéraux, appelé "lobe pyramidal de Lalouette" (Vigreux, 2009). Plus exceptionnellement, cet isthme peut être fibreux et non glandulaire (Hericher, 2003).

L'anatomie de la thyroïde chez le Hérisson d'Algérie révèle que le poids moyen de cette glande est de 45.2 mg. Chez les mammifères, le poids de la thyroïde est variable d'une espèce à l'autre, il est de : 1.23-2.25 mg chez la souris, 8 mg chez le rat (Vigouroux, 1974), 216 mg chez le chat, 203-350 mg chez le chien, (Vigreux, 2009) 1000-3000 mg chez la chèvre, 147-355 mg chez le mouton, 759-997 mg chez le porc, 30000 mg chez le bovin (Gilles, 2007), et de 144-200 mg chez l'homme (Gullo, 2005).

## **II.2. Variations pondérale de la thyroïde**

Le poids de la thyroïde du Hérisson d'Algérie fluctue au cours de l'année, entre un maximum hivernal (47,2 mg au mois de décembre) et un minimum printanier (21,1 mg en mai). Il est relativement stable entre octobre et novembre (35,3 -36,3 mg), il augmente à la fin de l'automne pour atteindre son maximum en décembre, et décroît au cours de l'hiver jusqu'au printemps. Ces résultats concordent avec ceux obtenus chez le Hérisson d'Europe par Saboureau (1979). Les présents résultats montrent que le poids de la thyroïde atteint son maximum lorsque l'animal est en pleine hibernation (en repos) ce qui reflète le dysfonctionnement de la glande durant cette période.

## **II.3. Dosage hormonal**

Le dosage du taux plasmatique de la thyroxine (T4) chez le Hérisson d'Algérie, nous a montré que les valeurs de T4 varient entre 15 et

43,43 ng/ml. Le taux de T4 est souvent le plus mesuré chez les mammifères, il est variable d'une espèce à l'autre :

Blaireau : 10-30 ng/ml (Maurel et Coll, 1977), Vison : 7,5-15 ng/ml, (Boissin-Agasse et Coll, 1979), Renard : 10-18ng/ml (Maurel et Boussin, 1979), Chevreuil : 25-60ng/ml (Sempere, 1979). Les valeurs mesurées chez d'autres espèces, Rat : 28,4 ng/ml (Vigoureux, 1974), Chien : 42 ng/ml (Katlfelz, 1969), Homme : 66ng/ml (Murphy et Coll, 1966) sont situées entre les extrêmes observés chez les mammifères sauvages.

Chez le canard, un cycle annuel du taux plasmatique hormonal thyroïdien a été décrit avec précision par Jallageas (1975) ; il est caractérisé par une amplitude importante puisque la thyroïdémie oscille entre 4,4 ng/ml et 14,6 ng/ml.

L'observation simultanée des deux paramètres, poids-thyroximie fait ressortir que la diminution du poids de la glande thyroïde est associée à l'augmentation de la concentration en thyroxine (T4). Les variations du poids de la glande et de la concentration en thyroxine en tendance à évoluer en opposition de phases. Des corrélations similaires ont été indiquées chez le Hérisson d'Europe par Saboureau (1979).

Notre étude montre que le taux de la thyroxine chez le Hérisson d'Algérie présente des fluctuations saisonnières nettement marquées : Les valeurs minimales sont observées à l'automne entre 15 ng/ml et 22,7 ng/ml, la reprise de l'activité thyroïdienne est hivernale (23ng/ml au début de février), le taux d'hormone se maintient à un niveau élevé durant la période printanière (entre 43,43 et 46,42 ng/ml). Ces constats ont la même allure de la variation saisonnière observée chez la Hérisson d'Europe par Saboureau (1979). Il note, que les taux de la thyroxine sont les plus bas au cours du mois d'octobre et novembre (6,62ng/ml). Les valeurs commencent à augmenter à partir de décembre pour atteindre un maximum au mois de mars (16,13 ng/ml). La comparaison des doses maximales et minimales de la thyroxine sont nettement supérieures à celles observées chez la Hérisson d'Europe de sexe mâle. Par contre, elles se rapprochent à celles indiquées chez le sexe femelle de l'espèce précédente (Vignault, 1994), l'auteur précise que, avant l'accouplement, la concentration plasmatique de la T4, est en moyenne de 49,07ng/ml (période printanière), mais au cours de la gestation la thyroxine augmente à 53,39ng/ml.

De notre point de vue à propos de cette hétérogénéité des doses de la T4 ; les cycles annuels de la fonction endocrine de la thyroïde présente des problèmes méthodologiques dans la mesure où, théoriquement, chaque observation mensuelle devrait comprendre des enregistrements séquentielles de longue durée. Dans ce contexte, il a été bien démontré que les sécrétions endocrines (gonadique, thyroïdienne) présentent des fluctuations de période brèves, ultradiennes ou nyctémérales (Saboureau, 1979).

Selon Skowron et Zajaczek (1937), chez le Hérisson d'Europe femelle, l'action sécrétante de la thyroïde commence à augmenter peu à peu dès décembre et atteint en avril sa plus grande activité. Chez les mâles, par contre, l'activité de la glande commence au début du mois de février, c'est-à-dire encore pendant le sommeil hivernal de l'animal, atteignant dans la moitié du mois de mars son point culminant. Chez le spermophile, Hudson et Deavers (1976), ont décrit une reprise de l'activité thyroïdienne au cours de la deuxième partie de l'hibernation. Des

observations comparables ont été effectuées chez le Léroty (Olivreau, 1970 ; Sicart, 1972 ; Lachiver et Coll, 1957), le Hamster (Petrovic et Kayser, 1958 ; Agid et Sicart, 1969) et la Marmotte (Gary et al, 1972).

Selon Saboureau et Boissin (1987), la thyroximie chez le Hérisson d'Europe mâle présente des variations saisonnières importantes, dont l'évolution est plus souvent parallèle à celle de la testostéronémie. En effet, de très nombreux animaux sauvages présentent un cycle de fonctionnement par un démarrage hivernal. Dans ce sens, chez le Hérisson d'Algérie, Ben mouhoub (2013), note une activation testiculaire marquée au début du mois de février, période pendant laquelle les animaux manifestent des torpeurs de grande amplitude et de longue durée. Chez le Hérisson comme chez d'autres hibernants, le fait le plus remarquable réside dans l'activation neuroendocrinienne des gonades, qui survient pendant l'hibernation, en dépit de la réduction considérable du niveau métabolique et des nombreuses séquences d'hypothermie. De plus, la stimulation hivernale du système neuroendocrinien ne semble pas seulement affecter le fonctionnement testiculaire, dans la mesure où l'hypersécrétion d'androgène en décembre-janvier est concomitante d'une rapide élévation de la thyroximie (Saboureau, 1979).

La thyroxine est une hormone, dont l'activité est liée à l'importance du métabolisme énergétique (Gilvery, 1983). La concentration de cette hormone est aussi liée à l'importance de la prise alimentaire chez les hibernants (Seal et al, 1972 ; Davispon et Chorpa, 1979 ; Blum et al, 1980 ; Dauncey et al, 1983 ; Lochmiller et al, 1986). Elle joue un rôle important à deux périodes de l'année chez les hibernants. Au cours de la préhibernation, le déficit thyroïdien pourrait être responsable de l'accroissement des réserves lipidiques dont témoigne l'élévation du poids corporel observé chez le Hérisson. Lors de la deuxième partie de séquence d'hibernation, après le mois de décembre, il n'est pas exclu que la sécrétion accrue de thyroxine ait pour but de mobiliser les réserves glucidiques afin de maintenir la normo-glycémie que nécessite les réactions cellulaires basales, compte tenu de l'état de jeune dans lequel se trouve l'animale (Saboureau, 1979). L'activation thyroïdienne a généralement été considérée comme représentant des variations tout à fait caractéristiques sinon causales dans le phénomène de l'hibernation (Sicart, 1972).

#### **II.4. L'étude histologique**

L'exploitation histologique des échantillons de la thyroïde à partir de la variation des tailles folliculaires, montre que la thyroïde du hérisson passe par des phases alternées de repos et d'activité liées, au comportement de l'animal. Au début de l'hibernation, la glande

manifeste des signes d'une activité modérée, dont, les follicules ont des formes irréguliers avec une thyroglobuline abondante sans indice de résorption, la colloïde est d'un diamètre de  $5,84 \pm 2,98 \mu\text{m}$ . La thyroïde commence à montrer des signes d'une reprise d'activité en décembre ou l'animal étant toujours en léthargie, cette activité devient plus importante au mois de février durant lequel la structure thyroïdienne est homogène, formé par des petits ou moyens vésicules avec une colloïde dense pourvue de nombreuses vacuoles de résorption. Cette activité croit jusqu'au réveil, se maintenant à un maximum au printemps ou elle manifeste des signes d'une activité accrue.

L'interprétation des aspects histologiques observés concorde avec les données histologiques et biochimiques de Lachevier (1952) et celle d'Olivreau (1970) ayant travaillé sur plusieurs espèces hibernantes : le Lérot (*Eliomys quercinus*), le Tenrec (*Ericulus ericulus*), le Hérisson du désert (*Paraechinus aethiopicus*) et la Marmotte (*Marmota marmota*). Les études des deux derniers auteurs sur le lérot ont permis de conclure avec certitude l'existence d'un cycle thyroïdien : activité modérée pendant la préhibernation avec prépondérance des processus d'accumulation; faible activité au début de l'hibernation, mais sans mise au repos complet, s'intensifiant dès février pour atteindre un maximum précédant et accompagnant le réveil; chez l'animal éveillé, le freinage est léger en mars-avril, plus net en mai. Ce cycle saisonnier est observé chez toutes les espèces étudiées, malgré les fluctuations marquées d'une espèce à l'autre.

Le cycle ainsi esquissé diffère légèrement de celui décrit chez le lérot par Gabe et Martoja (1969) : reprise d'activité sécrétrice pendant le repos semi-estival s'accroissant pendant la période d'activité automnale précédant la pré-hibernation marquée par involution pendant l'hibernation. Cette différence est plus apparente que réelle car le découpage du cycle annuel n'est pas tout à fait superposable dans les deux études; ainsi, la préhibernation se situe à la fin septembre, le début de l'hibernation à la mi-octobre et la mi- hibernation fin janvier pour Gabe et Martoja (1969), alors que, dans notre travail la préhibernation est situé à la fin d'octobre-début décembre. L'hibernation s'étendant selon les individus du début ou de la mi-décembre à la fin mars, et la fin d'hibernation en fin mars-début d'avril.

## **II.5. Implication de l'activité thyroïdienne dans l'hibernation**

En générale la relation de phase entre l'évolution thyroïdienne observée et le phénomène réel de l'hibernation est bien mise en évidence à travers les données relatives à l'étude de la variation de Tc et la structure histologique e du dosage hormonal.



A partir de ces approches, la thyroïde passe par des phases alterné de repos et d'activité en début d'hibernation la glande est au repos, les signes d'activité sont observés pendant l'hibernation ou les animaux présentent des hypothermies profondes, cette activité croit pendant le réveil.

A travers notre travail, et en le comparant à d'autres sur l'hibernation, nous avons tenté de comprendre le niveau d'intégration du cycle d'activité thyroïdien dans le déroulement de l'hibernation et les facteurs contrôlant ces mécanismes. Certes cette activité est impliquée dans les activités saisonnières endocrino- métabolique, mais il est évident de signaler que de nombreuses glandes endocrines telles que, le pancréas, corticosurrénal, hypophyse,... etc, interviennent dans la constitution ou l'utilisation saisonnier des réserves métaboliques. Leur fonctionnement est donc directement impliqué dans la régulation de l'hibernation.

Chez le Hérisson, généralement, le taux de la thyroxine est plus bas au cours de l'hibernation et, tout particulièrement en hypothermie (Saboureau et Boissin, 1981). La diminution de la thyroxine permet à l'animal de réduire son niveau métabolique de base. Ainsi, les taux de T4 sont faibles avant l'entrée en hibernation et pendant toute sa durée. Cependant, nous noterons que l'intégralité de cette glande est indispensable pour l'entrée en hibernation puisque la thyroïdectomie pratiquée à la fin de l'été empêche l'apparition de l'hibernation et entraîne la mort de l'animal (Saboureau, 1979), ce qui pourrait aussi signifier qu'une autre hormone thyroïdienne (probablement T3) serait indispensable au bon déroulement de l'hibernation. Des résultats voisins ont été décrits par Canguihlem et Malan (1969) et Canguihlem (1970) chez le Hamster d'Europe, chez lequel la radio-thyroïdectomie abolit l'entrée en hibernation et des injections de la thyroxine la rétablissent. Chez le Loir (*Glis glis*), il a été démontré que la thyroïdectomie n'affecte ni, le temps, ni la durée de l'hibernation. La différence interspécifique de l'effet des hormones thyroïdiennes chez les mammifères hibernants a été souvent discutée (Hudson et Wang, 1979).

Au cours de la vie active, la réalimentation a toujours été accompagnée par une augmentation de la thyroïdémie. Ceci confirme un effet de froid sur la thyroïdémie, effet qui pourrait être dû non pas à une inactivation de la thyroïde, mais plutôt, à une activation avec une plus grande proportion de T4 convertis en T3 (Bernal et Refetoff, 1977) comme c'est le cas chez le Hamster turc (*Mesocricetus bandti*) placé à 5°C (Hudson, 1981). Ceci rejoint le problème de l'hibernation posé précédemment, et la détermination des taux de T3 chez le Hérisson s'avère indispensable pour répondre aux questions posées.

A notre connaissance, les effets de la photopériode sur l'entraînement de la fonction thyroïdienne ont été très peu étudiés chez les mammifères. Capeheart et Burns (1979) ont décrit,



chez une espèce sauvage (*Neotoma micropus*), que la durée de la photopériode avait un effet sur le poids de la thyroïde. Lincoln et al (1980) ont montré que les cycles de la T4 et de T3 étaient bien entraînés par des cycles artificiels d'une alternance de périodes de jours longs et de jours courts, les maximums de ces deux hormones étant observés pendant les jours longs et les minimums pendant les jours courts. Par ailleurs, l'effet de la photopériode sur la fonction thyroïdienne a le plus souvent été étudié avec des photopériodes constantes courtes. Celles-ci provoquent la diminution des taux de T4 chez des jeunes Campagnols mâles (*Microtus montanus*), (Petterborg, 1978) et la diminution des taux de TSH, T4 et T3 chez la Hamster doré (Vaughane et al, 1982 ; Petterborg, 1978). Chez le rat femelle, Singh et Turner (1969) ont montré, à l'opposé, que la lumière constante stimulait les sécrétions hormonales thyroïdiennes.

Chez le Hamster doré, El omari (1987), a noté l'effet de la photopériode courte sur la diminution de la T4 est amplifié par une réduction de la température. Au cours de ce travail sur le fonctionnement thyroïdien, il a été mis en évidence une reprise nette de la T4 en période hivernale, en effet, la T4 augmente en jours courtes (Décembre <12h), cela montre clairement l'entraînement photopériodique de la thyroxinémie. De point de vue régulation de la thyroxine, Vriend et al (1979) et Vaughan et al (1982), notent que la glande pinéale a aussi été impliquée par l'intermédiaire de la mélatonine, exerçant un effet inhibiteur sur l'axe hypothalamo-hypophyso-thyroïdien. Dans ce sens, chez le Hamster doré, selon Vriend (1983), l'effet de la mélatonine se ferait par l'intermédiaire d'une inhibition de la libération du TRH (thyrotropin releasing hormon), lequel contrôlerait la sécrétion des hormones hypophysaires PRL (prolactin hormon hypophysair) et TSH (Thyréostimuline hormone), qui à leur tour stimuleraient la fonction thyroïdienne. Peut-être pourrait-on par un mécanisme similaire expliquer, chez le Hérisson d'Algérie, l'évolution de la fonction thyroïdienne telle qu'elle a été observée pendant les saisons, de telles régulations restent à démontrer, l'hypothèse d'un effet de la glande pinéale sur le fonctionnement thyroïdien impliquant des mécanismes centraux et passant par un effet modulateur de la libération de neurosécrétions hypothalamiques, paraît très vraisemblable comme de nombreux travaux sur la physiologie de l'hibernation.



# Conclusion

Ce travail de recherche abordé a pour thème essentiel l'étude des variations morphologiques et physiologique de la glande thyroïde chez un modèle hibernant ; le hérisson d'Algérie. Dans un premier temps nous avons voulu confirmer la faculté de l'hibernation et décrire ses caractéristiques chez cette espèce par l'étude des variations de la température corporelle en fonction de la température ambiante.

Le phénomène d'hibernation tel qu'il a été défini, recouvre une suite complexe d'évènements composés d'alternances de phase de torpeur et de réveil spontanés. Ce passage successif périodique ou non, de l'état d'eutherme à l'état d'hypothermie implique une régulation physiologique complexe, elle même dépendante des caractéristiques de l'environnement. Devant cette complexité éco-physiologique non encore connue chez le Hérisson d'Algérie, nous nous sommes questionnés sur la relation qui peut exister entre les différentes fonctions physiologiques et l'hibernation. Selon des données bibliographiques de base portant sur la physiologie des mammifères hibernants (Hérisson d'Europe, Hamster, Marmotte...etc.), nous nous sommes intéressés au fonctionnement thyroïdien pendant l'hibernation et pendant la reprise de l'activité. Ce choix est justifié par l'importance de cette glande, dans la constitution des réserves métaboliques qui font partie intégrante de la gestion énergétique de l'hibernation.

La première partie de ce travail, qui a consisté en la mesure de la Température corporelle ( $T_c$ ) à l'aide des enregistreurs de température (i-Buttons) nous a permis de mettre en évidence la succession de trois phases distinctes chez le Hérisson d'Algérie ; **l'entrée en hibernation** (en automne) ; **l'hibernation proprement dite** (décembre-mars) et **la sortie d'hibernation** (au printemps).

Ces phases sont caractérisées par l'existence de nombreuses torpeurs ( $T_c < 33^\circ\text{C}$ ) interrompues par des phases d'eutherme ( $T_c > 33^\circ\text{C}$ ). Les premières torpeurs de courtes durées (ou torpeurs journalières) observées en novembre sont succédées par des torpeurs de longue durée de décembre à début mars (plusieurs jours, forte amplitude et  $T_{c \text{ min}}$  proche de la  $T_a$ ), puis à nouveau, des torpeurs journalières à partir du mi- mars.

Pendant l'hibernation, les torpeurs les plus longues (4 à 9 jours) correspondent aux  $T_c$  les plus basses ( $11^\circ\text{C}$ ) qui sont observées simultanément avec les minima saisonniers des  $T_a$  ( $10^\circ\text{C}$ ). Les variations du niveau de la  $T_a$  influencent donc directement sur le niveau de la  $T_c$  de l'animal et les durées relatives des torpeurs et des eutherms. Pendant la phase d'eutherme, la  $T_c$  suit les variations de la  $T_a$  avec un léger déphasage (2 à 3 h). L'activité du

Hérisson d'Algérie est soumise aux variations saisonnières de son environnement, mais il n'est pas exclu que la photopériode pourrait aussi jouer un rôle synchroniseur de l'entrée en hibernation.

Chez les animaux expérimentés, les phases de torpeur commencent le plus souvent durant la deuxième partie de la nuit, tandis que les euthermies se produisent pendant la deuxième partie de la journée, cette programmation met en évidence une gestion énergétique adéquate par rapport à la variation nyctémérale de la Ta. Il peut donc être envisagé que la température extérieure joue un rôle dans la régulation de la séquence hypothermie-euthermie, mais il est évident que l'intervention d'autres facteurs (internes ou externes) est également à retenir.

La vie active est marquée par la persistance des torpeurs journalières et de l'hétérothermie au printemps. Cette hétérothermie printanière suscite des questions qui nous laissent suggérer des hypothèses liées aux conditions d'élevage (manque de rayonnement solaire naturel, influence de l'alimentation artificielle).

Le bilan énergétique calculé chez les animaux selon les durées de torpeur et d'euthermie, montre que le Hérisson d'Algérie femelle utilise les torpeurs pour économiser de l'énergie pendant la mauvaise saison (automne et hiver).

L'observation de l'anatomie externe de la glande a permis d'établir une première description morphologique de la thyroïde avec ses particularités de forme et de localisation.

Les données sur le poids de la thyroïde constituent un paramètre important qui nous révèle une variation saisonnière bien marquée. Il fluctue entre les valeurs maximales en hiver et les valeurs minimales au printemps.

Le dosage hormonal de la thyroxine se distingue par un taux minimal en automne, une reprise d'activité hivernale et maintenue élevée au printemps. Les cycles saisonniers au printemps de la thyroïdémie et le poids de la glande ont tendance à évoluer en opposition de phases.

L'étude histologique effectuée sur la thyroïde du hérisson d'Algérie a clairement montré que cette glande passe par des phases alternées de repos et d'activité. Des signes d'activités pendant l'hibernation ou les animaux présentent des hypothermies encore profondes. Cette reprise d'activité hivernale est plus importante en période de réveil.

Résumant les résultats obtenus, sur les variations pondérales, histologiques et hormonales de la thyroïde chez le Hérisson d'Algérie femelle, nous concluons que, les changements de l'activité de cette glande passent par un cycle, caractérisé par un repos automnal, une reprise hivernale et une séquence d'activité maximale printanière.

L'hibernation et le fonctionnement thyroïdien présentent deux aspects bien distincts, l'un caractérise le repos hivernal et l'autre caractérise la reprise de l'activité. Cependant, on ne peut pas prendre des variations dans cette activité pour la raison directe de réveil et du sommeil hivernal de l'animal. Il faut supposer plutôt, que les changements de l'activité de la thyroïde se manifeste probablement sous l'influence stimulante d'autres glandes tels que, les gonades, l'hypophyse, les glandes surrénales...etc.

Chez le hérisson, les facteurs de l'environnement agiraient en synergie pour préparer l'entrée en hibernation en provoquant l'involution de la thyroxinémie et favorisant ainsi la constitution des réserves adipeuses. Celles-ci doivent être maximales pour que l'hibernation puisse s'établir en réponse aux conditions défavorables du milieu. Le réveil printanier est bien corrélé avec l'activité endocrine thyroïdienne, les hormones thyroïdiennes jouent un rôle de signal d'entrée en hibernation et de passage à la vie active.

Notre étude montre que le cycle saisonnier de l'hibernation s'accompagne de modifications caractéristiques de l'activité de la thyroïde. Celle-ci s'invole au début de l'hibernation mais reprend dès décembre une certaine activité qui devient très intense peu avant le réveil vernal. Il est pourtant délicat de relier la chute de la production calorifique de l'hibernation à la mise au repos de la thyroïde, puisque chez ces animaux la dépense énergétique est très élevée au cours des réveils périodiques qui interrompent le sommeil. L'activation hivernale de la thyroïde semble ainsi représenter une réponse physiologique conjointe à l'évolution des facteurs de l'environnement, qui pourrait être perçue durant l'hibernation au cours des réveils périodiques.

En perspective, il serait intéressant d'approfondir les données de l'hibernation sur un effectif d'animaux plus important et en fonction de leur statut (âge, sexe,...ect), dans leur milieu naturel.

Notre contribution à l'étude du fonctionnement thyroïdien a apporté des données préliminaires et partielles, dans ce sens nous souhaiterons que les études sur la biologie de la thyroïde soient poursuivies pendant un cycle annuel complet. Cela pourrait être possible, en maîtrisant d'autres techniques de prélèvement sanguin tel que, le cathétérisme artériel chronique qui permet de suivre régulièrement l'évolution de la concentration plasmatique sans perturber les animaux.

Cette technique sera certainement très efficace pour obtenir des taux hormonaux endocrino-métaboliques de base qui pourrait être sensible aux fluctuations nycthémérales et aux agressions inhérentes de l'expérimentation.

Il est aussi intéressant d'approfondir le fonctionnement thyroïdien par l'utilisation des techniques biochimique plus crédible telle que, l'autoradiographie. Cette technique permet de suivre l'activité d'une dose traceuse de l'iode radioactif ( $I^{131}$ ) dans la thyroïde.

Il est de toute façon évident, même si le niveau du couplage de processus physiologiques est encore inconnu chez le Hérisson d'Algérie, qu'il existe des interrelations fonctionnelles strictes entre le cycle annuel de l'activité générale locomotrice complexe chez le Hérisson en raison de l'existence du phénomène d'hibernation, et la programmation des grandes étapes des cycles biologiques (cycle annuel de la fonction de la reproduction, des glandes endocrine à compétence métabolique, de la constitution et de l'utilisation des réserves organiques). De ce fait, même dans une perspective purement éco-physiologique (étude mécanistique de la régulation des cycles endocrines), il est nécessaire d'avoir une parfaite connaissance du cycle de l'activité générale locomotrice et des relations qui existent entre celui-ci et les caractéristiques de l'habitat dans lequel vit le Hérisson. L'expérimentation physiologique qui sera entreprise dans l'avenir objectivera la causalité de ces phases.

# **Références bibliographiques**



- **Abdelmagied A (2000)**- Light and electron microscopic study of the thyroïd gland of the camel (*came-lus dromedarius*). *Anat. Histol. Embryol.*,**29**, 331-336.
- Adler L (1926)** - Der Winterschlaf. Handb. Norm. Path. Physiol.p17, 105.
- Agrane S (2001)** - Insectivorie du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* (Lerboulet 1842) (Mammalia, Insectivora) en Mitidja Orientale (Alger) et près du lac Ichkeul(Tunisie). Thèse de Magister, Inst.Nat.Agr., El-Harrach, Algérie, Algérie; 198p.
- Akil H, Watson S, Young E, Leiws M, Khaaxhaturian H, Walker J (1989)**-Endogenous opidis: biology and function. *Ann. Rec. Neurosci.*, 7, 233-255.
- Ambid L, Cazaneuve C (1984)**- niveau protéique de la ration alimentaire, métabolisme énergétique et activité du système nerveux sympathique périphérique chez le lérot (*Eliomys quercinus L*) . *Bull. Soc. Echophysio.* 9, 203-223.
- Ambid L, Berges R, Cazaneuve C (1986)** - Seasonal body weight rhythm and circannual endocrino-metabolic cycles in the hibernating ground squirrel( *Citellus tridecemlineatus*). Pp 371-378 in: Assenmacher I& Boissin J (eds) . Endocrine regulations as adaptive mechanisms to the environment. Editions du C.N.R.S.; Paris.
- Ammam M (1987)** – Inventaire de la faune du Djebel El Achch (Saida) en vue d'un aménagement cynégétique. Thèse ing.Agr., El Harrach, 100p.
- Andreson D, Armitage K, Hoffman R (1982)**- Socioecology of marmots: female reproductive strategies. *Ecology* , 57, 522-530.
- Anonym (2007)**- Les glandes, thyroïde et parathyroïde , Anatomie de cou. Faculté de Médecine de Grenoble (UFJ).p10.
- Anonym (2010)**- Guide ALD 30- Cancer de la thyroïde . Institut national du cancer. [www. Has.santé.fr](http://www.Has.santé.fr) – [www.e.cancer.fr](http://www.e.cancer.fr).
- Annika Herwik (2007)** - Torpor and timing: Impact of endogenously controlled hypothermia on the circadian system of two hamster species. Thesis Dr. Rer. Nat.univ. of veterinary Medicine Hannover, 137 p.
- Arnaud Coline (2012)** - Effets de l'environnement social et physique sur l'évolution des comportements de reproduction .Étude chez un mammifère hibernant et un oiseau migrateur. Thèse en spécialité «Évolution, Écologie, Ressources Génétiques, Paléontologie» Université Montpellier 2 .Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive:144p.
- **Aslouj C (1997)**- Contribution a l'étude anatomique et histologique des glandes thyroïde et parathyroïde du dromadaire (*Camelus dromedarius*). *Thèse Doct. Méd. Vét.*, n° 15, Sidi Thabet.
- Athmani L (1988)** – Comparaison faunistique entre trois stations dans le parc national de Belezma (Batna). Thèse Ingénieur. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach, (Alger), 97 p.

- Baaziz B (1991)** – Approche biogéographique de la faune de Boughzoul. Régime alimentaire de quelques Vertébrés supérieurs. Thèse Ing. Agr., El-Harrach, Algérie, 63p.
- BAICHI A., 1987** – Etude faunistique dans le parc National de Thniet El – Had notamment en cédraie. Thèse Ingénieur. Agro., Ins. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 101 p.
- Baouane M (2005)** - Nouvelles techniques d'étude du régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* (*Erinaceidae*, *Mammalia*) aux abords du marais de Réghaia. Thèse de Magister, Inst. Nat. Agr., El-Harrach, Algérie; 208 p.
- Baouane M, Doumandji S et Talab A (2004)** – Contribution à l'étude du régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* (Lereboullet, 1842) (*Mammalia*, *Erinaceidae*) aux abords du marais de Réghaia. Journée protec. Vég., 15 mars 2004, Dép. Zool. agro. For. Inst. nati. agro., El Harrach, p. 31.
- Barone R, Montane k (1978)**: Anatomie comparée des animaux domestiques. Tome I, Fascicule 3, Imp. Beaux arts, Lyon, , 618.
- Baouane M (2005)** - Nouvelles techniques d'étude du régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* (*Erinaceidae*, *Mammalia*) aux abords du marais de Réghaia. Thèse de Magister, Inst. Nat. Agr., El-Harrach, Algérie; 208 p.
- Barnes B.M and Ritter D (1993)** – Patterns of body temperature change in hibernating Arctic ground Squirrels. in life in cold eds. Carey C.G.L, Florant GL, Wunder B.A , Horwitz B *westview, Boulder C.O.* pp.119-130.
- Barret H (2004)**- Saesonal regulation of reproduction in Mammals in the physiology of reproduction 2<sup>nd</sup> edition, volume2. P541-583. New York. Reven.
- Benjoudi D (1995)** – Place des insectes dans le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* Duvernoy et Lereboullet 1842 (*Mammalia*, *Insectivora*) dans la région de Iboudraréne (Grande Kabylie). Thèse de Magister, Inst.Nat.Agr.,El-Harrach,Algérie; 123p.
- Ben-Mouhoub k (2013)**- Hibernation et reproduction du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* Lereboullet, 1842 : interrelation et régulation par les factures externes. Thèse Magister. Université.bejaia.64.
- Benoit E, Romdane N.M, Garnier F (2006)**- Exploration fonctionnelle de la thyroïde et des glandes surrénales chez le chien. *Rec. Med. Vet.*, 163, 1037-1042.
- Bernard C (1992)**- Sorie de l'hibernation chez le hérisson femelle (*Erinaceus europaeus*) : Roles respectifs des facteurs de l'environnement et d'une rythmicité interne. *D. E. A. de l'université de Lyon*, pp23.
- Berthoud G (1978)** – Note préliminaire sur les déplacements du hérisson européen, *Erinaceus europaeus* L. *Terre et vie*, vol. 32 : 73 – 82.
- Berthoud G (1980)** -Le Hérisson (*Erinaceus europaeus* L.) et la route. *Terre et vie*, **34**:361-372p.
- Berthoud G (1982)** – Contribution à la biologie du Hérisson (*Erinaceus europaeus* L.) et applications à sa protection. Thèse Doc. Sci. Université de Neuchâtel: 250 p.

- Blum J, Gingins M, Vitins P, Bicker H (1980)**- thyroid hormone level related to energy and nitrogen balance during weight loss and regain in adult sheep. *Ecta Endocr*, 93, 440-447.
- Bockler H, & Heldmaier G (1983)** - Interaction of shivering and non-shivering thermogenesis during cold exposure in seasonally-acclimatized djungarian hamsters (*Phodopus Sungorus*). *J. Therm. Biol.*, 8, 97-98.
- Beck-Peccoz P, Bonomi M, Persani L (2005)**. Hormone thyroïdienne. *EMC-Endocrinologie*, 2, 140-147.
- Boissin agasse L, Coll D (1979)**- Variations saisonnières du volume testiculaire et de la testostérone chez deux mustélidés ; le Furet (*Mustela furo*) et le Vison (*Mustela vison*) . *J. Physiolo*, Paris (Sous Press).
- Boitani L, Reggani G (1984)**- Mouvments and activity patterns of hedgehogs in mediterranean coastal habitats. *Z. Saugetierkd*, 49, 193-206.
- Boubet Boris (1996)** - L'hibernation de la Marmotte des Alpes *Marmota marmota*, Thèse de médecine vétérinaire présentée à l'Université Claude Bernard Lyon I: 324p.
- Brahmi K (2005)** – Place des insectes dans le régime alimentaire des mammifères dans la montagne de Bouzeguène (Grande Kabylie). Thèse magister, Ins. Nat. Agr. El Harrach, 300p.
- Brochi P (1987)** – Traité de Zoologie agricole. Ed. Baillière J.-B. et Fils, Paris, 984p.
- Burton M (1976)** – Tous les mammifères d'Europe en couleurs. Elsevier – Sequoia , Paris, 256 p.
- Butler A (1948)** – On the evolution of the skull and teeth in the *Erinaceidae*, with special reference to fossil material in the British museum. *J. Zool. Lond.* Vol . 118 : 446 – 50.
- Belshaw B, Cooper T, Beeker D (1975)** The iodine requirement and influence of iodine intake on iodine metabolism and thyroid function in the adult beagle. *Endocrinology*, 96 (5), 1280-1291.
- Benjamin S, Stephens L, Hamilton B (1996)**- Associations between lymphocytic thyroiditis, hypothyroidism, and thyroid neoplasia in beagles. *Veterinary Pathology*, , 33 (5), 486-494.
- Benoist C., Mathis D (1997)**- Autoimmune diabetes: Retrovirus as trigger, precipitator or marker? *Nature*, 388, 833-834.
- Cabanne F et Bonenfant J L (1980)** – Anatomic Pathologique Principes de pathologie générale et spéciale. Ed. Maloine SA. éditeur Paris 1980.
- Carey H, Sills N, Gorham D (1972)**- Stress proteins in mammalian hibernation. *Am. Zool.* 39, 825-835.
- Carey H, Rhoads C, Aw T (2003)**- hibernation induces glutathione redox imbalance in ground squirrel intestine. *J. Comp. Exp. Physiol. B.* 173, 269-276.
- Canguilhem B, Malan A (1969)**- Seasonal and endogenous variations of plasma testosterone (T), thyroxine (T<sub>4</sub>) and triiodothyroxine (t<sub>3</sub>) in the European hamster. In

“Endocrine regulations as adaptative mechanisms to the environment”, eds Assenmacher I. Boissin J, Editions du CRNS, Paris, p291-295.

**-Canguilhem B (1985)**- Rythmes circannuels chez les hibernants sauvages. *Can. J. Zool.*, 63: 453-463.

**-Canguilhem B (1989)** – Extrnal and endogenous control of body weight rhythm in the european hamster, *Cricetus cricetus* . In “Living in the cold”, eds Malan A & Canguilhem B., Les éditions INSERM/John Libbey Eurotext Ltd, p.25-32.

**-Canguilhem B (1970)**. - Effets de la radiothyroïdectomie et des injections d'hormone thyroïdienne sur l'entrée en hibernation du Hamster d'Europe, (*Cricetus cricetus*). *C. R. S. Biol.*, 164 n°6, 1366

**-Canguilhem B (1973)**- Rythmes circannuels du poids et de sommeil hibernant chez le Hamster d'Europe. Role de la photopériode, de la température, de la thyroïde et des monoamines cérébrales. *Thèse de Doctorat és sciences. Université de Stasbourg, pp.224.*

**-Capheart R, Burns J, (1979)**- Effects of temperature, photoperiod and thiourea on the thyroid of the Woodrat (*Neotome micropus*). *J. Mammal*, 57, 567-569.

**-Castaing L (1985)** - Hibernation et reproduction du herisson. (*Erinaceus europaeus L*) : interrelations et regulation par les facteurs externes. Thèse de doctorat science. Univ. François Rabelais.Tours, France. 123p.

**-Castaing L, El omari B (1987)**- Hibernation et reproduction du Hérisson (*Erinaceus europeus*) interrelations et régulation par les facteurs externes. Thèse Doc. Es Sciences, Univ. Francois-Rabelais, Tours, pp.123.

**-Chebini F (1987)** – Inventaire ornithologique et recherches sur la reproduction des mésanges du genre *Parus* dans trois stations de la forêt de l'Akfadou. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro. El Harrach (Alger), 70 p.

**-Cochet N, Le Berre M, Le Guelte L. (1992)** Rhythm and behaviour in a group of three hibernating alpine marmots (*Marmota marmota*). In the "1st International Symposium on Alpine Marmot and genus *Marmota*", (Bassano b., Durio P., Gallo Orsi U. & Macchi E., Eds) Torino, Italy, pp 55-61.

**-Collins V, Cameron D (1984)**- Effects of diet and photoperiod on hibernation in the woodland jumping mouse, *Napaeozapus insignis* (Miller). *Can. J. Zool.*, 62, 1938-1945.

**-Cossing R, Bowler K (1987)**- Temperature biology of animals. Chapman and Hall, London.

**-Curasson G (1947)**- Le chameau et ces maladies. Paris, Vigot Fr., , 462 p.

**-Cranford J A (1987)** – Body temperature, heart rate and oxygen consumption of normothermic and heterothermic western jumping mice (*Zapus princeps*). *Comp.Biochem.Physiol.* A 74:595-599.

**-Cristinelli A (2006)** - Torpeur et Hibernation chez les vertébrés Homéothermes, thèse de Doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort;132p.

- Daminet S, Ferguson D (2003)**- Influence of drugs on thyroid function in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, **17**, 463-472.
- Dauncey M, Ramsden D, Kapadi A, Marcari M, Ingram D (1983)**- Increase in plasma concentrations of 3, 5, 3'- triiodothyronine after a meal and its dependence on energy intake. *Hormone and metabolic Research*, **15**, 499-502.
- Davison M, Chopra J (1979)**- Effects of carbohydrate and non-carbohydrate sources of calories on plasma 3, 5, 3'- triiodothyronine concentrations in man. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **48**, 577-581.
- Davis D (1976)** -Hibernation and circannual rhythms of food consumption in marmots and ground squirrels. *Q. Rev. Biol.*, **51**: 477-514.
- Dechert (1986)** – Le Hérisson. Cours Univ. Temps libre, Cholet (25 Nov). Pp. 1-19.
- Derdoukh W (2006)** - Bioécologie trophique des hérissons *Atelerix algirus* et *Hemiechinus (Paraechinus)* aethiopicus dans différentes régions en Algérie. Mémoire Mag. agro., Inst. nati. agro. El Harrach, 444 p.
- Dmi'el R, Schwarz M (1984)** – Hibernation patterns and energy expenditure in hedgehog from semi-arid and temperate habitats. *J. Comp. Physiol. B*, **155**, 117-123.
- Doumandji S, Doumandji A (1992a)** - Note sur le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie (*Erinaceus algirus*) dans la banlieue d'Alger. *Mammalia* **56** :318-321p.
- Doumandji S, Doumandji A (1992b)** - Note sur le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie (*Erinaceus algirus*) dans un parc d'El Harrach (Alger). *Mém. Soc. R. belge Entomol.* **35** :403-406
- Dubois R (1986)**- Physiology comparée de la Marmotte. Annales de l'université de Lyon. Masson et Cie. Paris, pp.29.
- El Omari B (1987)** – Régulation de la fonction de la reproduction et de l'hibernation par les facteurs de l'environnement chez le hérisson (*Erinaceus europaeus L.*) aspects neuroendocriniens et métaboliques. Thèse. Doc. Science. De La Vie . Tours- France. 164p.
- Eisenzimmer M. (1992)**- Exploration fonctionnelle de la thyroïde du chien: étude bibliographique. Th. Med. Vet., Lyon, 005.
- Fontaine M, Olivereau M (1963)**- Nutrition et sexualité chez les poissons. Journées Scient. Centre National Coord. Et. Rech. Nutrit. et Alimentat, XI - La nutrition chez les Poecilothermes. , , A 128 A 148.
- Fowler P A (1988)**- thermoregulation in the female hedgehog, *Erinaceus europaeus*. *Reprod. Fert.*, **84**, 259-272.
- Fowler P A, Racey P (1990)** - Seasonal cycles of body temperatures and aspects of heterothermy in the hedgehog, *Erinaceus europaeus*. *J. Comp. Physiol.*; **160**, 29-30.

- Fowler P A, Racey, Hugget S (1990)**- Daily and cycle of body temperatures and aspects of heterothermy in the hedgehog, *Erinacens europeens*. *J.Comp.Physiol.*; 170,29-30.
- French A (1977)** - Circannual rhythmicity and entrainment of surface activity in the hibernator *perognathus longimembris*. *J. Mammal.* 58, 37-43.
- French A (1982)**- Effects of temperature on the duration of arousal episodes during hibernation. *J. Appl. Physiol.* 52, 216-220.
- French A (1985)**- Allometries of the durations of torpid and euthermic intervals during mammalian hibernation; A test of the theory of metabolic control of the timing of changes in body temperature. *J. Comp. Physiol.* 156B, 13-19
- Festing M F W (1976)** - Hamsters. In: The UFAW Handbook on the care and Management of Laboratory Animal (5<sup>th</sup> Ed.). Churchill Livingstone, London, UK.P:248-266p.
- Frey H (1980)** – Metabolisme énergétique de *Suncus etruscus* (*Soricidae Insectivora*) en torpeur. *Rev.Suisse Zool.* 87:739-748.
- Gabe M, Agid R, Martoja A, Saint-Girons M C, Saint-Girons M (1963)** - Données histophysiologique et biochimiques sur l'hibernation et le cycle annuel chez *Elyomys quercinus*. *Arch.Biol., Liège*, 75, 1-87.
- Gabe, M., M.Martoja, M(1969).**: Données histologiques sur les cellules à calcitonine de la glande thyroïde du Lérot (*Eliomys quercinus* L.). *Arch. Anat. mier. Morph. exp.* 58, 105-122
- Gaisler J (1984)** – Mammifères de la région sétifienne. *Bull. Zool. Agri., Inst. Nat. Agro. El Harrach, (Alger) n° 8, p. p. 1173 – 2300.*
- Geisser F et Baudinette E R V (1990)** – the relation between body mass and rate of reawakening from hibernation and daily torpor in mammals. *J.Exp.Biol.* 151: 349-359.
- Geiser F (1996)** - Hibernation endotherms. In Geiser F, Hulbert AJ, Nicol Sc, editors. *Adaptation to the cold: Tenth International Hibernation Symposium*. Armidale, Australia: University of New England Press: 81-86.f.
- Geiser F, Goodship N, Pavey C R (2000)** – Was basking important in the evolution of mammalian endothermy . *Naturwissenschaften* 89:412-414.
- Geiser F (2004)** – Metabolic rate and body temperature reduction during hibernation and daily torpor. *Annu.Rev.Physiol.* 66:239-274.
- Geiser F, Kortner G, Maddocks T A, Brighan M R (2004)** – Torpor in Australian birds. *Proceeding, 23<sup>th</sup> International Ornithological Congress, Beijing, Acta Zoologia Sinica. In press.*
- Gilles A (2007)**- Effet d'une supplémentation en iode et sélénium chez la vache gestante sur le statut immunitaire du veau nouveau-né. *Thèse Doctorat. Université Toulouse*.P67.
- Germain M (2008)**- Les Hérissons , De Vencchi. 118 P



- Giroud Sylvain (2008)** - Différences saisonnières des mécanismes d'économie d'énergie, d'une Primate Malgache hétérotherme : le Microcèbe, Thèse de Doctorat, Univ. Louis Pasteur Strasbourg;179p.
- Genermont j, Perrin C (2003)** - Pourquoi la nature s'engourdit Graines, Kystes, Hibernation, Gènes au repos Editeur: EDP sciences:328p.
- Goldman B (1989)**- Effects of photoperiod on the hibernation cycle of the Turkish hamster. In "Living .in the cold. II", eds.Malan Z, Canguilhem B, Les éditions INSERM/John Libbey Eurotext Ltd, p.5-15.
- Guermas F (1987)** – Contribution à l'étude de la faune (Oiseaux – Mammifères) de la région du Djurdjura, station de Tikjda. Diversité et mesures de conservation. Thèse Ingénieur. Agro., Institut. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 105 p.
- Gullo G(2005)**- Echographie des glandes thyroïdes et parathyroïdes. Imagerie médicale formation masson 2<sup>ème</sup> édition 2001.
- Hamdine W (1991)** – Ecologie de la genette (*Genetta genetta* LINNE 1758). Dans le parc national du Djurdjura – Station de Tala – Guilef. Thèse Magister. Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 152 p.
- Harbi E (1991)** – Répartition des mammifères d'Algérie. Thèse Ingénieur. Agro., Institut. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 97 p.
- Heim De Balsac H (1936)** – Biogéographie des mammifères et oiseaux de l'Afrique du Nord. Supp. Bull. Biol. de France et de Belgique, T. XXI, Paris, 446 p.
- Heldmaier G, Klingenspor M, Wemeyer M, Lampi BJ, Brook S SPJ, Storey KB (1999)** - Metabolic adjustments during daily torpor in the Djungarian hamster *Am. J. Physiol.* **276**: 896-906p.
- Heldmaier G, Ortmann S, Elvert R (2004)**- Energy requirements of hibernating Alpine Marmits Pp. 175-183 in Careu C, Florant Gl, Wunder Ba et Horwiz B. *life in the cold: Ecological, Physiological, and Molecular mechanisms. Westview Press, Boulder, San Fransisco, Oxford.*
- Henry J (1982)**- Circulating opioids: possible physiological roles in entral nervous function. *Neurosci. Biobehav. Rev.*6,299-245.
- Hericher T (2003)**- fonction thyroïdienne et infertilité dans l'espèce canine : étude dans cinq races. Thèse de doctorat, Ecole vétérinaire d'Alfort, np 126.
- Herter K (1938)** – Biologie der europäishen Igel.Monogr.Wildsäugetiérés, 5. Liepzig; 222p.
- Herter K (1934)** – Uber die veberitung und das verhalten europaishen Igel. Sitz. Natur. Greunde Berlin, 340-344.
- Herter K (1965)** – Uber das paarungsverhalten des Igel. Stzgh. Gesellsch. Naturforsch. Freude Belin (NF) 5 n° 2 p. p: 57 – 77.

- Hudson J (1973)**- Torpidity in mammals. In Comparative physiology of thermoregulation ed by Gc Wittow. Academic Press, New York, 97-165.
- Hudson J (1980)**- Role of the endocrine glands in hibernation with special reference to the thyroid gland. In "survival in the cold hibernation and other adaptations" eds Musacchia X et Jansky L, north-Holland, p.35-54.
- Hudson J, Wang L (1976)**- thyroid function in desert ground squirrel in " Physiological systems in semiarid environments" eds, Hoff C et Reidesel M, Univ. of New Mexico Press Albuquerque, P.17-33.
- Hudson J, Deavers D (1976)**- thyroid function and basal metabolism in the ground squirrels, Physio. Zool, 49, 425-444.
- Lazar M (1993)**- Thyroid Hormone Receptors: Multiple Forms, Multiple Possibilities. *Endocrine Reviews*, 14 (2), 184-193.
- Libois R M, Rosoux R (1982)** - Le Hamster commun (*Cricetus cricetus L*) en Belgique; Statut actuel et ancien des populations , *Annls Soc.r.zool.Belg.*-**T112**-fasc.2-Bruxelles : 227-236p.
- Jallageas M (1975)**- Annual plasma testosterone and thyroxine cycles in relation to hibernation in the edible dormouse, *Glis glis*. *Gen. Comp. Endocrinol*, 50, 452-462.
- Jallageas M, Assenmacher I-** (1983) Annual plasma testosterone and thyroxine cycles in relation to hibernation in the edible dormouse *Glis glis*. *Gen. Comp. Endocrinol*, 50: 452-467.
- Johansen K (1996)**- Distribution of blood in the arousing hibernator. *Acta, Physio. Scand*, 52, 379-386.
- Johansen K, -Johansen B (1972)**- seasonal variation in the physiology and biochemistry of the European hedgehog including comparisons with non hibernators, guinea-pig and men. *Acta physiologica Scandinavia, supplementum* 380, 49-53.
- Jourd P (2008)**- Le Hérisson d'Europe. Ed. Delachaux et Niestle 207p.
- Krassas G, Pontikides N. (2004)**- Male reproductive function in relation with thyroid alterations. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 18 (2), 183-195.
- Kilflez D (1969)**- Determination of total serum thyroxine in the Dog by competitive protein binding of labelled thyroxine. *Am. J. Vet. Res.* 30, 929-932.
- KANeko J (1997)**- (B) Thyroid function. In: *Kaneko J.J., Harvey J.W., Bruss M.L. Clinical Biochemistry of Domestic Animals*, 5<sup>th</sup> Ed., Academic Press, San Diego, USA, , 571-588.
- Kayser Ch (1961)** - The physiology of natural hibernation. Pergamon Press. Oxford. 325 p.



- Khireddine A., 1977** – Etude écologique pour un aménagement cynégétique dans le Massif, Senabla Chergui à Djelfa. Thèse Ingénieur. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), p 113.
- Kilduff T, Heller H (1989)**- Neurochemical studies of hibernation. In “ *Living in the cold II*” eds Malan A et Caguilhem B, Les éditions INSERM/John Libbey Eurotext, London-Paris, p.467-475.
- Kowalski K, Rzebik – Kowalska B (1991)** – Mammals of Algeria. Ed . Polish, Acad. Sci. Inst. Syst. and Evol. Mammal, p: 48 – 52.
- Kristofferssone R, Soivio (1964)** – A comparative long-term study of hibernation in finish and german hedgehogs in a constant ambient temperature. *Ann Acad Sci. Fenn.Sertiv*; 22p.
- Kristofferssone R, Suomalainen P(1964)**- Studies on the physiology of the hibernating hedgehog. *Ann. Acad. Sci. Fenn, Ser. AIV. 76, 1-11.*
- Lachiver F, Oliveau M, kayser (1952)**- l’activité de la thyroïde d’un hibernant, le Lérot (*Eliomys quercinus*) au cours du sommeil hivernal de la léthargie induite en été. *J. Physiol, Suppl. 1bis, 59-250.*
- Lachiver F, Petrovic V (1960).** - Sur divers aspects de l’activité thyroïdienne chez deux rongeurs hibernants : le Lérot (*Eliomys quercinus*) et le Spermophile (*Caelius citellus*). *J. Physiol., Fr, 12, 140.*
- Legeay Y (1999)**- Hypothyroïdie canine. *Encyclopédie Vétérinaire, (Elsevier, Paris), Endocrinologie, 0200, 8p.*
- Lincoln B.A, Klandorf H, Anderson N, (1980)** : photoperiodic control of thyroid function and wool and horn in rams and the effect of cranial sympathectomy. *Endocrinology 107, 1543-1548.*
- Lochmiller R, Hellgran E, Varner LGrant X (1986)**- serum and urine biochemical indicators of nutritional status in adult female collared peccaries, *Tayassu tajacu. Camp. Biochem. Physiol.83A, 477-488.*
- Malan A (1992)**- l’hibernation des mammifères : un problème d’énergétique. *Bull. Soc. Echophysiol, XVII, 35-41.*
- Maurael D, Coll J (1977)**- cycle annuel de la testostéronémie et de la thyroïdémie chez le Blaireau européen, *Meles meles. C.R. Acad. Sci. Inst, France, 284, 1577-1580.*
- Maurael D, boissin J(1979)**- Etude des interactions testostéroïdiennes chez le renard et le Blaireau. *Com. J. Zool. (sous presse).*
- Martoja R, Marotoja M (1967)** – Initiation aux techniques de l’histologie animale Masson et Cie .Paris.
- Matthews L.H (1972)** – La vie des mammifères. « La grande encyclopédie de la nature ». Ed. Bordas, Paris, Vol. 15, T. I, 383 p.

- Michener G (1977)**- Spring emergence schedules and vernal behavior of richrdson's ground squireel why do males emere from hibernatio before females ? Behav. Ecol. Sociobiol, 14. 29-38.
- Michener G (1979)**- The circannual cycles in ground squirrels, *Spermophilus richardsonii* kept in the constat conditions. Can. J. Zool.60, 760, 768.
- Mimoun K (2006)** - Insectivorie du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* (Lereboullet, 1842) dans la foret de Beni Ghorbi( Tizi Ouzou). Thèse Magister, Inst. Nat. Agr., El-Harrach, Algérie, 175p.
- Miller J, Swansov E, Spalding G (1964)**- Iodine absorption , excretion, recycling and tissue distribution in the dairy cow. J. Dairy Sci, 58, 1578-1593.
- Mimoun K et Doumandji S (2007)** – Place des insectes dans le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* (Lereboullet, 1842) dans la forêt de Beni Ghobri (Tizi-Ouzou). Journées Inter. Zool. agri. For , 8p.
- Morris P, Berthoud G (1987)** –La vie du hérisson. Editions Delachaux & Niestlé, Paris. 127p.
- Morris P (1973)** – winter nests of the hedgehogs (*Erinaceus europaeus* L.). ecologia, n° 11 p: 299 – 313.
- Mouhoub Sayah C (2009)**- Ecologie du Hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*) Lereboullet, 1842 (*Mammalia, Insectivora*) dans quelques stations du Djurdjura et dans la vallée de la Soummam. Thèse de doctorat d'état en science Agronomiques. Alger, 180p.
- Mordji D (1988)**– Etude faunistique dans la réserve naturelle du Mont Babor. These Ingénieur. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 100 p.
- Morovsky N (1980)**- Circannual cycles in golden- manted ground squirrels. Eseriments with food deprivation and effects of temperature on periodicity. J. Comp. Physiol, 136A? 355-360.
- Morovsky N (1985)**- Cycliad obesity in hibernation. The search for adjustabl regulator. In "Recant advances in obesity research, vol4"eds, Hisch Jet Van Itallie T, Libbey, London, p 45-56.
- Morovsky N (1986)**- Thermal effects on the periodicity, phasing, and persistence of circannual cycles. In Heller H, Musacchia X, Wang L, eds. Living in the cold. New York. Elsevier, 403-410.
- Morris P (1984)** –An estimate of the minimum body weight necessary for hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) to survive hibernation.*J.Zool.* (London). **203**:291-294.
- Mostefai N (1990)** – Contribution à l'étude de la faune (Oiseaux et Mammifères) du Parc national de Taza. Etude particulière de la Sittelle Kabylie et possibilité de réintroduction du Cerf de Barbarie. Thèse Ingénieur. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 86 p.

- Murray R Granner D Mayes P. (1993)-** Harper's Biochemistry, 23<sup>ème</sup> ed., Norwalk, Connecticut, U.S.A. : Appleton & Lange, , 919 p.
- Murphy B, Coll C (1966)-** Clinical evaluation of new method for the determination of serum thyroxine. *J. Clin. Endocrinom.* 25. 1069-1077.
- Nicon S, Andreson N (2007)-**control of breathing in the echidna (*Tachyglossus aculeatus*) during hibernation. *Comp. Physiology*, A147, 917-925.
- Nathalie C (1996)-** Lipolyse et acides gras dans deux dépôts adipeux blancs au cours du cycle saisonnier de la marmotte alpine (*Marmota marmota.* ( *Thèse Doctorat*). Université Claude Bernard - Lyon I -193, 96. 226.
- Laamari M (1985) –** Aperçu sur la faune à Oued El Biod dans la région d'Arris en milieu agricole et naturel. Thèse Ingénieur. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 60 p.
- Laamari M (1986) –** Bioécologie de la faune de la forêt domaniale des Aurès. Thèse Magister. Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 159 p.
- Lovegrove B G, Kortner G, Geiser F (1998) -** The energetic cost of arousal from torpor in the marsupial *Sminthopsis macroura*: benefits of summer ambient temperature cycles.*J.Comp.Physiol.B.* **169**:11-18.
- Lyman C P, Willis JS, Malan A, Wang L C H (1982) –** Hibernation and torpor In the mammals and birds. *Physiological Ecology*, Academic Press, New Yorck.
- Lynch, Raphael, Mellor, Spare, Inwood (1976) -** Techniques de laboratoire medical et pathologie Clinique tome 2. Maloine s.a.éditeur-Paris.
- Olivreau (1952)-** action da la thiourée et du thiouracile sur le comportement de l'iode radioactif dans la glande thyroide de deux téléosténeés marins. *Bull. mus. Nat*, 24p248.
- Passing H, Bablok W, Bender R, et al (1988) -** A General Regression Procedure for Method Transformation. *J Clin Chem Clin Biochem Nov*; **26**(11):783-790.
- Petterborg, 1978:** Effect of photoperiod on body neight in vole, *Microtus sontanus*. *Can. J. Zool.* 56, 431-435.
- Pengelley E (1957) -**Onset and cessation of hibernation under constant temperature and light in the golden ground squirre] (*Caelius lateralis*). *Nature.* 180: 1371-1372.
- Pierre C (2007)-** l'exploration biologique dans le diagnostic et la surveillance des maladies de la glande thyroid. *Vational Academy of clinical Biochemistry.* P201.
- Popovic V (1960) -** Endocrines in hibernation. *Bull. Mus, Comp, Zool. Harvard*, , 124, 105.
- Prosser C (1961) –** Temperature. in Prosser (C.L.), Brown (F.A,Jr), *Comparative animal physiology.* Sounders, Philadelphie, Londres. : 238-284.

- **Rajeb A, Amara A, Matoussi H, Rezeigui J (2011)**- Particularités anatomiques de la glande thyroïde du dromadaire (*Camelus dromedarius*). *Revue Méd. Vét.*, 2011, **162**, 4, 177-185
- Rapp p (1987)** –Why are so many biological systems periodic? *Porg . Neurobiol.*29, 261-273.
- Reeve N J (1994)** - Hedgehog.T. et A.D.Poyser (ed). London, 313p.
- Richard M, Anselme B, Baehr J Chaffard J, Mereaux J, Perilleux E, Philippe V (1998)**- Physiologie des animaux. Nathan, Paris. 294 ; 323-325
- Rowssel A (1984)**- Ultrastructure de l'épithélium folliculaire de la glande thyroïde du porc comparaison du porc belge et du porc de *piétrain* *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, 1974, 14 (3), 427-436.
- Saboureau M (1979)** –cycle annuel du fonctionnement testiculaire du hérisson. (*Erinaceus europaeus L.*) . Thèse de doctorat .Université François-Rabelais de Tours; 198p.
- Saboureau M, Boissin J (1981)**- peripheral metabolism of testosterone during the annuel reproductive cycle in the male hedgehog, a hibernating mammal. *Can.J.Zool.* 61 (12), 2849-2855.
- Saboureau M, Dutourné B (1981)** - The reproductive cycle in the male hedgehog (*Erinaceus europaeus L.*) study of endocrine and exocrine testicular function.*Reprod.Nutri.Devlopp.***21(1)**;109-126p.
- Saboureau M, Boissin J (1983)** – Endocrine cycles and hibernation in the hedgehog: mecanismes of addaptation to natural variations in the environnement.Pp 203-233 in: N.S.Margaris; M.Arianoutsou-Faraggitaki & R.J.Reiter (eds).*Plant.animal.and microbial adaptations to terrestrial anvironnement.* Plenum Publishing Corporation.
- Saboureau M, Castaing L, Boissin J, 1984**- Influence du taux plasmatique de testostérone et du jeune sur les variations automnales et hivernales de l'activité motrice générale du hérisson. *L. C. Acard. Sci. Paris* 299: 239-2444.
- Saboureau M, Castaing L, (1986)** - Hibernation and reproduction in the female hedgehog. Pp 191-200 in: Assenmacher I & Boissin J (eds). *Endocrine regulations as adaptive mechanisms to the environment.*Editions du C.N.R.S. Paris.
- Saboureau M, Vignault MP, Ducamp J J (1991)** - L'hibernation chez le Hérisson (*Erinaceus europaeus L.*) dans son environnement naturel: étude par biotéléométrie des variations de la temperature corporelle. *C.R.Acad.Sci.Paris* **313**:93-100.
- Saboureau M (1992)**. – Rôle de la photopériode et de la glande pinéale dans la régulation de la reproduction chez un mammifère hibernant: le Hérisson. *Bull.Soc.Ecophysiol.* **XVI(1-2)**, 39-52.
- Sahraoui Brahim K (1984)** – Les mammifères terrestres d'Algerie au musée de Maeght d'Oran et zoogéographie des mammifères terrestres d'Algerie. DES. Inst.Bio. Sci.Terr, Uni. Oran, 75.

- Saint-Girans M C (1973)** – Les Mammifères de France et du Bénilux (France marine exceptée).Edition Doin, Paris, 481p.
- Sayah C (1988)** – Comparaison fauristique entre quatre stations dans le parc national du Djurdjura (Tikdjda. Thèse Ing. Agro. Inst.Nati. Agro. El Harrach, 130p.
- Sayah C (1996)** – Place des insectes dans le régime alimentaire du Hérisson d’Algerie, *Erinaceus algirus* duvernoy et lereboullet; 1842(Mammalia, Insectivora) dans le parc national du Djurdjura ( Tikjda). Thèse Magister Agro.Inst.Nati.Agro., El-Harrach; 340p.
- Schilling D, Singer D, Diller H., 1986** – Guide des Mammifère d’Europe. Ed. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, Paris, 280 p.
- Schmid J (1996)** - Oxygen consumption and torpor in mouse lemurs(*Microcebus murinus* and *M.myoxinus*): Preliminary results of study in western Madagascar.Pp.47-54 in:Geiser F, Hulbert AJ & New England Press, Armidale.
- Schmidt-nielen K (1966)**- Animal physiology: adaptations and environment. Cambridge University .Press, Cambridge, pp, 966.
- Schwamberger K (2007)**- Bunte Welte der Tiere. Die einheimishen Sugetiere. Kosmos Franch’sche Verlagshandlung Stuttgart. 10-11.
- Scott G, Fisher K, Love J (1974)**- A telemetric study of the abdominal temperature of a hibernator *Spermophilus richerdsonii*, maintained under constat conditions of temperature and light during the active season. Can.J.Zool.52, 653-658.
- Seurat L (1924)** – Zoologique forestière de l’Algérie. Gouv. Gén. Algérie, Ecole des brigadiers des eaux et des forêts, 54 p.
- Sellami M, Belkacemi H , Sellami S (1989)** – Premier inventaire des mammifères de la réserve naturelle de Mergued (M’Sila, Algéria). *Mammalia*, T. **53** (1): pp. 116-119.
- Sempere A (1979)**- Neuroendocrine and endocrine control of the antler cycle in the roe deer. In “Antler development in cervidae”, R.D. Ceaser Wildlife Research Institut, Kingsville, Tx, pp. 109-122.
- Si Bachir (1991)** – Etude bioécologique de la faune du lac de Boulhilet ou petit Ank Djamel (Oum Bouaghi). Mémoire Magister. Univ. Sétif, Algérie, 139 p.
- Sicart R (1969)**- Variations saisonnières du taux de corticostérone plasmatique chez lz Lérot endormi ou réveillé.J. Physiolo. Paris. 55, 366-369.
- Sicart R (1972)**- Rôle physiologique de la thyroïde chez les hibernants. Thèse doctorat. Univ Toulouse. P170.
- Singher E Turner p (1969)**-New tests for the assessment of thyroid function in dogs, Comparative Haematology International, 7, 157-162.
- Superina M, Boily P (2007)**- Hiberantion and daily torpor in an armadillo, the pichi (*Zaedy pichy*) . *Comparative Biochemistry and physiology A* 148: 983-898.

- Skowron S, Zajaczek S (1937)**- Modifications histologiques des glandes endocrines durant le cycle annuel chez le Hérisson. C.R.Soc. Biol. 141, 1105-1107.
- Slap p (1989)**- Le métabolisme des hormones thyroïdiennes et son application au diagnostic et à la thérapeutique., Point Vét., 11, 75-83.
- Soivio A, Tahti H, Kristofferson R (1968)** – Studies on the periodicity of hibernation in the hedgehog (*Erinaceus europaeus L.*). III Hibernation in constant ambient temperature of 5C.*Ann.Zool.Fenn.* 5:224-226.
- Starck V (2000)**- Systematische Zoologie. Gustav Fischer, Iéna: 692-693 p.
- Strumwasser F (1960)**- Some physiological principals governing hibernation in *Citellus beecheyi*, Bull.Mus. Comp.Zool.Harv. 124, 285-318.
- Suomalainen P, Saarikosky P (1971)**- Studies on the physiology of the heibernating hedgehog. 14. Serum free fatty acid, glycerol and total lipid concentrations at different times of the year and of the hibernating cycle. *Ann. Acad. Sci. Fenn, IV Biol.* 184: 983-998.
- Taha A, Abdelmagid E (1994)**- Some anatomical studies on the thyroid gland of calf and adult camel. *Journal of Veterinary Medicine*, , 36, 58-61.
- Talbi K (1985)** – Inventaire du gibier en vue d'un aménagement cynégétique de la forêt d'Oum – Graf – Saïda. Thèse Ingénieur. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 80 p.
- Talmat N, Daoudi-Hacini S et Doumandji S (2004)** – Place des insectes dans le régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* dans la région de Tizirt en Grande Kabylie (Tizi Ouzou). Journée Protec. Vég., 15 mars 2004, Dép. Zool.agro. for., Inst. nati. agro., El Harrach, p. 64
- Tayeb M (1956)**- Les cavités nasales, le larynx, les annexes de l'appareil respiratoire de chameau. *Rev. Méd. Vét. Pays Trop.*, , 4, 716-717.
- Telailias S (1990)** – Bioécologie de la faune de différents milieux de la zone du lac Tonga (parc national d'El – Kala). Thèse Ingénieur. Agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach (Alger), 111 p.
- Tournier Benjamin (2006)** - Rôle des gènes horloges dans la traduction biologique de la photopériode par les Noyaux Supra chiasmatisques et la Pars tuberalis des mammifères. Thèse de l'université Louis Pasteur, Faculté des Sciences de la Vie – Strasbourg: 291p.
- Thomas O (1918)** – The generic division of the hedgehogs. *Ann. Mag. Nat. hist.*, 1, 9 sér., 193 – 196.
- Tuker V (1962)**- diurnal torpidity in the California pocket mouse. *Science*, 136, 380-810.
- Twente J W, Twente J A (1965)** - Regulation of hibernation periods by temperature. *Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America* 54:105:1058-1061.
- Twente J W, Soivio A (1973)**- periodicity of heterothermy in yhe garden dormouse *Eliomys quercinus*. *Netherlands journal of Zoology*.23(3): 237-265.



- Vaughane M, Powanda M, Richardson B (1982):** Chronic exposure to short photoperiod inhibits free thyroxine index and plasma levels of TSH, T4, T3 and cholesterol in female Syrian hamsters. *Comp. Biochim. Physiol.* 71, 651-618.
- Vignault Marie-Paule (1994)** – Gestion des réserves au cours du cycle annuel chez un animal hibernant, le Hérisson (*Erinaceus europaeus* L.) Thèse de doctorat de science de la vie, Université François Rabelais de Tours; 210p.
- Vignault M, Saboureau M (1993)** – Rythmes d'activité chez le hérisson au cours de l'hibernation. *Rev Ecol (Terre et Vie)*, 48, 109 – 119.
- Vignault M (1994)-** Gestion des réserves au cours du cycle annuel chez un animal hibernant, la Hérisson (*Erinaceus europaeus*). Thèse Doctorat. Université François-Rabelais de Tours.210
- Vigououx C (1974)-** Développement de la fonction thyroïdienne chez le jeune Rat. *Thèse Doctorat ès sciences, Univ, ParisVI.*
- Vigreux C (2009)-** Dysendocrinies thyroïdiennes et pancréatiques auto-immunes du chien et du chat : Intérets en pathologie comparée, mise au point bibliographique. Thèse Doctorat. Université Toulouse.226.
- Vriend J, Retter R, Andreson B (1979)-** Effects of the pineal and melatonin on the thyroid activity of male golden hamster. *Ben. Cmp. Endocrinol.* 38, 189-199.
- Walhovd H (1978)-** The overwintering pattern of Danish hedgehogs in outdoor confinement, during the successive winters. *Natura jutlandica*, 20, 273-284.
- Wang L Hudson JW (1971)** – Temperature regulation in normothermic and hibernating eastern chipmunk, *Tamias Striatus*. *Comp.Biochem.Physiol.* A 38:59-90.
- Wang L (1973)** - Radiotelemetric study of hibernation under natural and laboratory conditions. *Amer.J.Physiol.* 224: 673-677.
- Wang L (1993)** -Neurochemical regulation of arousal from hibernation. *Life in the Cold*, Ecological, Physiological and Molecular Mechanisms. Edited by C. Carey, G. L. Florant, B. A. Wunder and B. Horwitz, Westview Press, Inc. 559-561.
- Wang L (1989)** -Enhancement of maximal thermogenesis by reducing endogenous adenosine activity in the rat. *J. Appl. Physiol.*, 68: 580-585-
- Willis J(1982)-** Intermediary metabolism in hibernation. In "Hibernation and torpor in mammals and birds " eds Lyman C. P, Willis J and Wang L. Academic Press, New York, P.124-139
- Wilson D, Reeder D (1993)** – Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference. Ed. Smithsonian Institution, Washington, London, 1207 p.
- Wurtz R (2002)-** glucocorticoides et hypothyroïdie canine. Thèse Doctorat. Ecol Nation lyon. 199.

**-Wunberg W, Kuhnen G , Laschefski-Sievens R (1986)-** CNS regulation of body temperature in hibernators and nonhibernators. In “Living in the cold” eds Heller H.C.Mussachia X et Wang L, Elsevier, Amsterdam, p, 185-192.

**Yahner D, Svendsen G (1978)-** Effects of the circannual rhythm of the eastern chipmunk *Tamias striatus* .J. Mammal.59:109-117.

**-Zivadinovic D, Marjanivic M, Andjus R (2005)-**Some components of hibernation rhythm Ann. N.y. Acad. Sci.1048: 60-68.

**-Zucker I, Lee T, Dark J. (1992)** The suprachiasmatic nucleus and annual rhythms of mammals. In *Suprachiasmatic Nucleus/ The minds Clock*, D.C. Klein, R?Y? Moore & Reppert S.M., eds: 246-260

-



# **Annexes**

## Annexe 1

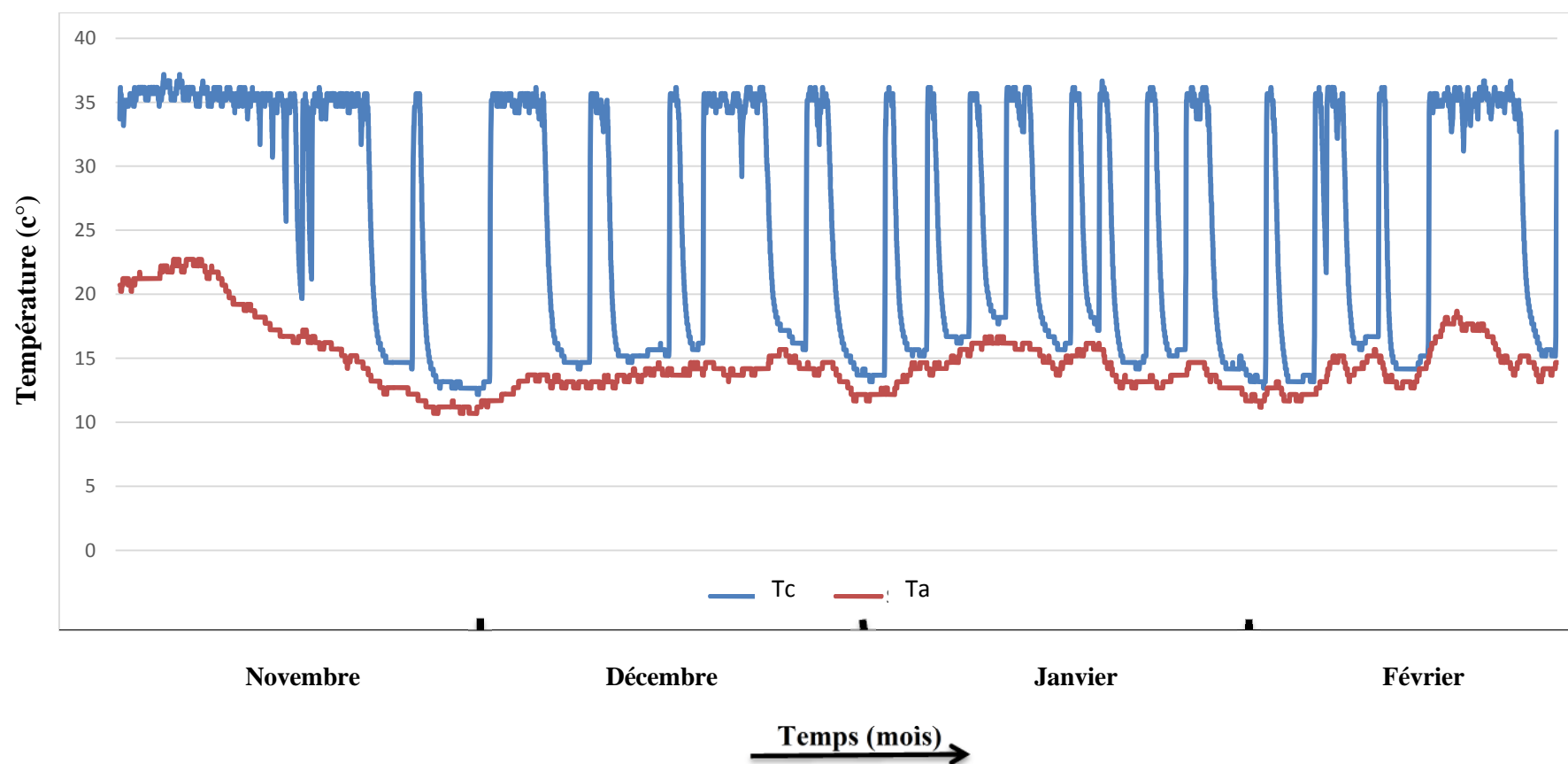
<b>A01</b>	<b>A07</b>	<b>A09</b>	<b>A10</b>	<b>A11</b>	<b>A13</b>	<b>A14</b>
<p><b><u>Installation :</u></b>  <b>Sexe :</b> femelle  <b>Age :</b> adulte  <b>Date :</b> 20/10/2013  <b>Poids :</b> 553,7g  <b>Origine :</b> Ahl el ksar-Bouira  <b>Elevage :</b> parc au sol.  <b>Rq :</b> Rien à signalé.</p> <p><b><u>Implantation :</u></b>  <b>Date :</b> 24/10/2013.  <b>Emetteurs :</b> 3-4.  <b>3)- série=1FF9BF41.</b>  <b>4)- série=1FF87F41.</b>  <b>Pav:</b> 564g.  <b>Pap:</b> 570g.  <b>Marqueur :</b> Oreille Rouge N° 902.  <b>Mort :</b> 28/02/2014</p>	<p><b><u>Installation :</u></b>  <b>Sexe :</b> Femelle.  <b>Age :</b> Adulte.  <b>Date :</b> 02/11/2013.  <b>Poids :</b> 682g.  <b>Origine :</b> Ahl el ksar-Bouira.  <b>Elevage :</b> cage.  <b>Rq :</b> Rien à signalé.</p> <p><b><u>Implantation :</u></b>  <b>Date :</b> 03/11/2013.  <b>Emetteurs :</b> 1-2  <b>1)- série=1FF33E41.</b>  <b>2)- série=1FFD4441</b>  <b>Pav:</b> 682g.  <b>Pap:</b> 692g.  <b>Marqueur :</b> Oreille jaune N°05.  <b>Mort :</b> 24/02/2014.</p>	<p><b><u>Installation :</u></b>  <b>Sexe :</b> Femelle.  <b>Age :</b> Adulte.  <b>Date :</b> 24/11/2013.  <b>Poids :</b> 422g.  <b>Origine :</b> Ahl el ksar-Bouira.  <b>Elevage :</b> parc au sol.  <b>Rq :</b> Rien à signalé.</p> <p><b><u>Implantation :</u></b>  <b>Date :</b> 21/12/2013.  <b>Emetteurs :</b> 5-6.  <b>5)- série=1FF88041.</b>  <b>6)- série=1FF97841.</b>  <b>Pav:</b> 422g.  <b>Pap:</b> 426g.  <b>Marqueur :</b> Oreille rouge N°914.  <b>Mort :</b> 09/11/2013.</p>	<p><b><u>Installation :</u></b>  <b>Sexe :</b> Femelle.  <b>Age :</b> Adulte.  <b>Date :</b> 30/11/2013.  <b>Poids :</b> 992g.  <b>Origine :</b> Batna.  <b>Elevage :</b> parc au sol.  <b>Rq :</b> Rien à signalé.</p> <p><b><u>Implantation :</u></b>  <b>Date :</b> 21/12/2013.  <b>Emetteurs :</b> 3-4  <b>3)- série=1FF2C741.</b>  <b>4)- série=1FFOCD41.</b>  <b>Pav:</b> 920g.  <b>Pap:</b> 924g.  <b>Marqueur :</b> Oreille rouge N°416.  <b>Mort :</b> 12/03/2014.</p>	<p><b><u>Installation :</u></b>  <b>Sexe :</b> Femelle.  <b>Age :</b> Adulte.  <b>Date :</b> 30/11/2013.  <b>Poids :</b> 782g  <b>Origine :</b> Batna.  <b>Elevage :</b> parc au sol.  <b>Rq :</b> Rien à signalé.</p> <p><b><u>Implantation :</u></b>  <b>Date :</b> 19/12/2013.  <b>Emetteurs :</b> 1-2.  <b>1)- série=1FFB8941.</b>  <b>2)- série=1FFB8941.</b>  <b>Pav:</b> 740g.  <b>Pap:</b> 746g.  <b>Marqueur :</b> Oreille jaune N°11.  <b>Mort :</b> 22/05/2014.</p>	<p><b><u>Installation :</u></b>  <b>Sexe :</b> Femelle.  <b>Age :</b> Adulte.  <b>Date :</b> 21/12/2013.  <b>Poids :</b> 744g  <b>Origine :</b> Bejaia.  <b>Elevage :</b> parc au sol.  <b>Rq :</b> Rien à signalé.</p> <p><b><u>Implantation :</u></b>  <b>Date :</b> 21/12/2013.  <b>Emetteurs :</b> 7-8.  <b>7)- série=201A7F41.</b>  <b>8)- série=1FF95D41.</b>  <b>Pav:</b> 744g.  <b>Pap:</b> 752g.  <b>Marqueur :</b> Oreille jaune N°51.  <b>Mort :</b> 08/05/2014</p>	<p><b><u>Installation :</u></b>  <b>Sexe :</b> Femelle.  <b>Age :</b> Jeune.  <b>Date :</b> 22/12/2013.  <b>Poids :</b> 782g  <b>Origine :</b> Tizi-Ouzou.  <b>Elevage :</b> parc au sol.  <b>Rq :</b> Rien à signalé.</p> <p><b><u>Implantation :</u></b>  <b>Date :</b> 24/12/2013.  <b>Emetteurs :</b> 9-10.  <b>9)- série=1FFB8941.</b>  <b>10)- série=1FFB8941.</b>  <b>Pav:</b> 740g.  <b>Pap:</b> 746g.  <b>Marqueur :</b> Oreille rouge N°515.  <b>Mort :</b> 17/02/2014</p>

**Pav :** poids avant l'implantation.

**Pap :** poids après l'implantation.

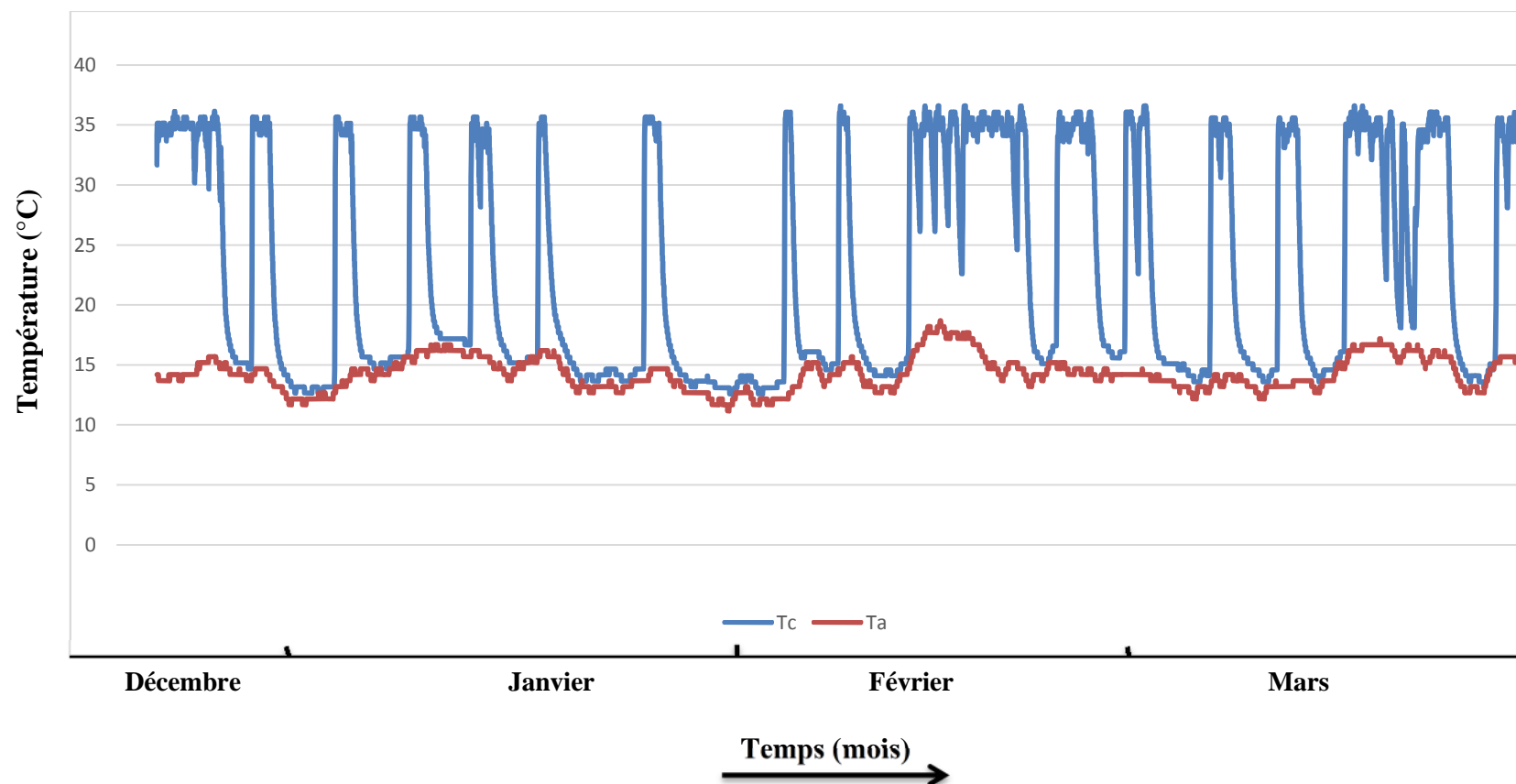
## Fiche technique des animaux implantés

## Annexe 2



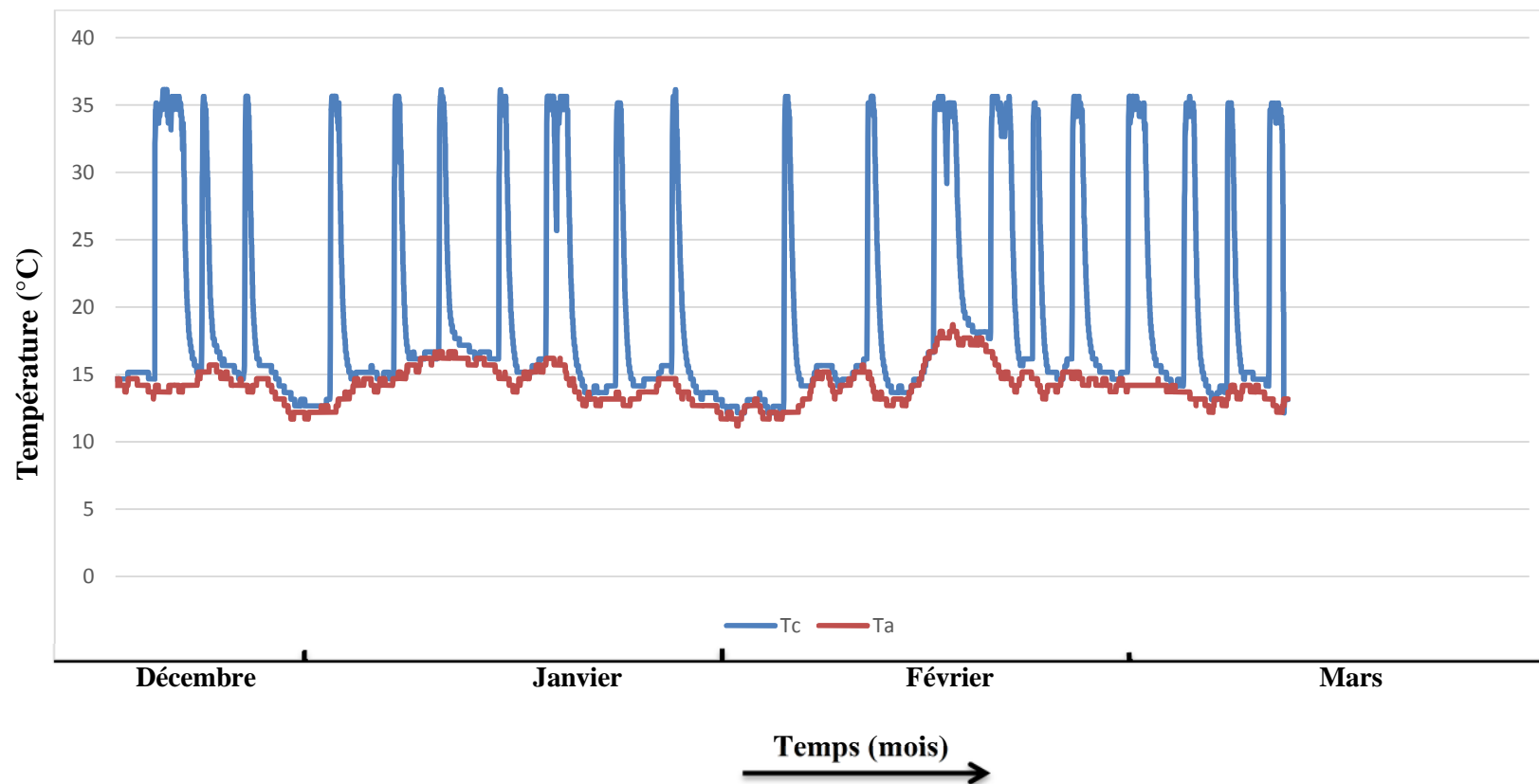
**Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A7 du novembre jusqu'à février.**

### Annexe 3



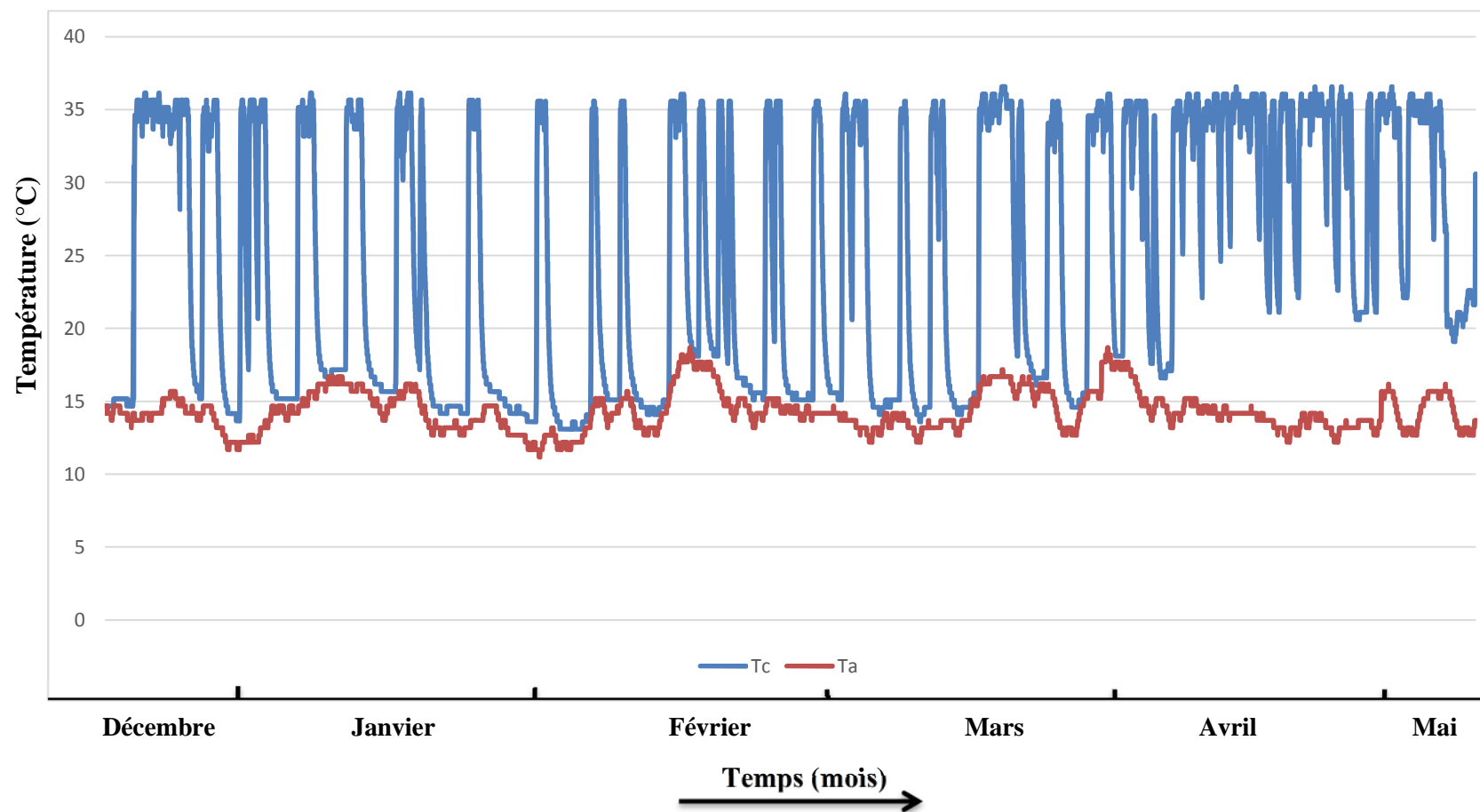
**Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A9 du décembre à mars.**

## Annexe 4



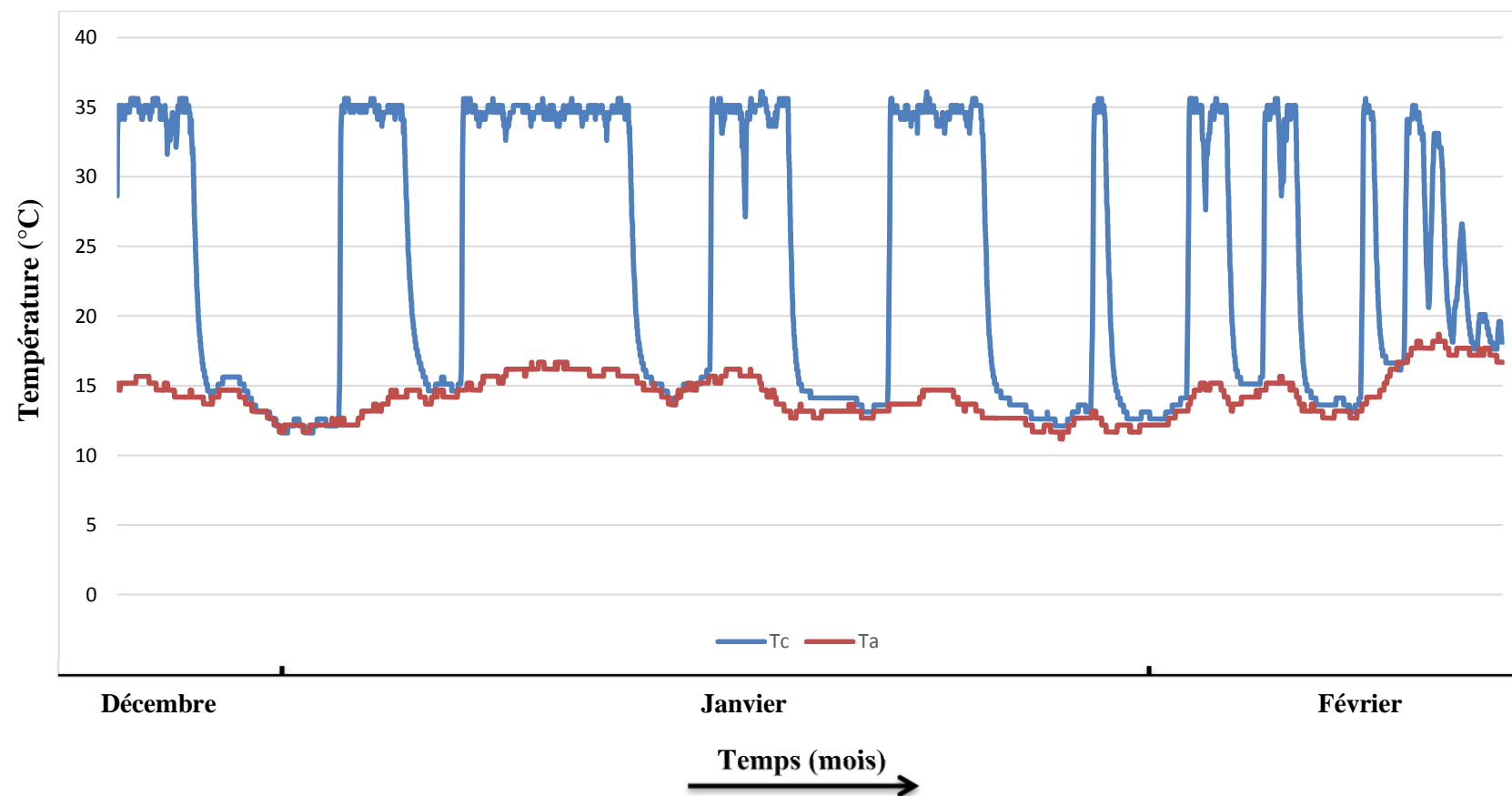
**Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) de l'animal A10 de décembre jusqu'au mars.**

## Annexe 5



**Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A13 du décembre jusqu'au mars.**

## Annexe 6



**Variations de la température corporelle (Tc) en relation avec les variations de la température ambiante (Ta) chez l'animal A14 du décembre jusqu'au février**

## Annexe 7

- 1-Xylène.....10 mn pour déparaffiner
- 2-Xylène.....10 mn
- 3- Alcool 100%..... 05 mn
- 4- alcool 100%.....passage
- 5-Alcool 100%.....passage
- 6-Eau courante.....blanchissement  
(faire disparaître la couleur jaune des lames)
- 7-Hemalun (Hématoxyline de Harris).....10 à 20 s  
(allonger le temps avec une utilisation accrue du produit)
- 8-Eau courante .....bleuissement  
(les lames deviennent bleu pale)
- 9-Eosine.....5mn
- 10-Eau courante.....jusqu'à la disparition de la couleur rouge sur les bords des lames
- 11- Alcool 100°.....passage
- 12-Alcool 100°.....passage
- 13- Xylène.....passage
- 14- Xylène .....passage
- 15-Xylène.....passage
- 16-..... Montage (Eukitt<sup>R</sup> ou Entelan<sup>R</sup>)

**Coloration « H.E » « Hemalun -Eosine »**

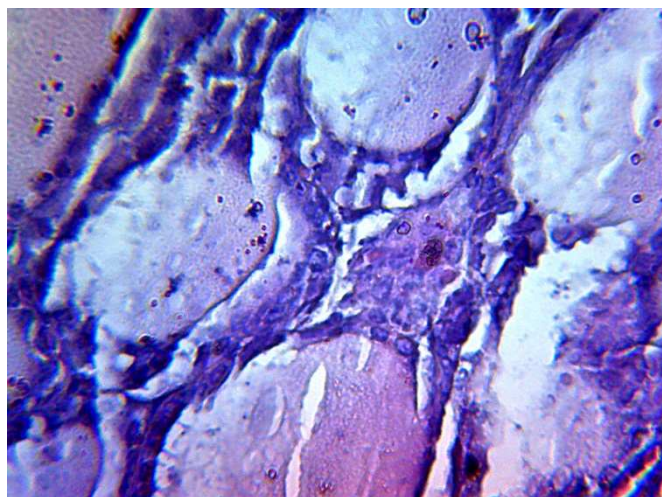
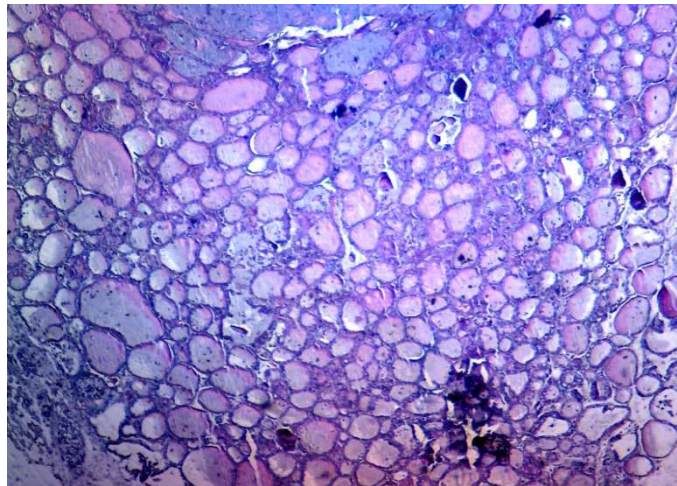
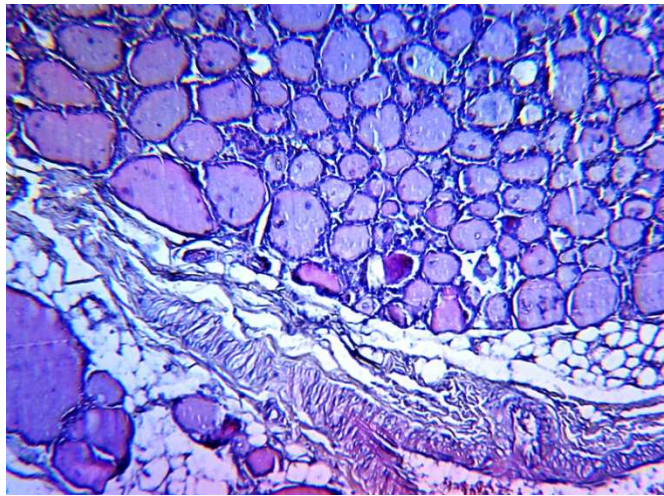


## Annexe 8

<b>A8</b>	<b>A12</b>	<b>A16</b>
<b>Sexe</b> : femelle <b>Age</b> : adulte <b>Date</b> : 02/11/2013 <b>Poids</b> : 782g <b>Origine</b> : Ahl el ksar-Bouira <b>Elevage</b> : parc au sol. <b>Rq</b> : Rien à signalé <b>Mort</b> : 13/11/2013.	<b>Sexe</b> : femelle <b>Age</b> : adulte <b>Date</b> : 30/11/2013 <b>Poids</b> : 598g <b>Origine</b> : Batna <b>Elevage</b> : parc au sol. <b>Rq</b> : Rien à signalé <b>Mort</b> : 18/12/2013.	<b>Sexe</b> : femelle <b>Age</b> : adulte <b>Date</b> : 05/03/2013 <b>Poids</b> : 356g <b>Origine</b> : Béjaia. <b>Elevage</b> : parc au sol. <b>Rq</b> : Rien à signalé. <b>Mort</b> : 05/03/2014

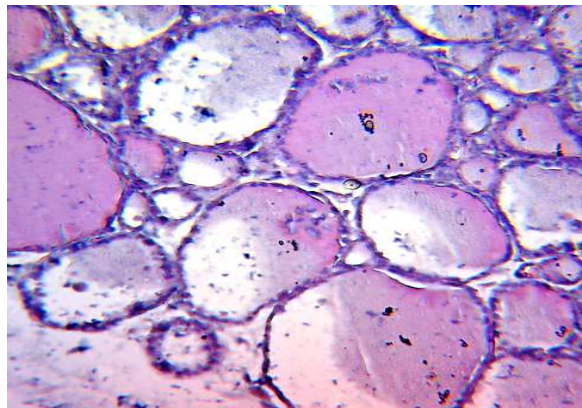
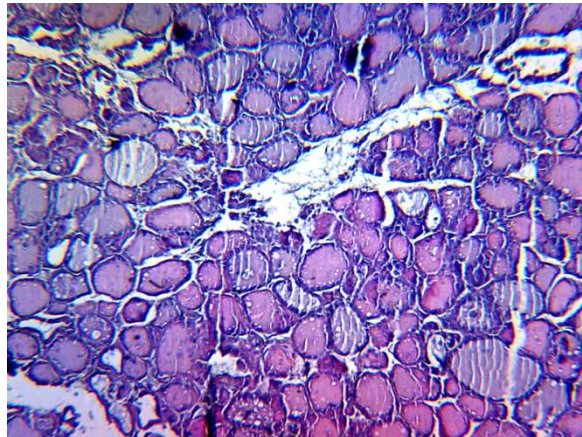
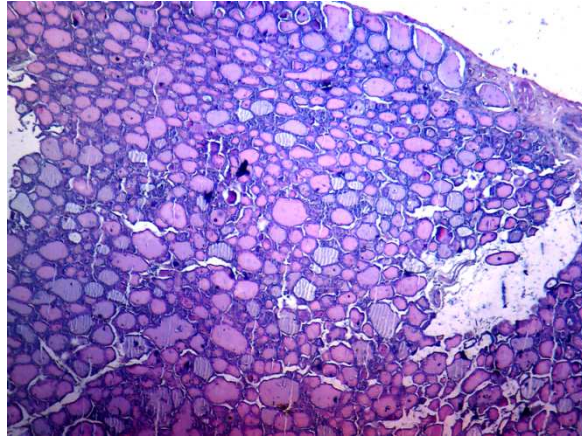
### Fiche technique des animaux non implantés

## Annexe 9



**Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A12 en période de d'hibernation, en décembre (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**

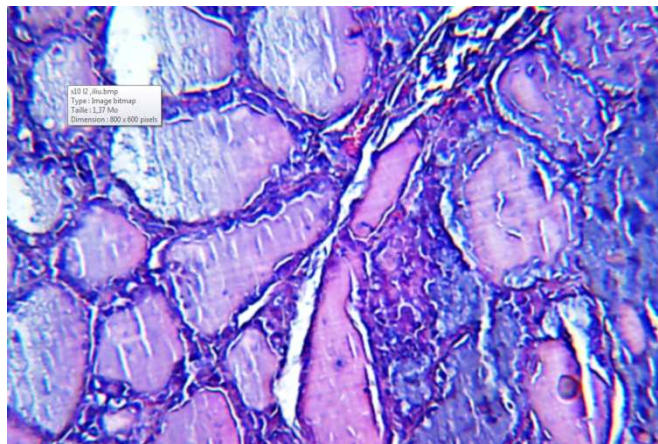
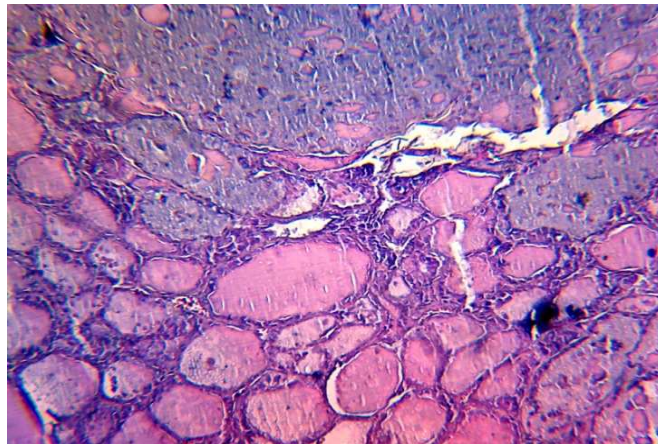
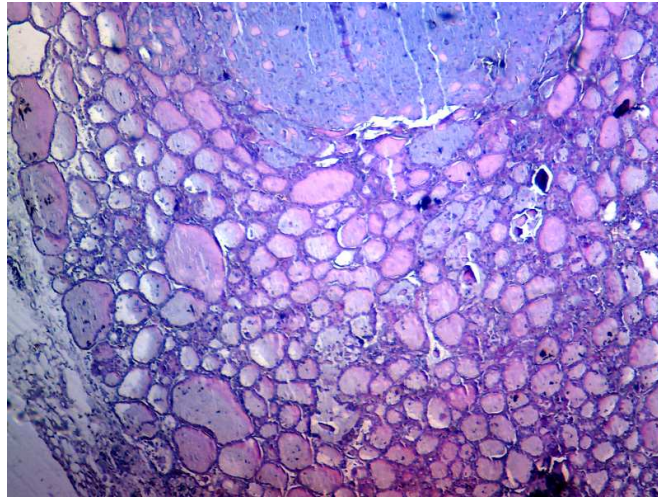
## Annexe 10



**Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A7 (en période d'hibernation) en Février (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**

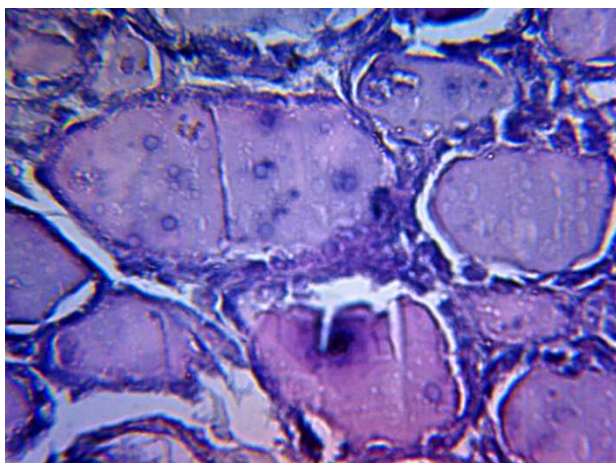
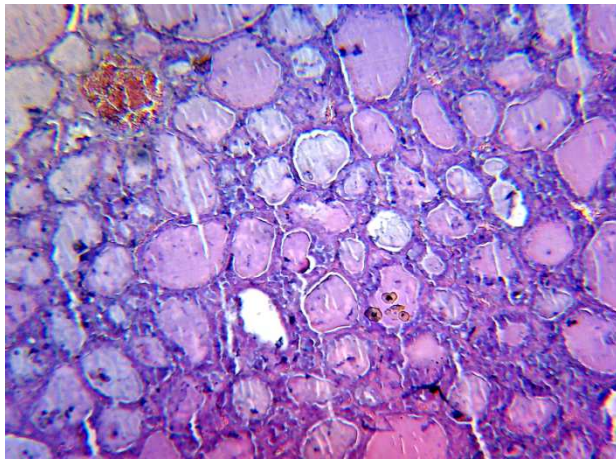
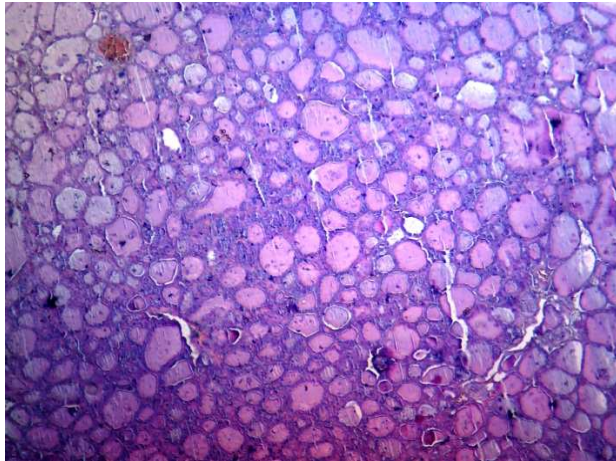


## Annexe 11



**Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A1 (en période d'hibernation) en Février (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**

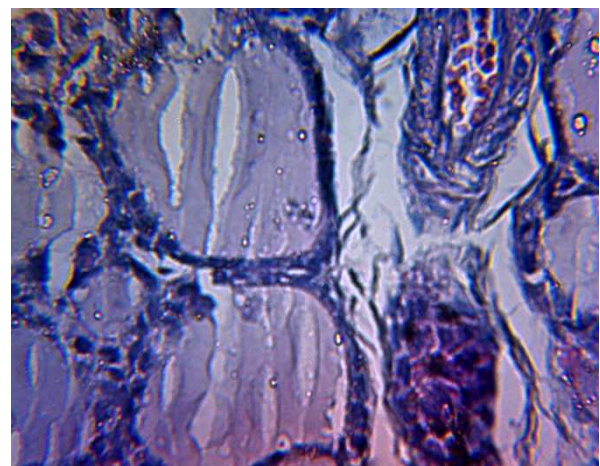
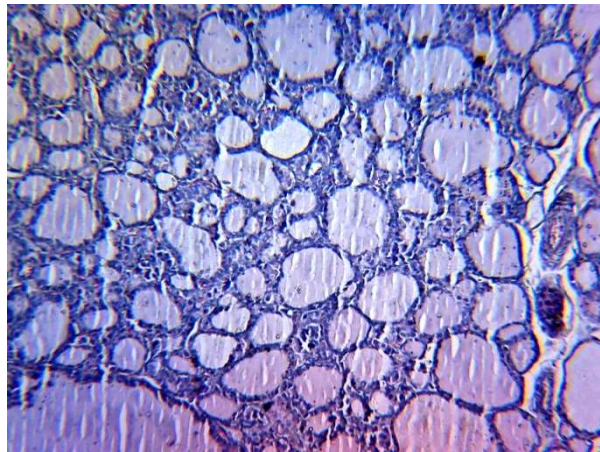
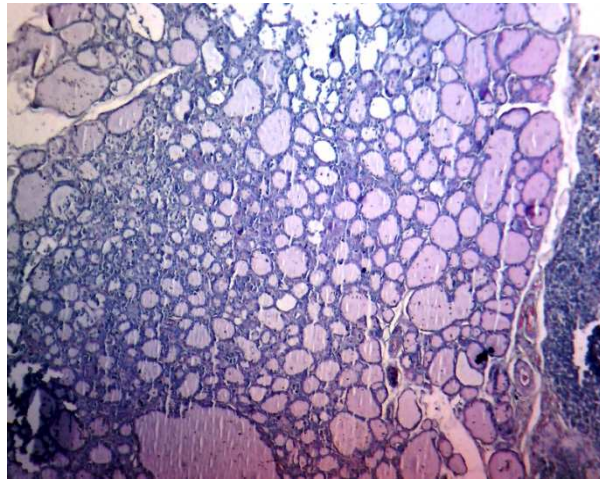
## Annexe 12



**Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A16 en période d'activité (sortie d'hibernation) en mars (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**

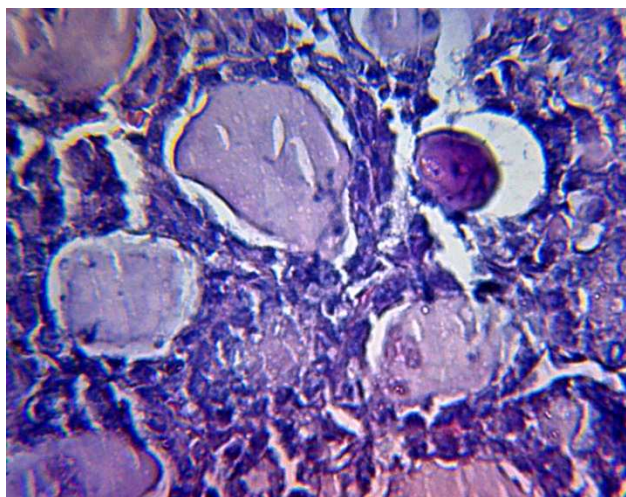
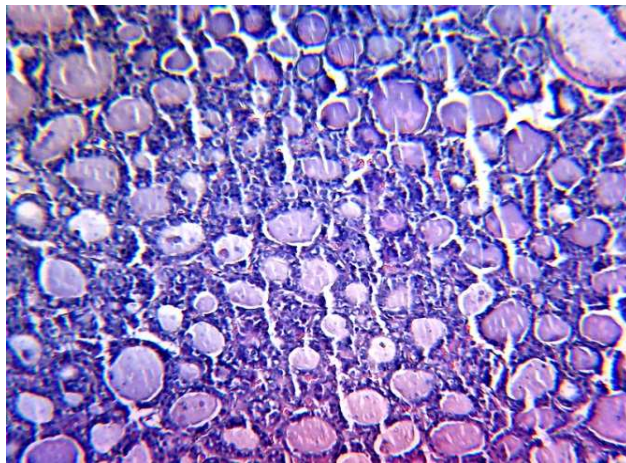
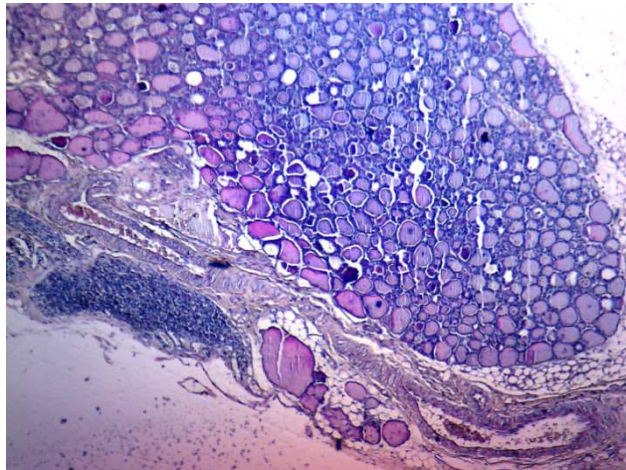


## Annexe 13



**Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A9 en période d'activité (sortie d'hibernation) en mars (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**

## Annexe 14



**Structure histologique de la thyroïde chez le hérisson A13 en période d'activité (sortie d'hibernation), en mars (a [Gx4], b [Gx10], c [Gx40]).**

## Annexe 15

<i>Novembre</i>		<i>décembre</i>		<i>février</i>		<i>mars</i>								<i>avril</i>		<i>mai</i>	
<i>A8</i>		<i>A12</i>		<i>A14</i>		<i>A16</i>		<i>A10</i>		<i>A7</i>		<i>A1</i>		<i>A9</i>		<i>A11</i>	
<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>dia</i>	<i>sup</i>	<i>Dia</i>	<i>sup</i>
<b>5,6961</b>	<b>25,68</b>	<b>8,23</b>	<b>60,94</b>	<b>7,19</b>	<b>51,98</b>	<b>6,88</b>	<b>33,48</b>	<b>4,18</b>	<b>27,74</b>	<b>5,48</b>	<b>29,67</b>	<b>4,29</b>	<b>28,45</b>	<b>3,98</b>	<b>13,01</b>	<b>3,00</b>	<b>9,16</b>
8,82	28,82	7,2	86	11,02	31,21	7,33	29,3	6	38,65	7,02	25,09	6,07	48,65	4,89	7,51	4,14	4,2
6,23	26,23	6,07	63	3,58	22,52	4,91	25,85	5,12	38,8	8,37	35,6	5,93	38,8	4,44	7,9	3,33	5,19
5,07	25,07	6,63	58	4,71	66,17	6,89	37,77	4,23	28,65	5,08	28,74	9,19	28,65	3,02	9,78	2,27	6,22
8,38	28,38	7,93	36	5,15	26,12	4,23	35,01	3,56	35,7	4,01	35,36	10,83	35,7	3,58	9,28	3,18	5,63
5,9	25,9	6,23	55	5,11	67,46	6,44	32,15	1,89	29,05	4,64	34,67	6,42	30,05	2,48	9,83	2,96	17,83
7,56	27,56	8,71	65	5,34	39,7	5,82	34,62	4,49	19,85	5,12	34,67	3,26	19,85	2,45	6,52	2,44	6,02
4,47	24,47	9,9	52	6,67	51,41	6,86	34,32	3,87	18,1	5,12	24,4	5,43	18,1	5,12	8,3	2,79	5,14
9,15	29,15	8,05	57	6,29	89,68	5,37	21,61	4,58	18,8	4,13	25,48	4,2	40,45	2,7	27,31	3,22	11,01
6,15	26,15	8,89	36	5,12	49,58	6,17	29,62	3,39	17,6	7,08	32,84	3,85	18,8	4,01	8,74	3,34	7,51
2,9	22,9	7,14	36	5,78	46,81	5,49	29,88	3,84	32,45	4,13	43,26	5,78	17,6	3,78	6,86	2,89	5,78
3,3	23,3	8,63	73	8,44	54,52	6,23	30,45	2,81	35,15	5,08	29,23	5,04	32,45	4,31	5,19	5,32	8,84
3,62	23,62	7,78	85	8	48,15	5,37	40,09	3,73	36	4,23	33,53	4,79	35,15	4,77	8,05	2,7	9,04
9,26	29,26	7,79	82	6,67	132,8	4,79	35,07	6,32	23,05	4,01	20,64	2,52	36	4,67	19,51	4,05	9,19
6,77	26,77	8,27	50	6,02	102,6	4,87	26,12	2,59	39,8	5,98	24,1	1,88	23,05	4,02	8	2,68	9,38
3,39	23,39	7,7	63	11,7	37,53	5,41	31,01	2,6	34,35	5,47	25,19	2,57	39,8	4,01	7,26	3,79	16,25
3,47	23,47	9,57	46	9,11	123,3	7,78	43,44	2,23	16,4	6,29	23,56	2,86	34,35	2,89	15,46	4	7,31
3,73	23,73	10	42	2,68	55,36	7,06	41,81	4,87	25,1	6,78	36,2	3,9	16,4	5,13	4,44	2,19	8,89
3,89	23,89	9,38	58	6,48	17,38	5,37	44,01	6,85	14,3	6,1	30,22	4,15	25,1	2,7	9,53	5,23	9,09
7,65	27,65	7,89	84	5,88	30,17	6,95	40,39	5,69	24,75	4,76	63,21	5,04	14,3	3,56	20,49	2,9	7,46
5,79	25,79	10,94	49	5,01	63,8	6,98	32,6	4,31	34,4	4,89	24,94	3,41	24,75	3,11	15,41	3,79	8,2
13,6	33,6	9,21	50	8,22	19,56	7,39	23,01	6,44	23,35	4,02	37,04	2,17	44,4	4	16,25	2,22	21,78
5,56	25,56	8,13	56	6,89	37,83	6,46	41,24	2,7	22,3	5,98	34,57	5,43	23,35	3,78	10,07	2,67	16,94
3,83	23,83	8,35	80	7,78	27,8	7,16	42,56	2,27	19,3	6,77	30,27	2,72	22,3	4,22	14,12	2,39	8,79
3,05	23,05	10,68	77	9,66	52,25	6,9	31,42	4,01	39,2	5,56	34,81	4,74	19,3	3,12	6,77	3,9	10,86



7,96	27,96	7,93	65	8,22	53,53	9,45	37,5	3,58	35,05	5,64	21,48	2,67	39,2	3,78	17,93	2,27	5,63	
3,48	23,48	8,74	46	12,27	50,52	8,3	32,38	4,49	29,2	5,45	27,31	2,81	35,05	4,22	15,11	2,7	8,89	
9,12	29,12	7,67	84	11,12	43,21	9,12	32,91	2,92	37,3	4,75	23,01	2,81	29,2	4,53	11,51	2,23	10,57	
3,3	23,3	8,59	61	6,23	32,05	8,71	36,05	3,8	38,8	5,19	20,15	4,84	47,3	5,78	11,31	2,32	4,94	
5,56	25,56	9,45	50	5,33	11,95	8,55	22,18	5,07	26,7	6,54	27,06	2,91	38,8	4,44	16,25	3,48	4,25	
4,1	24,1	7,21	67	4,67	26,52	7,93	30,01	6	23,85	4,75	24,3	3,95	26,7	5,57	11,51	2,7	5,23	
4,09	24,09	8,25	52	6,6	95,95	7,56	22,23	4,71	25,5	5,78	27,11	4	23,85	2,67	12,1	3,1	7,16	
3,56	23,56	7,73	52	13,56	53,33	8,05	31,01	5,21	18,65	4,25	27,7	4,2	25,5	3,11	18,42	2,45	10,96	
6,89	26,89	8,9	61	7,78	76,1	6,76	32,72	5,52	25,3	4,27	26,81	3,8	18,65	4,67	16,89	2,11	13,48	
3,36	23,36	11,52	63	11,13	38,12	8,51	21,84		17,65	7,25	21,38	3,7	25,3	4,44	41,68	3,14	8,25	
3,28	23,28	8,49	71	8,67	50,72	9,26	29,01				6,77	24,54	2,17	17,65	5,56	28,64	2,44	22,62

**Dia** : diamètre.

**Sup** : Superficie.

**Mesures des diamètres et des superficies folliculaires de la glande thyroïde du Hérisson d'Algérie femelle durant différentes périodes de l'année.**

# Résumés

## Résumé

Le travail qui vient d'être analysé a pour thème essentiel l'étude des variations morphologiques et physiologique de la glande thyroïde chez un model hibernant, le hérisson d'Algérie (*Atelerix algirus*). Il a été tenté de confirmer la faculté de l'hibernation et ses caractéristiques chez cette espèce par l'étude des variations de la température corporelle (Tc) en fonction de la température ambiante (Ta) pendant deux périodes essentielles chez un hibernant; hibernation et la vie active. En complément à cet aspect, nous avons contribué à l'étude du fonctionnement thyroïdien par une approche anatomique, histologique et un dosage hormonal de la glande thyroïde.

La mesure des variations de température corporelle (Tc) a été effectuée à l'aide de température « loggers » (iButton) implanté dans la cavité abdominale des hérissons. Cette étude nous a permis de mettre en évidence la succession de trois phases importantes chez le Hérisson d'Algérie; l'entrée en hibernation (en automne); l'hibernation proprement dite (décembre-mars) et la sortie d'hibernation (au printemps). Ces phases sont caractérisées par l'existence de nombreuses torpeurs ( $T_c < 33^\circ\text{C}$ ) interrompues par des phases d'euthermie ( $T_c > 33^\circ\text{C}$ ). Les premières torpeurs de courtes durées (ou torpeurs journalières) observées en novembre, succèdent des torpeurs de longue durée de décembre à début mars (plusieurs jours, forte amplitude et  $T_{c\text{ min}}$  proche de la Ta), puis à nouveau des torpeurs journalières à partir du mi- mars. Pendant l'hibernation, les torpeurs les plus longues (4 à 9 jours) correspondent aux  $T_{c\text{ min}}$  les plus basses ( $11^\circ\text{C}$ ) qui sont observées simultanément avec les minima saisonniers des Ta ( $10^\circ\text{C}$ ).

Les résultats obtenus, sur les variations pondérales, histologiques et hormonale de la thyroïde chez le Hérisson d'Algérie femelle, nous montre que, les changements de l'activité de cette glande passent par un cycle, caractérisé par un repos automnal, une reprise hivernale et une séquence d'activité maximale printanière.

**Mots clés** : hibernation, hérisson d'Algérie, température corporelle, torpeurs, thyroïde, thyroxine, follicule.

## Summary

The work which has just been analyzed has as an essential the study of the morphological variations and physiological subject of thyroid gland in the hedgehog of Algeria (*Atelerix algirus*). It was tempted to confirm the faculty of the hibernation and its characteristics at this species by the study of the variations of the body temperature (Tc) according to the room temperature (Ta) for two essential periods at one hibernating; hibernation and working life. In addition to this aspect, we contributed to the study of thyroid operation, an anatomical and histological approach and a proportioning hormonal of thyroid gland.

The body measurement of the temperature variations (Tc) was taken using temperature "loggers" (iButton) established in the abdominal cavity of the hedgehogs. This study enabled us to highlight the succession of three important phases in the Hedgehog of Algeria; the entry in hibernation (in autumn); hibernation itself (December-March) and the exit of hibernation (in spring). These phases are characterized by the existence of many torpors ( $T_c < 33^\circ\text{C}$ ) stopped by phases of euthermia ( $T_c > 33^\circ\text{C}$ ). The first torpors of short durations (or torpors day laborers) observed in November, succeed of the torpors of long life from December the beginning of March (several days, strong amplitude and  $T_{c\text{ min}}$  near to Your), then again of the torpors day laborers as from mid-March. During the hibernation, the longest torpors (4 to 9 days) correspond to  $T_{c\text{ min}}$  lowest ( $11^\circ\text{C}$ ) which are observed simultaneously with the seasonal minima as of Your ( $10^\circ\text{C}$ ).

The results achieved, on the ponderal variations, histological and hormonal from thyroid in the Hedgehog of female Algeria, we conclude that, the changes of the activity of this gland pass by a cycle, characterized by an autumnal rest, a recovery winter and a sequence of spring maximum activity.

The hibernation and the thyroid one present two quite distinct aspects, one characterizes the rest and the other characterizes the activity of the animal. These two aspects are essential in the working life of the Hedgehog. These mechanisms are handled by factors external such as: the photoperiod, the room temperature.

**Keywords**: hibernation, hedgehog Algeria, body temperature, torpor, thyroid, thyroxine, follicle.

## ملخص

العمل الذي تم دراسته خلال هذه الأطروحة يتمحور حول التغيرات الهيكلية والفيزيولوجية للغدة الدرقية لحيوان حامل ألا وهو " القنفذ الجزائري " .

للتحقق من ظاهرة السبات الشتوي التي يتميز بها هذا الحيوان، ولإظهار كل مميزاتا وخصائصها، عرّجنا على دراسة تغيرات درجة حرارة جسمه (حج) بدلالة درجة حرارة المحيط (ح)، لهذا قمنا بغرز جهاز " i-buhon " في أحشاه.

هذه الدراسة سمحت لنا بتسجيل تناوب عدة مراحل من السبات (حج > 33م°) ومرحل البقطة (حج < 33 م°).

مراحل السبات الأولى سجلت في أواخر الخريف، تتميز بقصر مدتها (>24سا)، وانخفاض سعتها (حج: 22.16 م°) تدعى بالسبات اليومي، تليها مراحل سبات طويلة ( 3-9 ايام) ذات سعة كبيرة (حج تصل 11م°) من أواخر نوفمبر إلى مارس، في أواخر مارس سجلنا ظهور مراحل سبات مشابهة لتلك المسجلة في الخريف.

لإتمام هذه الدراسة قمنا بتحليل وظيفة الغدة الدرقية خلال مختلف مراحل السبات الشتوي وذلك من خلال التشريح الخارجي

والنسيجي لهذه الغدة إضافة إلى التعبير الدموي للهرمون الدرقي (T4).

هذا التحليل سمح لنا باستنتاج أن عمل الغدة الدرقية للقنفذ الجزائري يتم بشكل دوري ومتواصل خلال مختلف مراحل ظاهرة السبات، حيث يتميز بنشاط معتدل في الخريف، استرجاع أو استئناف نشاطي في الشتاء بالرغم من سبات الحيوان وتثبيط كل الأنشطة الفيزيولوجية خلال هذه الفترة، نشاط هام خلال أوائل الربيع.

**الكلمات الرئيسية**: قنفذ الجزائر، السبات، غدة درقية، هرمون درقي (T4)، تشريح