

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Constantine 1

Institut des Sciences Vétérinaires

جامعة قسنطينة 1
معهد العلوم البيطرية



Département de productions animales

N° d'ordre :49 / MAG 2014

Série :08 / SVE / 2014

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme
de Magister en médecine vétérinaire
Option : Anatomie et Anatomie Pathologique
Spécialité : Anatomie

THEME

**INVESTIGATION MACRO-ANATOMIQUE DE L'ENCÉPHALE ET LA
RÉPONSE NEUROENDOCRINE DEVANT UNE SITUATION DE STRESS
AIGU PROVOQUÉ CHEZ LE CHEVAL ET LE BOVIN
(ÉTUDE COMPARATIVE)**

Présenté par : *DERBOUCHE HilaL*
Né le : 21 novembre 1987 à MILA

Jury de soutenance

| | | |
|-------------------------------|------------|-----------------------------|
| Président : Dr BERERHI EL H | Professeur | Université de Constantine 1 |
| Rapporteur : Dr ALI LEMOUYS M | M.C.A | Université de Constantine 1 |
| Examineur : Dr BENSGUENI A | M.C.A | Université de Constantine 1 |
| Examineur : Dr TEKKOUK F | M.C.A | Université de Constantine 1 |

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2013/2014

Remerciements
&
Dédicaces

Remerciements

Avant tout, je remercie mon Dieu « Allah » le seul et unique le tout puissant, qui me guide, me protège et m'a aidé pour dépasser toutes les difficultés que j'ai rencontrées et m'a donné la force, la volonté et la patience pour finir ce travail malgré tout.

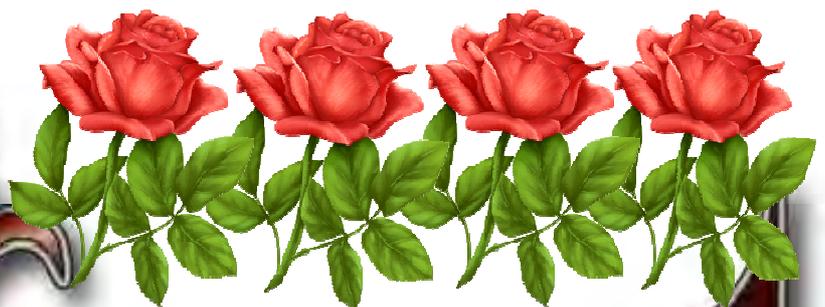
*Au terme de ce mémoire, je voudrais remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation. En premier lieu, j'aimerais remercier mon promoteur, le Dr. **Ali Lemouys. M***

*Le professeur **Bererhi. H** pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury. Je tiens aussi à remercier les Docteurs **Tekkouk. Z. F** et **Bensegueni. A** pour avoir accepté de juger ce mémoire.*

*Mes remerciements s'adressent aussi une deuxième fois au Docteur **Bensegueni. A**, pour ses conseils et sa disponibilité. Je tiens remercier aussi les Docteurs **Agabou. A**, **Abdeljalil. MC**, **Baghouf. S**, **Benhamza. L**, **Lakhdara. N**.*

*J'adresse mes profonds respects et remerciements à **mes très chers parents** en témoignage d'affection et de grande reconnaissance, pour leur aide et soutien dans les moments difficiles. A toute ma famille, à mes très chers sœurs et frères.*

*Je tiens à exprimer aussi ma grande sympathie et mes remerciements les plus distingués à Mme. **Baiba Hayet D.** vétérinaire au centre de remonte de S.M pour l'aide et pour les facilitations qu'elle m'a présentées ainsi qu'à Mr **Bouleftet Hcen** et **Boukezoula Mimou**, pour leur aide et pour les facilitations qu'ils m'ont présentées pour réaliser les prélèvements.*



Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance. Aussi, c'est tout simplement que Je dédie ce Mémoire ...

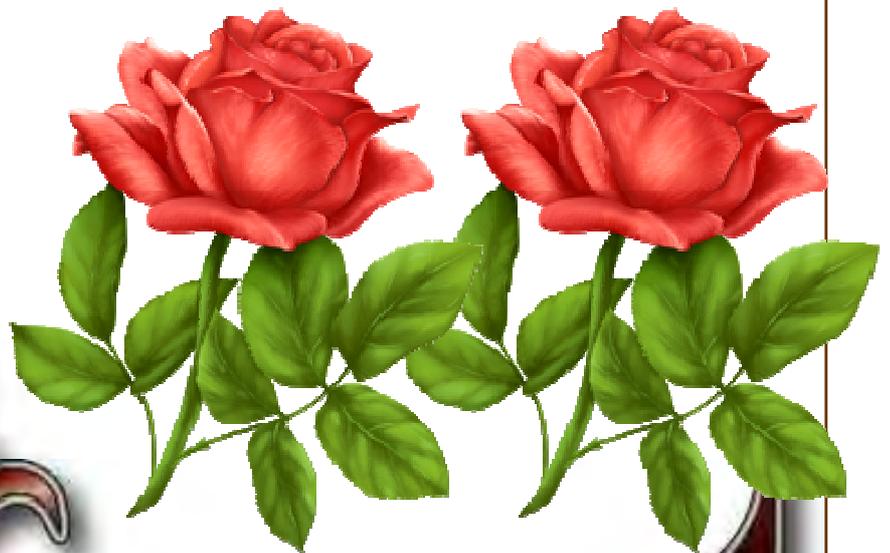
À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À mes chers et adorables frères et sœurs, neveux et nièces, que j'aime profondément. À mes chères oncles Salim, Kamel, Omar et à mon grand père Mokhtar.

À mes chers et intimes amis Karim. G, Abdelhak, Imad . B et Imad. N, Chouaib Walid. A, et Walid. B, Hamza, Abdeslam, Mossab, Abderrahim, Rachid, Nassim, Amir, Zidane, Samir. L, Hamza. M , foued, Abdellah, Aziz, Samir. S, Azzedine. À mes amis « la classe » et mes collègues en post-graduation, et à mes cousins Zineddine, Yacine, Adnan, Samir, Amine et Nacer. Et à toutes les personnes qui me connaissent.



LISTE DES PHOTOS

| | |
|--|-----|
| Photo.1 : Une partie du matériel utilisé pour la dissection | 89 |
| Photo.2 : Tête de cheval avant sa dissection | 91 |
| Photo.3 : Tête de bovin avant sa dissection | 91 |
| Photo.4 : Tête de cheval disséquée | 92 |
| Photo.5 : Tête de bovin dépouillée | 92 |
| Photo.6 : Tête de cheval après une coupe verticale au niveau du chanfrein, vue de face | 93 |
| Photo.7 : Tête de cheval après une coupe verticale au niveau du chanfrein : vue dorsale | 93 |
| Photo.8 : Encéphale du cheval « vue dorsale » | 94 |
| Photo.9 : Encéphale du bovin « vue dorsale » | 94 |
| Photo.10 : Encéphale de cheval « vue dorsale » | 95 |
| Photo.11 : Encéphale de bovin « vue dorsale » | 95 |
| Photo.12 : Encéphale de bovin recouvert par la dure- mère | 96 |
| Photo.13 : Encéphale de cheval « vue dorsale » | 96 |
| Photo.14 : Encéphale de cheval :vue ventrale | 98 |
| Photo.15 : Encéphale de bovin : vue ventrale | 98 |
| Photo.16 : Encéphale de bovin : vue ventrale | 99 |
| Photo.17 : Encéphale de : cheval vue ventrale | 99 |
| Photo.18 : Encéphale de bovin : vue ventrale | 100 |
| Photo.19 : Encéphale de cheval : vue ventrale | 100 |
| Photo.20 : Encéphale de bovin : vue ventrale | 101 |
| Photo.21 : Encéphale du cheval : vue ventrale | 101 |
| Photo.22 : Encéphale de cheval : vue ventrale | 102 |
| Photo.23 : Encéphale de bovin coupe médiane | 105 |
| Photo.24 : Encéphale de cheval, coupe médiane | 105 |
| Photo.25 : Encéphale de bovin : coupe médiane | 106 |
| Photo.26 : Encéphale de cheval : coupe médiane | 106 |

| | |
|--|-----|
| Photo.27 : Encéphale de bovin : coupe horizontale montrant la conformation interne de l'encéphale | 108 |
| Photo.28 : Encéphale de cheval : coupe horizontale | 108 |
| Photo.29 : Encéphale de bovin : coupe horizontale | 109 |
| Photo.30 : Encéphale de cheval : coupe horizontale | 109 |
| Photo.31 : Encéphale de bovin : coupe horizontale | 110 |
| Photo.32 : Encéphale de cheval : coupe horizontale | 110 |
| Photo.33 : Encéphale de cheval : coupe horizontale sur l'hémisphère gauche | 111 |
| Photo.34 : Encéphale de cheval : vue ventro-latérale | 111 |
| Photo.35 : Encéphale de cheval : coupe horizontale | 112 |
| Photo.36 : Encéphale de cheval : coupe horizontale | 112 |
| Photo.37 : Encéphale de cheval : coupe horizontale | 113 |
| Photo.38 : Tronc cérébral de cheval : vue dorsale | 114 |
| Photo.39 : Tronc cérébral de cheval : coupe médiane | 114 |
| Photo.40 : Tronc cérébral de bovin : vue dorsale | 115 |
| Photo.41 : Tronc cérébral de bovin : coupe médiane | 115 |
| Photo.42 : Tronc cérébral de cheval : vue dorsale | 116 |
| Photo.43 : Tronc cérébral de cheval : coupe médiane | 116 |
| Photo.44 : Tronc cérébrale de bovin : vue dorsale | 117 |
| Photo.45 : Tronc cérébral de bovin : coupe médiane | 117 |
| Photo.46 : Face dorsale de la glande pituitaire | 119 |
| Photo.47 : Face ventrale de la glande pituitaire | 119 |
| Photo.48 : Glandes pituitaires de cheval et de bovin : coupes horizontales | 120 |
| Photo.49 : Glandes pituitaires de cheval et de bovin : coupes médianes | 120 |
| Photo.50 : Coupes longitudinales de l'œil de bovin et de cheval | 122 |
| Photo.51 : Cristallins de cheval et de bovin | 122 |
| Photo.52 : Coupes horizontales montrant les variations structurelles | 128 |
| Photo.53 : Prélèvement du sang au niveau de la veine jugulaire chez la jument " Queen " | 131 |
| Photo.54 : Conditionnement et transport des prélèvements | 132 |

| | |
|--|-----|
| Photo.55: Test du parapluie avec présence de l'examineur devant un cheval 1 ^{ère} | 133 |
| Photo.56 : Test du parapluie avec présence de l'examineur devant un cheval 2 ^{ème} | 134 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Fig.1 : Neurone unipolaire | 4 |
| Fig.2 : Neurone bipolaire | 4 |
| Fig.3 : Neurone multipolaire | 5 |
| Fig.4 : Les différents types de synapses | 5 |
| Fig.5 : Structure du neurone | 7 |
| Fig.6 : Potentiel d'action, ou influx nerveux, et ses phases | 8 |
| Fig.7 : Divisions du système nerveux central | 13 |
| Fig.8 : Organisation Segmentale de l'encéphale | 14 |
| Fig.9 : Développement du télencéphale | 17 |
| Fig.10 : Vue dorsale du tronc cérébrale | 18 |
| Fig.11 : Relation entre le diencéphale et le mésencéphale | 19 |
| Fig.12 : Divisions du diencéphale | 22 |
| Fig.13 : Développement du velum et du plexus choroïde du quatrième ventricule | 24 |
| Fig.14 : Moelle épinière et méninges | 28 |
| Fig.15 : Section transversale au niveau de la moelle épinière | 28 |
| Fig.16 : Parties du système limbique | 30 |
| Fig.17 : Comparaison entre le système nerveux somatique et le système nerveux autonome | 32 |
| Fig.18 : L'œil de cheval | 35 |
| Fig.19 : La vision monoculaire et binoculaire chez le cheval | 36 |
| Fig.20 : Vision monoculaire et binoculaire chez le cheval | 38 |
| Fig.21 : Champ de vision vertical du cheval | 39 |
| Fig.22 : Anatomie de l'œil de cheval | 40 |
| Fig.23 : Le cheval peut tourner ses oreilles indépendamment pour localiser un son | 42 |
| Fig.24 : Anatomie de l'oreille de cheval | 43 |

| | |
|---|-----|
| Fig.25 : Comportement de Flehmen ou réponse de Flehmen | 45 |
| Fig.26 : Anatomie de la peau | 46 |
| Fig.27 : Sens des bovins | 47 |
| Fig.28 : Champ de vision d'un bovin | 49 |
| Fig.29 : Position de sécurité pour manipulateur-bovin | 51 |
| Fig.30 : Le troupeau de chevaux est comme une famille | 55 |
| Fig.31 : Un étalon regroupant ses femelles ensemble | 55 |
| Fig.32 : Investigation olfactive par la jument de son poulain | 58 |
| Fig.33 : Relations sociales entre les bovins | 61 |
| Fig.34 : Contrôle neuroendocrine de l'hypothalamus des différents organes et glandes | 77 |
| Fig.35 : Hypothalamus, glande pituitaire, vaisseaux associés | 79 |
| Fig.36 : Hypothalamus et hypophyse | 80 |
| Fig.37 : Comparaison des hypophyses de différentes espèces animales | 81 |
| Fig.38 : Formule développée du cortisol | 83 |
| Fig.39 : illustration schématique de l'aspect dorsal de l'encéphale de cheval et de bovin | 97 |
| Fig.40 : Illustration schématique des vaisseaux artériels associés à la face ventrale de l'encéphale | 102 |
| Fig.41 : Glande pituitaire équine et bovine | 121 |
| Fig.42 : représentation graphique des moyennes des groupes au repos et au stress | 140 |
| Fig.43 : représentation graphique des moyennes (comparaison cheval / bovin) | 141 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau.1 : Les principales différences entre le système sympathique et parasympathique | 33 |
| Tableau.2 : Tableau récapitulatif (poids) des organes utilisés | 90 |
| Tableau.3 : Dimensions moyennes de chaque hémisphère cérébral des deux cerveaux | 97 |
| Tableau.4 : Mesure des deux diamètres de l'adhésion interthalamique | 107 |
| Tableau.5 : Dimensions moyennes mesurées sur les cervelets | 118 |
| Tableau.6 : Résultats du groupe 1. Cortisol plasmatique bovine au repos et au stress | 136 |

| | |
|---|-----|
| Tableau.7 : Résultats du groupe 2. Cortisol plasmatique bovine au repos et au stress | 136 |
| Tableau.8 : Résultats du groupe 3. Cortisol plasmatique bovine au repos et au stress | 136 |
| Tableau.9 : Résultats du 1 ^{ère} prélèvement. Cortisol plasmatique équine | 137 |
| Tableau.10 : Résultats du 2 ^{ème} prélèvement. Cortisol plasmatique équine | 137 |
| Tableau.11 : Représentation des données statistiques après analyse par Minitab 15. Comparaison entre les valeurs au repos et les valeurs après stress | 139 |
| Tableau.12 : Représentation des données statistique de la comparaison cheval / bovin | 140 |

LISTE DES ABREVIATIONS

SNC : Système nerveux central.

SNA : Système nerveux autonome.

HPA-axe : Axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien.

CPF : Cortex préfrontal.

CCA : Cortex cinguli antérieur.

SRAA : Système réticulaire activateur ascendant.

UMN : Upper motor neurons (neurones moteurs centraux)

FC : Faisceau Cunéiforme

CCT : Tractus Cuneo-cérébelleux

CBG : Cortisol binding globuline

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I . CONTROLE NEURAL DE L'ORGANISME ET DU

COMPORTEMENT 04

I . 1 . Cellules nerveuses..... 04

I . 2 . Récepteurs sensoriels..... 09

I . 3 . Muscles et glandes..... 10

I . 4 . Le système somesthésique..... 11

II . ANATOMIE DU SYSTEME NERVEUX..... 13

II . 1. Le système nerveux central..... 13

II . 1. 1. L'encéphale 13

II . 1. 1. 1. Le télencéphale (*cerveau = cerebrum*)..... 15

II . 1. 1. 2. Le tronc cérébral (*The brainstem*)..... 17

II . 1. 1. 2. 1. Diencephale (*intermediate brain*)..... 18

II . 1. 1. 2. 2. Le mésencéphale (*midbrain*)..... 22

II . 1. 1. 2. 3. Le métencéphale (*pons and cerebellum*)..... 23

II . 1. 1. 2. 4. Le myélocéphale (*moelle allongée = medulla oblongata*)..... 25

II . 1. 2. Moelle épinière..... 25

II . 1. 3. Système limbique..... 29

II . 2. Système nerveux végétatif..... 31

III . PERCEPTION ET CAPACITES SENSORIELLES 34

III. 1. Chez le cheval..... 34

III . 1. 1 . La vision..... 34

III . 1. 2 . L'ouïe..... 41

| | |
|---|-----------|
| III . 1. 3 . L'olfaction..... | 44 |
| III . 1. 4 . Le toucher..... | 45 |
| III . 2 . Chez le bovin..... | 46 |
| III . 2. 1 . La vision..... | 48 |
| III . 2. 2 . L'ouïe..... | 49 |
| III . 2. 3 . L'olfaction..... | 50 |
| III . 2. 4 . Le toucher..... | 51 |
| IV. COMPORTEMENT SOCIAL | 52 |
| IV. 1. Chez le cheval..... | 53 |
| IV. 2. Chez le bovin..... | 59 |
| V. PHYSIOLOGIE DU STRESS..... | 62 |
| V. 1. Le bien être des animaux..... | 62 |
| V. 2. Les émotions chez les animaux..... | 65 |
| V. 3. V. 3. Homéostasie et stress..... | 68 |
| V. 4. Les hormones chez les vertébrés..... | 76 |
| V. 5. Axe HPA et la réponse neuroendocrine au stress..... | 76 |
| V. 5 . 1. Composants et Fonctions de l'axe HPA..... | 78 |
| V. 6. Le cortisol..... | 83 |
| V. 6. 1. Structure biochimique Synthèse Rôles biologiques..... | 83 |
| V. 6. 2. Les facteurs influençant la sécrétion du cortisol..... | 84 |

DEUXIEME PARTIE : ETUDE PRATIQUE

| | |
|--|----|
| I. Choix des animaux..... | 87 |
| II. Objectifs de la thèse..... | 87 |
| III. travaux sur pièces anatomiques Dissection des encéphales..... | 88 |
| III. 1. Matériel et méthodes..... | 88 |

| | |
|--|------------|
| III. 1. 1. Matériel utilisé..... | 88 |
| III. 1. 2. Protocole de la dissection..... | 88 |
| III. 1. 4. Etapes préliminaires de la dissection..... | 89 |
| III. 2. Dissection des têtes utilisées..... | 91 |
| III. 3. Résultats et discussion..... | 93 |
| III. 3. 1. Face dorsale de l'encéphale..... | 94 |
| III. 3. 2. Face ventrale de l'encéphale..... | 98 |
| III. 3. 3. Coupes médianes sur l'encéphale..... | 105 |
| III. 3. 4. Coupes horizontales | 108 |
| III. 3. 5. Coupes au niveau du tronc cérébral..... | 114 |
| III. 3. 6. Dissection de l'hypophyse..... | 119 |
| III. 3. 7. Dissection de l'œil..... | 122 |
| III.4. Discussion et interprétation des résultats..... | 123 |
| III.4. 1. Télencéphale | 123 |
| III.4. 2. Rhinencéphale..... | 128 |
| III.4. 3. Tronc cérébral..... | 128 |
| III.4. 4. Hypophyse..... | 129 |
| III.4. 5. Œil..... | 129 |
| III.5. Conclusion I..... | 129 |
| IV. Dosage du cortisol..... | 131 |
| IV.1. Matériels et méthode..... | 131 |
| IV.1.1. Prélèvements du sang | 131 |
| IV.1.2. Conditionnement, préparation et conservation..... | 132 |
| IV.1.3. Facteurs de stress utilisés..... | 132 |
| IV.1.3.1. Test du parapluie, <i>Umbrella Exposure test (UE test)</i> | 132 |

| | |
|---|-----|
| IV.1.3.2. Test de l'homme, <i>human exposure test</i> (<i>HE test</i>) | 132 |
| IV.1.3.3. Manipulations négative | 132 |
| IV.1.4. Dosage | 134 |
| IV.1.4.1. Matériel nécessaire pour dosage du cortisol | 134 |
| IV.1.4.2. Principes de la méthode | 135 |
| IV.1.4.3. Réactifs | 135 |
| IV.2. Résultats et discussion | 136 |
| IV.2.1. Résultats obtenus | 136 |
| IV.2.1.1. Bovin | 136 |
| IV.2.1.2. Cheval (arabe barbe) | 137 |
| IV.2.2. Discussion | 137 |
| IV.2.2.1. Réactions comportementales des animaux devant les testes | 137 |
| IV.2.2.2. Analyse statistique des données | 139 |
| IV.2.2.3. Interprétation des résultats | 141 |
| IV.3. Conclusion 2 | 144 |
| V. Conclusion générale | 145 |
| VI. Perspectives | 146 |

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION

Le système nerveux central est l'orchestre de tout l'organisme dont il appartient. Il assure les relations de cet organisme avec son environnement et la coordination fonctionnelle de tous les autres appareils. A cet effet, il perçoit toutes les variations du milieu extérieur et y répond par des réactions appropriées. Cette fonction d'adaptation atteint chez les mammifères supérieurs sa forme la plus parfaite avec le développement du psychisme ; on peut dire que les fonctions intellectuelles en sont la plus haute expression. Ce système effectue ses fonctions en trois étapes qui sont : la réception des informations sous forme d'un signal électrique « influx nerveux » en réponse à des stimuli externes grâce aux organes sensoriels (œil, oreille, langue, nez et les différents récepteurs sensoriels de la peau) qui captent et perçoivent les variations du milieu externe (extéroception), ou à des stimuli internes captés par des récepteurs spécifiques implantés profondément dans différents organes de l'organisme (barorécepteurs, myofibrilles, vestibule ou organe de l'équilibration et l'organe de Golgi...) qui transmettent des informations au système nerveux central sur l'état de l'organisme lui-même (proprioception). Après la réception des informations vient l'étape de l'intégration. Dans cette étape le système nerveux central traite ces informations en tenant compte des capacités mentales (intellectuelles comme la capacité de résoudre un problème ou de trouver une solution, instinctifs qui sont prédéfinis génétiquement comme la reconnaissance du partenaire sexuel et l'accouplement, en plus la mémoire qui offre des informations retenues des expériences passées) et physiques (l'animal soit conscient de ses capacités par exemple de prendre une décision de combattre ou de fuir). La dernière étape est l'émission de commandes pour la réalisation d'une action ou bien une perception consciente d'un événement.

Mais ce système (SNC) n'agit pas seul pour contrôler l'organisme ; en réalité il agit en synergie avec un autre système qui est le système endocrine. Et si la transmission du message nerveux est assurée par des cellules spécialisées, les neurones ; celui du système endocrine est assuré par la circulation sanguine sous forme de substances chimiques : les hormones. Ces deux systèmes se rencontrent au niveau de l'hypothalamus et l'hypophyse (glande pituitaire) cette dernière est considérée comme la glande master du corps parce qu'elle accomplit plusieurs fonctions vitales par le biais des différentes hormones qu'elle secrète, ces deux structures cérébrales font partie d'une région de l'encéphale : le diencephale, ce dernier appartient au système limbique, le siège du psychisme, des émotions et des comportements. Le fait que l'élaboration de tous les comportements s'effectue à travers le système nerveux central dont le cerveau et le système neuroendocrinien, et que certains êtres ont des

perceptions, des émotions, et par conséquent la plupart d'entre eux ont des désirs, des buts, une volonté qui leur sont propres. Les Anglo-Saxons ont le nom « *Sentience* » pour désigner cette faculté de sentir, de penser, d'avoir une vie mentale. Ce thème a fait l'objet de l'éthologie qui est à l'époque définie dans plusieurs traités européens comme la « biologie du comportement », MC Farland [1] définissait, en effet, le domaine de l'éthologie moderne comme la combinaison de la biologie évolutive et de la psychologie comparative, avec ses recherches sur les mécanismes neurosensoriels, neuromoteurs, neurocorticaux et neuroendocriniens des comportements instinctifs.

La capacité des animaux à exprimer des émotions a fait l'objet de nombreux débats entre les scientifiques, et nul ne peut infirmer la présence des émotions chez les animaux. Ce qui est acceptable est que les émotions animales sont simples et moins complexes que chez l'être humain. Une émotion se définit comme un état affectif qui dépend de la représentation que l'individu se fait de son milieu. Elle se caractérise par une composante subjective (sentiment), une composante somato-motrice (comportement) et une composante neuroendocrinienne. La composante subjective n'est pas appréciable directement chez les animaux puisqu'ils ne peuvent communiquer verbalement. Cependant, l'état émotionnel d'un animal peut être apprécié à travers des deux autres composantes : les modifications comportementales et neuroendocriniennes. Celles-ci présentent d'ailleurs des similitudes entre émotions négatives, qu'ils'agisse de peur (état émotionnel induit par la perception d'un stimulus menaçant) ou de souffrance liée à une douleur physique (expérience sensorielle ou émotionnelle associée à un dommage tissulaire réel ou potentiel, selon la définition de l'*International Society for the Study of Pain*). Ces réactions ont été plus particulièrement étudiées chez les mammifères et les oiseaux et le terme générique de stress est utilisé pour décrire la réponse plus ou moins spécifique de l'organisme face à une situation menaçante.

Le terme de stress, quant à lui, fait en toute première référence à l'activation du système neuro-végétatif, la libération de catécholamines (adrénaline et noradrénaline), et de l'axe corticotrope, entraînant notamment la libération de glucocorticoïdes (principalement le cortisol), en réponse à des perturbations physiques. Plus tard, les réponses comportementales ont été incluses dans la définition du stress. Ainsi, un animal se trouve dans un état de stress lorsque les ajustements physiologiques et comportementaux qu'il doit fournir pour s'adapter à son environnement sont trop importants. On distingue deux types de réponses aux questions suivantes concernant le comportement animal:

1. Pourquoi les animaux répondent-ils d'une façon particulière aux stimuli de l'environnement et aux stimuli internes ?

2. Pourquoi certains animaux répondent-ils d'une façon et d'autres animaux d'une autre façon à la même situation ?

Les études sur le comportement des chevaux sont assez récentes et offrent généralement une vision partielle du tempérament, l'assimilant souvent à la « docilité » ou à l'émotivité. Malgré une domestication vieille de près de 3000 ans, le cheval (*Equus caballus*) reste souvent imprévisible et peut manifester des réactions de peur exagérées, potentiellement dangereuses pour les cavaliers ou les manipulateurs. En effet, le cheval, comme toutes les espèces (entre autres le bovin) qui occupent un statut de proie au sein de l'échelle alimentaire, possède dans son panel comportemental trois consignes possibles en réponse à la menace : l'immobilisation, la fuite, ou la lutte, avec une plus grande affinité pour la fuite en ce qui concerne le cheval. Les bovins domestiques, comme la plupart des ruminants, appartiennent à une espèce sociale et tolèrent en particulier d'être entretenus en groupe à des densités relativement élevées, à l'opposé la conduite en isolement entraîne des troubles qui révèlent l'importance des contacts sociaux pour ces animaux. Et si les hommes sont arrivés à domestiquer le cheval et le bovin et à en obtenir ce qu'ils voulaient, les études consacrées à la compréhension de la façon dont « la plus noble conquête de l'homme » perçoivent le monde sont peu nombreuses.

Le cheval et le bovin sont des animaux qui ont un grand intérêt économique et culturel. Ces animaux sont soumis à des stimuli stressants internes et externes de façon permanente dans leurs vies, ce qui nuit à leur bien-être et à leurs performances de production, de reproduction et physique pour les chevaux de sport, ainsi que le risque que l'animal puisse acquérir un mauvais comportement tel que l'agressivité. Cela impose une meilleure compréhension de l'anatomie et de la physiologie du système nerveux central et surtout des structures (substrats) cérébrales responsables du comportement et du psychisme ainsi que de leur physiologie. Ce qui est important et réalisable est de faire une étude morphologique comparative et macroscopique sur l'encéphale (Macro-neuro-anatomie comparée) et des organes sensoriels du cheval et celle du bovin pour chercher et comparer les variations anatomiques et structurelles, complétée par une étude sur la physiologie de la réponse au stress pour visualiser les variations biomoléculaires du système neuroendocrinien chez ces deux espèces animales. Une telle étude peut nous aider à expliquer les variations de réponses aux stimuli de l'environnement chez eux, et cela pour mieux les comprendre, en effet la connaissance du comportement animal peut contribuer à la mise au point de techniques nouvelles ou améliorées prenant en compte l'adaptation et le bien-être des animaux domestiques et donc une meilleure manipulation, ce qui participe à minimiser les pertes au niveau des performances ou de la productivité engendrée par le stress.

Première partie :
Synthèse
bibliographique

I. CONTROLE NEURAL DE L'ORGANISME ET DU COMPORTEMENT

I. 1 Cellules nerveuses

Les neurones, sont les cellules de base du système nerveux, qui sont spécialisées pour transmettre l'information sous forme d'impulsions électriques l'une à l'autre [1,49,56,58]. Chaque cellule a un corps qui contient le noyau et un certain nombre de prolongements ramifiés. D'habitude, il y a de nombreuses ramifications courtes, les dendrites, et un long prolongement unique l'axone [1,45,56,65,70]. Les dendrites se connectent aux neurones voisins, tandis que les axones transmettent les messages sur des distances relativement longues [1,56]. Un neurone peut être unipolaire (pas de dendrite), bipolaire (une dendrite) ou multipolaire (plusieurs dendrites). Une catégorie supplémentaire existe dans laquelle le dendrite unique et l'axone fusionnent durant le développement embryonnaire, donnant la fausse apparence d'un neurone unipolaire : il est ainsi appelé neurone pseudo-unipolaire [2,3,49,55,70].

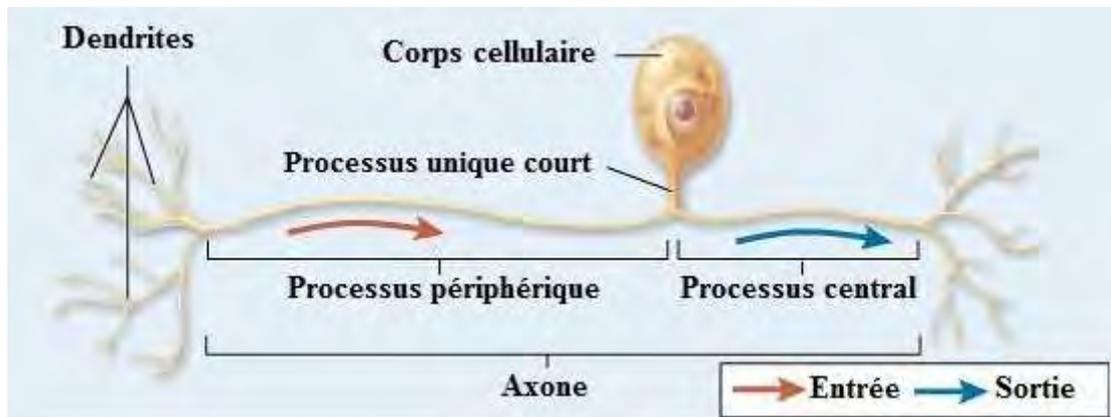


Fig.1 Neurone unipolaire. [55]

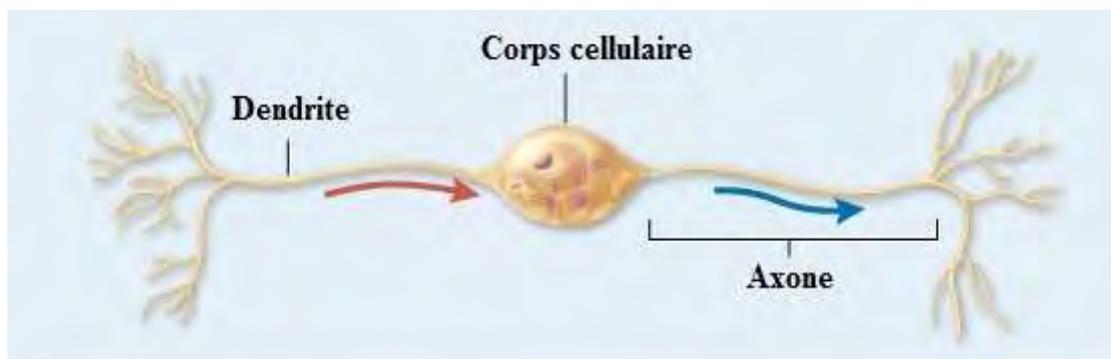


Fig.2 Neurone bipolaire. [55]

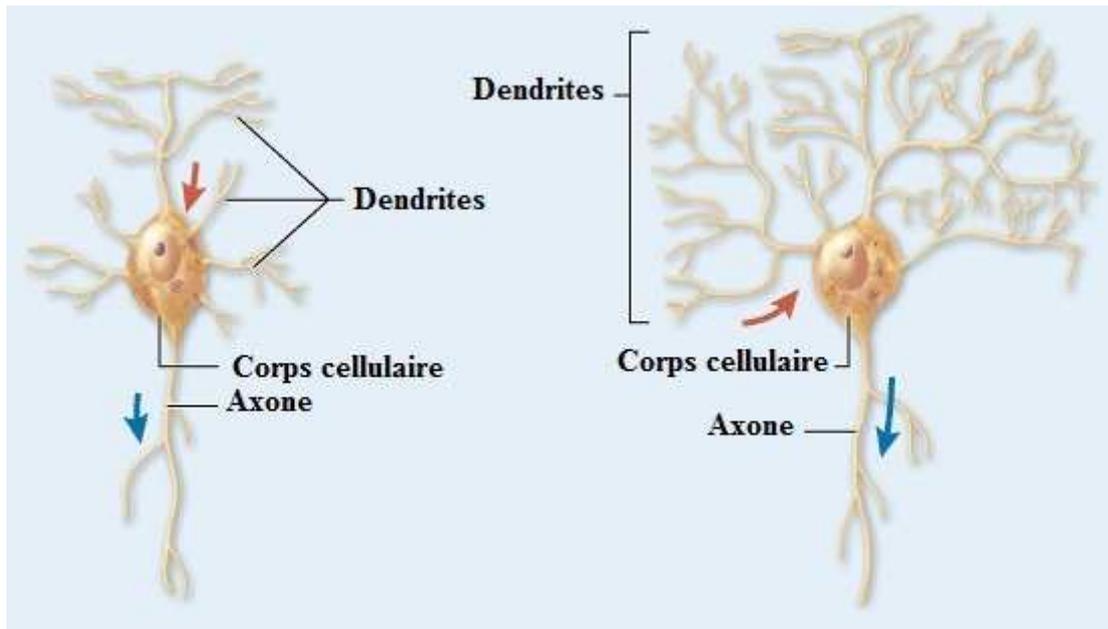


Fig.3 Neurone multipolaire. [55]

L'information est transférée d'un neurone à l'autre, il traverse un espace ou fente intercellulaire, la synapse. Selon la partie des neurones participants à la formation de la synapse, elle peut être axodendritique dans la majorité des cas, axosomatique, axoaxonique ou dendrodendritique. La plupart des synapses sont axodendritiques et mettent en jeu une substance neurotransmettrice (telle que l'acétylcholine) qui est libérée par l'axone du premier neurone dans la fente synaptique [2,11,55,56,65].

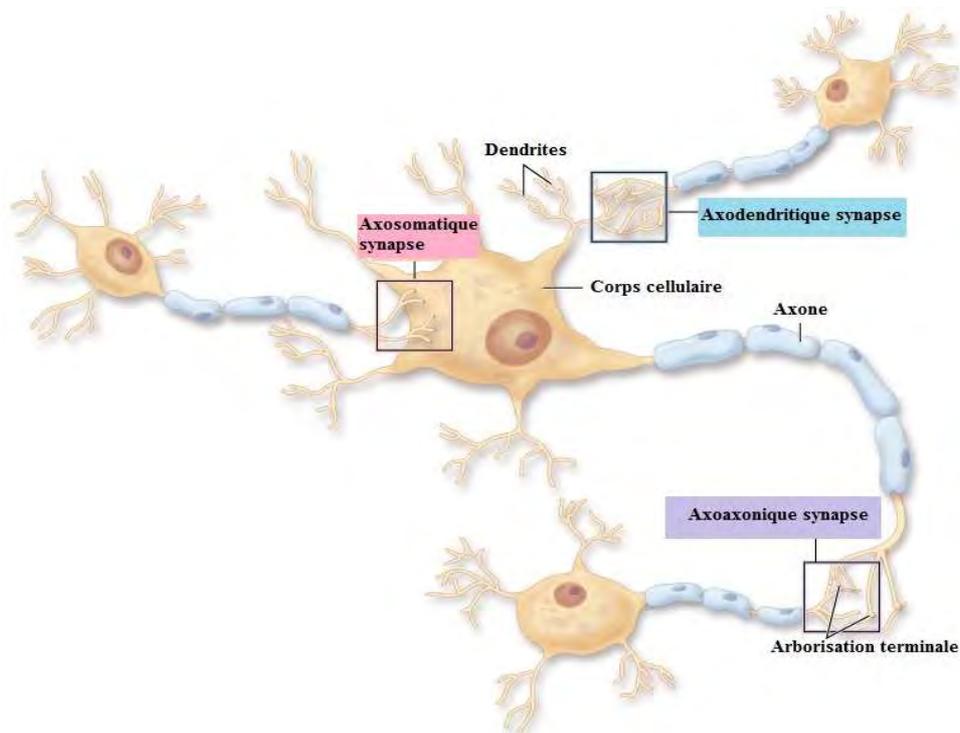


Fig.4 Les différents types de synapses. [55]

L'agent chimique déstabilise momentanément la membrane plasmique du dendrite, et une vague de dépolarisation parcourt le second neurone, ce qui entraîne la libération d'une substance neurotransmettrice à la terminaison de son propre axone, Ce type de synapse chimique est une synapse excitatrice qui permet la transmission d'une impulsion. Un autre type de synapse peut interrompre la transmission d'une impulsion en stabilisant la membrane plasmique du second neurone : elle est appelée synapse inhibitrice [1,11,49].

Afin de prévenir une dépolarisation spontanée ou accidentelle de la membrane plasmique des cellules nerveuses, des cellules spécialisées fournissent une couverture physique sur l'ensemble de sa surface. Dans le SNC. Ces cellules, sont appelées astrocytes et oligodendrocytes, alors que dans le SNP, ce sont les cellules capsulaires et les cellules de Schwann. L'oligodendrogliose et les cellules de Schwann ont la possibilité de former des gaines de myéline autour des axones, ce qui augmente la vitesse de conduction de l'influx le long de l'axone. La région au niveau de laquelle les gaines de myéline d'une cellule de Schwann (ou d'oligodendrocytes) se termine et celle où la suivante commence est appelée nœud de Ranvier. De plus, le SNC possède une microglie, faite de macrophages dérivés de la lignée monocyttaire et des cellules épendymaires qui bordent les ventricules cérébraux et le canal épendymaire de la moelle épinière[1].

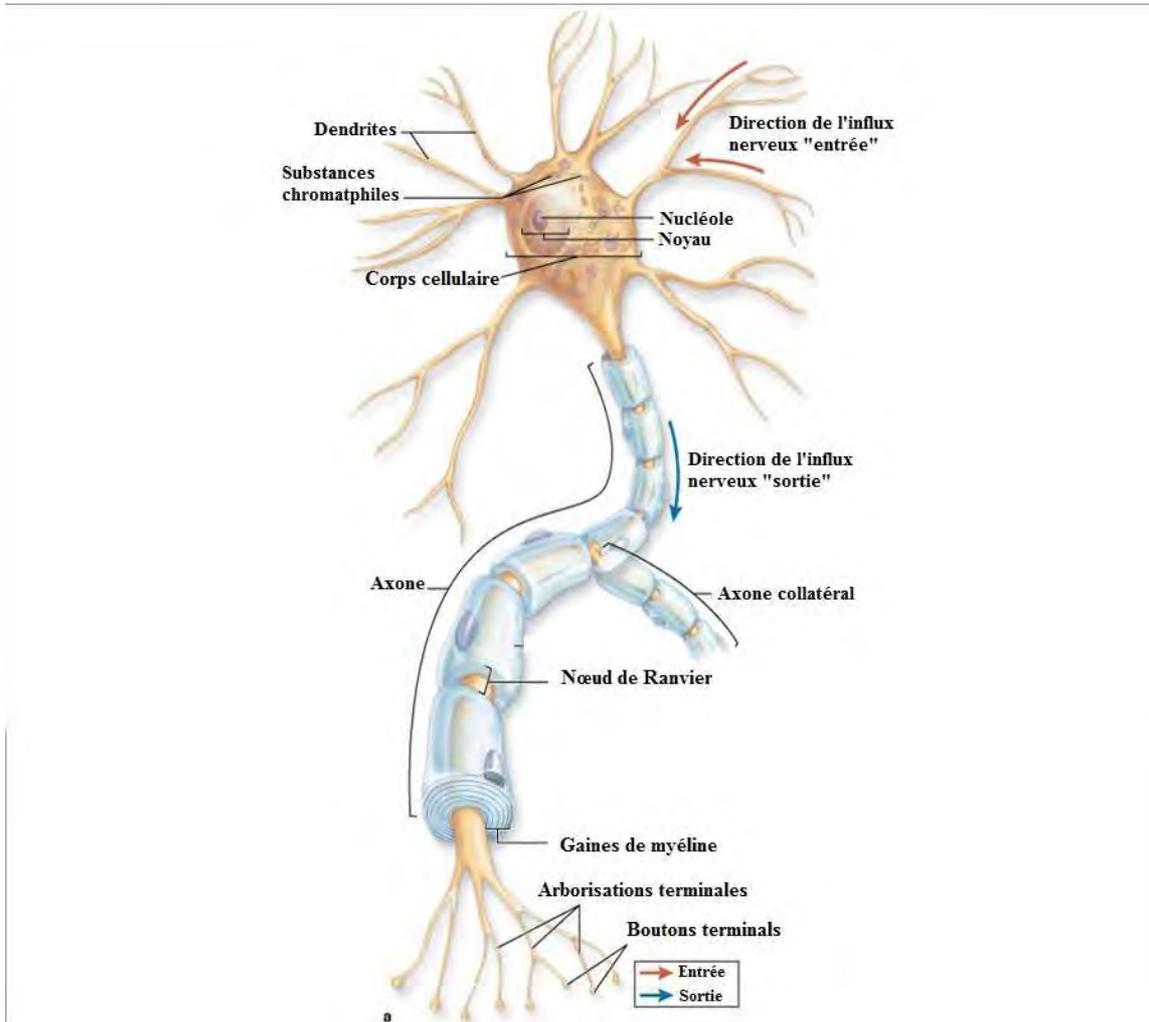


Fig.5 Structure du neurone. [55]

L'unité fonctionnelle et structurelle du système nerveux est le neurone, une cellule qui est hautement spécialisée afin d'assurer ses deux fonctions essentielles : l'excitabilité et la conduction [2,49,56,58].

La membrane d'un neurone est généralement polarisée. Cela veut dire qu'un potentiel électrique la traverse, appelé potentiel de repos dans le neurone inactif, qui procure un état stable et prêt à servir, comme celui d'une batterie qui contient de l'énergie utilisable à la demande. Le potentiel de repos résulte de concentrations inégales d'ions K^+ à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule. Quand la cellule est au repos, l'intérieur est négatif par rapport à l'extérieur. Quand la cellule est dépolarisée, le potentiel membranaire se rapproche de zéro, comme le montre la Fig.6. Quand le potentiel membranaire est rendu plus négatif, on dit que la cellule est hyper-polarisée [1,45,54,65].

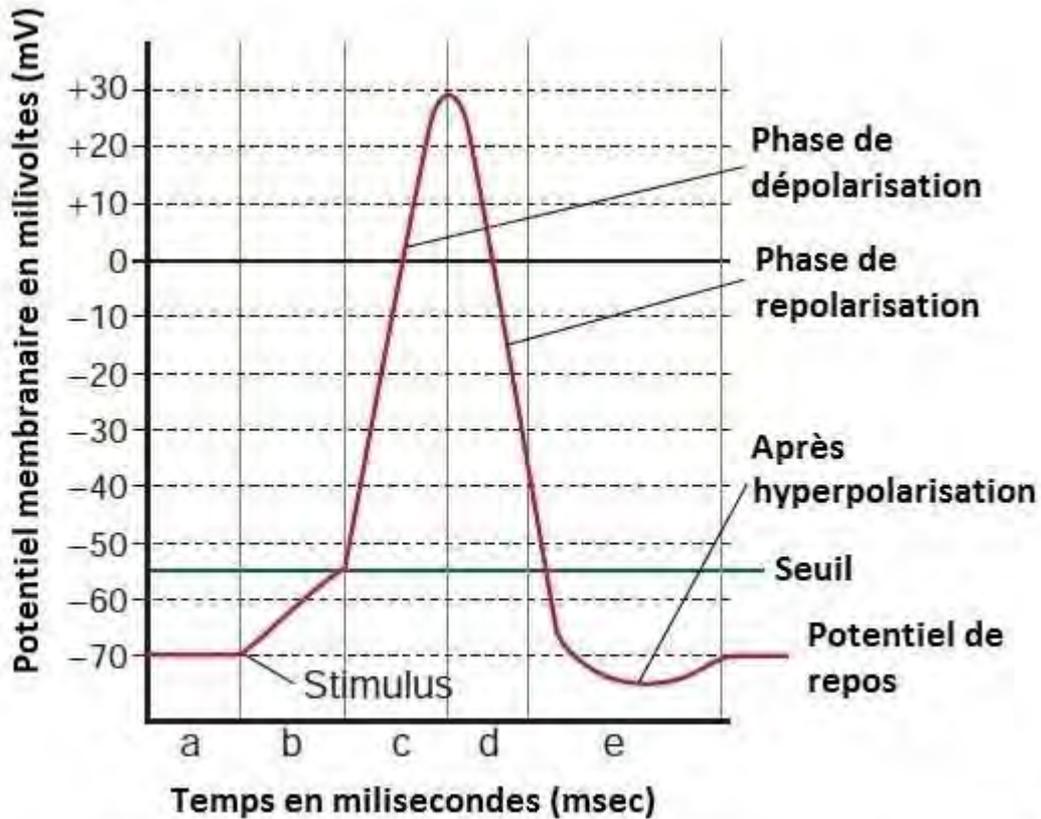


Fig.6 Potentiel d'action, ou influx nerveux, et ses phases. A. pendant le potentiel de repos les canaux de voltage Na sont au repos et les canaux de voltages K sont fermés. B. augmentation du potentiel : un stimulus suffisant provoque la dépolarisation vers le seuil de stimulation. C. Dépolarisation: activation des canaux de voltages Na qui s'ouvrent. La partie C représente la période réfractaire absolu. D. Repolarisation: les canaux de voltages K sont ouvertes; les canaux de voltages Na sont inactivés. E. après hyperpolarisation : les canaux de voltages K restent ouvertes; les canaux de voltages Na sont en statut de repos. Parties D et E représentent la période réfractaire relative. [49]

Si le potentiel de repos est dépolarisé au-delà d'un certain seuil, un potentiel d'action se propage le long de la membrane. Le potentiel d'action est un potentiel transitoire causé par des changements systématiques des proportions relatives d'ions Na^+ et K^+ , de chaque côté de la membrane. Le potentiel d'action passe le long de l'axone comme une onde électrique. Il a toujours la même amplitude et est d'habitude déterminé par le diamètre de l'axone. Les plus gros axones propagent de plus grands potentiels d'action que les petits, et plus rapidement. [1,45,49,54]

I. 2. Récepteurs sensoriels

En général, les systèmes nerveux traitent les informations en trois étapes : la réception de l'information sensorielle, l'intégration et l'émission de commandes motrices. Ces trois étapes sont dirigées par des populations spécialisées de neurones. Les neurones sensitifs transmettent l'information provenant de récepteurs sensoriels qui détectent tant les stimuli externes (perception de la lumière, du son, du toucher, de la chaleur, de l'odeur et du goût) que les condition internes (comme la pression artérielle, la concentration de CO₂ dans le sang et la tension musculaire). L'information sensorielle est ensuite transmise au SNC, où des interneurons les intègrent (les analysent et les interprètent), en tenant compte à la fois du contexte immédiat et des événements passés [45].

Les récepteurs sensoriels sont des cellules nerveuses spécialisées, responsable de la conversion et de la transmission des informations. Comme les cellules nerveuses ordinaires, elles possèdent un corps, des dendrites et un ou plusieurs axones. Les récepteurs sont spécialisés en fonction de l'énergie environnementale à laquelle ils réagissent. Par exemple les photorécepteurs contiennent des pigments que la lumière peut modifier chimiquement et qui alors donnent naissance à un potentiel électrique, ils captent les rayonnements que nous appelons lumière visible et sont situés le plus souvent dans les yeux. Les mécanorécepteurs subissent des changements électrochimiques suite à la déformation de la membrane cellulaire. Cette conversion de l'énergie prend généralement place dans le corps de la cellule, et une caractéristique de toute les cellules réceptrices est que l'énergie de l'environnement est traduite en un potentiel électrique gradué appelé le potentiel générateur. Ce potentiel est généralement proportionnel à l'intensité de la stimulation du récepteur. Quand le potentiel générateur atteint un certain seuil, il déclenche un potentiel d'action qui traverse l'axone de la cellule réceptrice. C'est la partie de la transmission du processus sensoriel, et l'information est d'habitude codée de sorte que, plus le stimulus est intense, plus haute est la fréquence des potentiels d'action[1,45].

Les potentiels d'action qui convoient des informations sensorielles ne sont pas différents des autres impulsions nerveuses. Leur magnitude est déterminée par la taille de l'axone, et leur fréquence par l'intensité de la stimulation. Chaque type de récepteur envoie des impulsions, directement ou indirectement, à un endroit particulier du cerveau. Les sensations perçues ne dépendent pas du type de récepteur, ni des messages qu'il envoie, mais de la partie du cerveau qui les reçoit. Le cerveau est aussi responsable de la localisation de la sensation. En cas de douleur par exemple, les fibres nerveuses de la main vont vers une partie du

cerveau, celles du bras vont dans une autre et ainsi de suite. La douleur perçue par le cerveau est rapportée à la partie du corps d'où le message est venu. Une illustration de ce phénomène vient des rapports concernant des personnes qu'on a amputées d'un membre et qui se plaignent de sensation de douleur qui semble venir du membre manquant. L'irritation des terminaisons du nerf coupé envoie des impulsions aux parties du cerveau qui concernaient le membre amputé. Le cerveau interprète ces messages comme s'ils venaient du membre absent, et les sensations perçues dépendent du nerf irrité [1,45].

I. 3. Muscles et glandes

Le système nerveux est responsable du contrôle du comportement et dans une certaine mesure, du contrôle de l'environnement interne de l'animal. Ce contrôle s'exerce en commandant les muscles et les glandes.[1] Les commandes motrices partent du SNC via les neurones, qui communiquent avec les cellules effectrices (cellules musculaires ou glandulaire). [45]

Les mouvements caractéristiques de tous les animaux se produisent de la contraction des muscles squelettiques. Ils sont orchestrés par le SNC à travers le contrôle de leurs unités motrices [54]. Les muscles se composent de molécules de protéines complexes capables de se contracter et de se relâcher. Les terminaisons nerveuses sont connectées aux muscles par des synapses semblables à celles par lesquelles les neurones sont connectés l'un à l'autre. Une fibre musculaire ne peut se contracter que si elle est stimulée par un neurone moteur. Les impulsions nerveuses qui arrivent à la jonction neuromusculaire créent un potentiel électrique qui déclenche la contraction du muscle. La relaxation musculaire résulte du manque de stimulation. Quand le muscle se contracte, il devient plus court, pourvu qu'il ne soit pas empêché de le faire en étant fixé aux deux extrémités. Un muscle peut s'allonger lorsqu'il se relâche, mais seulement s'il est étiré par l'action d'autres muscles ou d'autres forces extérieures. Les muscles sont donc généralement disposés en groupes opposés qui agissent l'un contre l'autre [1,45].

Le système nerveux et le système endocrinien sont intégrés pour le contrôle des processus physiologiques [54]. L'hypothalamus forme une unité fonctionnelle complexe qui représente le lien traditionnel entre le système nerveux et le système endocrinien [45,60]. Certaines sécrétions glandulaires sont sous contrôle nerveux. Chez les vertébrés, celle-ci comprennent les glandes salivaires, qui produisent la salive, les surrénales, qui produisent l'adrénaline et cortisol, l'hypophyse, qui produit de nombreuses hormones importantes. Les

sécrétions de ces glandes peuvent influencer le comportement indirectement par leurs effets sur l'état interne de l'animal [1].

I .4. Le système somesthésique

Il est important que le cerveau d'un animal reçoive des informations sur son état général. Le système nerveux central (SNC) contrôle la position des membres, la pression des organes internes, la température des différentes parties du corps et bien d'autres facteurs grâce à des récepteurs internes situés à des points stratégiques. Ce système, responsable des sensations corporelles, est appelé système somesthésique [1].

Il existe dans la peau de nombreux types de récepteurs sensoriels. On classe les divers types de récepteurs sensoriels cutanés en cinq catégories : les mécanorécepteurs, les chimiorécepteurs, les récepteurs d'ondes électromagnétiques, les thermorécepteurs et les nocicepteurs, de même que dans les muscles attachés au squelette, et dans les viscères des vertébrés. Les cinq types de récepteurs donnent lieu aux sensations de toucher, de pression, de froid, de chaleur et de douleur. Les récepteurs de la douleur sont plus nombreux que les récepteurs du froid et les récepteurs de la chaleur [1,45]. Certains récepteurs cutanés montrent une adaptation sensorielle rapide. En réponse à un changement minimum de stimulation, la fréquence des impulsions nerveuses augmente rapidement puis redescend à son niveau de repos. C'est un avantage dans les cas où les récepteurs cutanés donnent un avertissement précoce de changement de l'environnement susceptibles d'affecter le corps, comme les changements de température [1].

Les récepteurs situés en profondeur servent à toutes sortes de fonctions, comme la détection de changements de la pression sanguine, de la tension musculaire, de la quantité de sel dans le sang, etc. [1] Les chimiorécepteurs comprenant à la fois des récepteurs généraux qui fournissent des renseignements sur la concentration totale des solutés dans une solution et des récepteurs spécifiques réagissent à certains types de molécules. Ainsi, les osmorécepteurs situés dans l'encéphale des mammifères sont des récepteurs généraux qui détectent les variations de la concentration totale des solutés dans le sang et qui provoquent la sensation de soif en cas d'augmentation de l'osmolarité. [45]

L'orientation des animaux par rapport à la gravité et à des stimuli extérieurs comme la lumière dépend partiellement des informations au sujet de la relation spatiale des différentes parties du corps [1,45]. Chez les mammifères, ces informations viennent du système vestibulaire et de récepteurs situés dans les articulations, les muscles et les tendons. Les

récepteurs des articulations donnent des informations sur la position angulaire de celle-ci. Dans les tendons des mammifères, il y a les récepteurs de Golgi qui sont sensibles à la tension. Ils envoient des messages à la moelle épinière et sont impliqués dans les réflexes simples qui s'opposent à l'augmentation de la tension des muscles [1,45,54].

Dans les muscles il y a les myofibrilles ou récepteurs d'étirement, sensibles aux changement de longueur du muscle. Les myofibrilles sont des fibres musculaires modifiées qui ont une terminaison nerveuse en spirale, appelée terminaison primaire (ou annulospirale) enroulée autour de leur milieu. Quand la longueur du muscle augmente, la myofibrille est étirée, et les terminaisons primaires envoient des messages rapides à la moelle épinière [1,45,54]. Il peut aussi exister des terminaisons secondaires en ombelles qui envoient des messages plus lents. Chez de nombreux mammifères, beaucoup de myofibrilles possèdent les deux sortes de terminaisons, d'autres ne possèdent que les terminaisons primaires (Prosser, 1973). Ces myofibrilles forment une partie d'un réflexe simple qui agit pour s'opposer à l'allongement du muscle [1].

Les myofibrilles sont contenues dans un tissu conjonctif fusiforme, ou aponévrose, et leurs fibres musculaires s'appellent fibres intrafusales. Les fibres musculaires ordinaires sont les fibres extrafusales. Elles sont innervées par neurones moteurs alpha dont le corps cellulaire se trouve dans la moelle épinière. Chez les mammifères, les fibres intrafusales sont innervées par de plus petits neurones moteurs gamma qui maintiennent les fibres dans un état d'activité tonique, de sorte qu'il faut moins d'élongation du muscle pour activer la myofibrille [1,54].

La plupart des biologistes seraient d'accord pour dire qu'une des principales tendances de l'évolution dans le règne animal a été la complexification du système nerveux. En retraçant l'évolution des processus sensoriels, il semble donc raisonnable d'utiliser la complexité du système nerveux comme guide [1].

II. ANATOMIE DU SYSTEME NERVEUX

II. 1. Le système nerveux central

Le système nerveux est le système le plus complexe du corps. cette complexité n'est pas seulement en anatomie mais aussi en physiologie [11,67]. Considérant que ce système est en jonction avec une partie du système endocrine, ce sont les deux centres qui contrôlent l'homéostasie et le bien être du corps. Ces systèmes initient modèrent et coordonnent toutes les activités du corps [67]. Le système nerveux est responsable de la sensation des changements internes du corps et externes du milieu environnant et répond de façon appropriée [11,64]. Le système nerveux central (SNC) est composé de l'encéphale et de la moelle épinière. Embryologiquement le (SNC) se développe de l'ectoderme qui forme le tube neural. L'encéphale est divisé aux hémisphères cérébraux (cerveau), le tronc cérébral, et le cervelet. Les cinq majeures parties de l'encéphale sont; le télencéphale (cerveau), diencéphale, mésencéphale, métencéphale, et le myélocéphale [3,4,5,6,12,13,15,17,63 ,65,66].

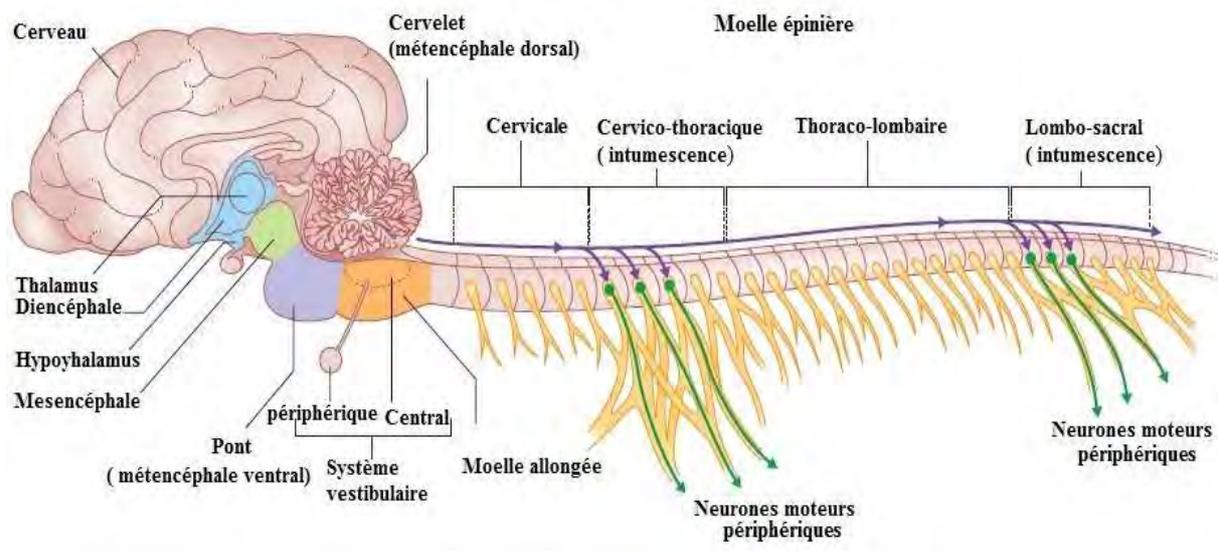


Fig.7 divisions du système nerveux central [18].

II. 1. 1. L'encéphale

L'encéphale comporte plusieurs divisions. A sa face ventrale, on voit d'abord une partie axiale qui continue la moelle épinière en devenant plus large, plus épaisse et plus compliquée. Cet axe, souvent nommé tronc cérébral, porte dorsalement un organe impair, grisâtre et finement plissé, le cervelet (*cerebellum*) [3,4,63,65,66,67]. Son extrémité rostrale se continue par une volumineuse expansion bilobée, le cerveau (*cerebrum*), à elle seule plus

grosse que le reste de l'encéphale. Le tronc cérébral est formé de plusieurs segments parfaitement continus mais différents par le développement, la conformation, la topographie et les fonctions [3,65]. Le segment caudal ou rhombencéphale (*Rhombencephalon*) comprend deux parties inégales et étroitement associées. Celle qui prolonge directement la moelle épinière est la plus simple : c'est le myélocéphale (*Myelencephalon*), seulement formé de la moelle allongée (*Medula oblongata*) – anciennement "bulbe rachidien". L'autre beaucoup plus grosse et complexe, est le métencéphale (*Metencephalon*). Sa face ventrale forme un épais relief transversal, le pont (*Pons*) – anciennement "protubérance annulaire" – et le cervelet occupe sa partie dorsale [3,4,11,64]. Le plafond est atténué et forme le velum médullaire (velum médullaire rostral et velum médullaire caudal) du quatrième ventricule [64].

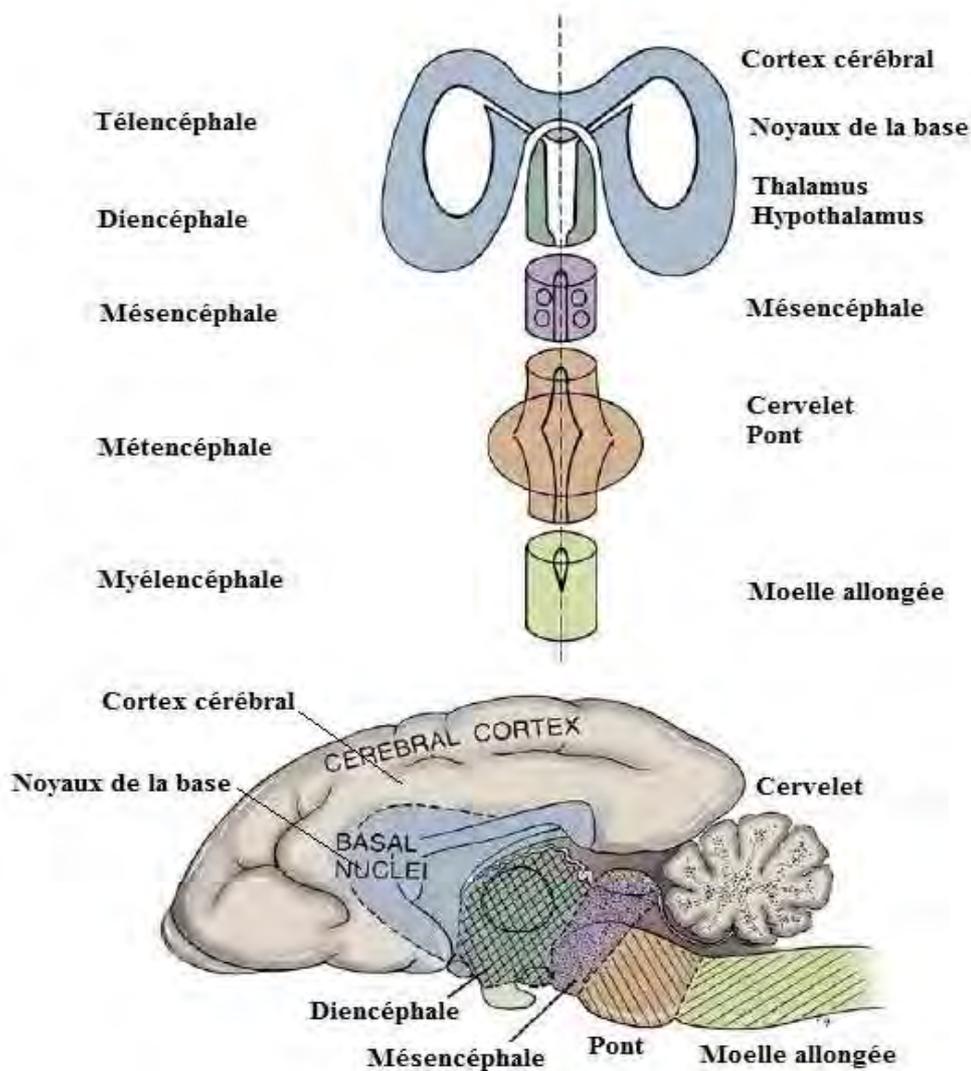


Fig.8 Organisation Segmentaire de l'encéphale. cinq régions major sont signifiants cliniquement : le cerveau, contenant le cortex cérébral, substance blanche, et les noyaux de base; le diencéphale, comportant le thalamus et l'hypothalamus; le tronc cérébral comportant le mésencéphale, le pont, et la

moelle allongée ; le système vestibulaire, comportant le labyrinthe (périphérique) et les noyaux vestibulaires (central) dans la partie rostrale de la moelle allongée ; et le cervelet [4].

Les parties de l'encéphale situées rostralement au rhombencéphale diffèrent, par leur développement et leur organisation, du reste du système nerveux central, qu'elles contrôlent. Leur ensemble constitue l'archencéphale (*Archoncephalon*) par opposition au rhombencéphale, encore qualifié de deutérencéphale (*Deuterencephalon*) parce qu'il semble être une partie de la moelle épinière hautement différenciée et secondairement annexée à l'archencéphale [3].

Ce dernier comporte à son tour deux parties très inégales. Celle qui continue le rhombencéphale est le mésencéphale (*Mesencephalon*), dont la partie caudale est si nettement rétrécie au voisinage du pont qu'elle est souvent qualifiée d'*isthme* de l'encéphale. Le reste de l'encéphale, de loin le plus volumineux, est le prosencéphale (*Prosencephalon*), lui-même formé de deux parties intimement associées : celle qui se raccorde au mésencéphale est le diencéphale (*Diencephalon*) ; l'autre, dans laquelle le diencéphale est en quelque sorte implanté, est le télencéphale (*Telencephalon*), lequel n'est autre que le cerveau. Celui-ci est divisé dorsalement en deux hémisphères (*Hemispheria cerebri*) par une très profonde fissure longitudinale et médiane [3,4,11,64].

On notera enfin qu'en raison de sa disposition tubulaire initiale, le système nerveux central est creusé sur toute sa longueur d'une cavité dont l'ampleur varie avec le niveau considéré. Chacun des segments précités possède donc une partie de celle-ci, qui présente sa disposition propre [3].

II. 1. 1. 1. Le télencéphale (cerveau= cerebrum)

Le télencéphale en se développant donne deux hémisphères cérébraux creusés par les ventricules latéraux. Une fissure transversale sépare (tentorium cérébelleux) le cerveau du cervelet alors qu'une fissure longitudinale divise les deux hémisphères qui restent reliés en profondeur par des organes inter hémisphériques [7,17,67]. Le cerveau est la superstructure la plus développée et la plus large. Il inclut les lobes des hémisphères cérébraux, les noyaux basaux subcorticaux, bulbes olfactif (nerf crânial I), pédoncules cérébraux, et l'hippocampe. Il est connectée, et couvre le tronc cérébral rostral. Dans la face ventrale, les bulbes olfactifs se localisent à la limite rostrale de chaque hémisphère. Les récepteurs olfactifs localisés au niveau de la cavité nasale transmettent les impulsions le long du nerf olfactif pour faire des synapses au niveau des bulbes olfactifs, le tractus olfactif est visible à la face ventrale du cerveau, entre les bulbes olfactifs et le lobe piriforme. Ces structures olfactifs appelés

rhinencéphale et marqué par le sillon rhinal latéral, participent dans le processus olfactif[4,6,17,61,67].

Le rhinencéphale est la partie ventrale des hémisphères en contact avec le nerf olfactif. Outre son activité olfactive, il comprend une aire, qui borde le diencephale, dédiée au comportement : c'est le système limbique. Cette portion du cerveau s'occupe de la vie affective et émotionnelle de l'animal. Cela correspond à l'instinct de fuite, de défense, de nutrition, de reproduction, et de protection du petit. Une partie de ce système limbique, appelée hippocampe à cause de son aspect, est le siège de la mémoire récente. Une lésion de cette zone donne des troubles de l'apprentissage [7].

Le cortex cérébral est la substance grise du *pallium* ou manteau cérébral. On se base sur les considérations phylogénétiques et l'évolution. Le pallium peut être divisé en : *Paléopallium* est le système olfactif composé par les bulbe olfactifs, pédoncules, et le cortex du lobe piriforme. Dans l'évolution animale ce sont les portions les plus primitives du cerveau. *Archipallium* formé par l'hippocampe qui est un gyrus interne, une zone du cortex cérébral à l'intérieur des ventricules latéraux et qui n'est pas visible à la surface du cerveau. *Néopallium* est l'évolution la plus récente du développement de l'encéphale qui est la surface de tous les gyri du cerveau. Les études de l'évolution comparative montre le développement continu du neopallium chez les animaux supérieurs, laissant l'archipallium et le paléopallium à une portion anatomique réduite. Les fonctions primaires du paléopallium et archipallium semble généralement être l'intégration des signaux olfactifs et les fonctions limbiques tandis que le neopallium est engagé dans le traitement des hauts ordres. Le cortex qui est la formation la plus évoluée et la plus complexe, constitue un revêtement de substance grise divisé en six Couches [5,7,64]. Il est caractérisée par des rides (*gyri*) et des sillons (*sulci*) [6,62,67]. Trois grands types d'aires se dessinent : motrices, sensibles et associatives. Les aires motrices et sensibles sont en relation avec la moelle ou le tronc. Les aires associatives, en relation avec d'autres zones du cortex, sont responsables de l'intelligence (85% du néocortex chez l'homme contre 20% chez le chien) [7]. Le cortex est divisé en lobes nommés topographiquement selon l'os correspondant, les lobes cérébraux sont ; le lobe frontal, pariétal, temporal, occipital. Différentes fonctions neurales sont associées à ces lobes:

- ✓ Le lobe frontal associé aux activités motrices.
- ✓ Le lobe pariétal correspond aux aires associatives.
- ✓ Le lobe temporal associé aux fonctions auditives.
- ✓ Le lobe occipital associé aux fonctions visuelles [4,6,63].

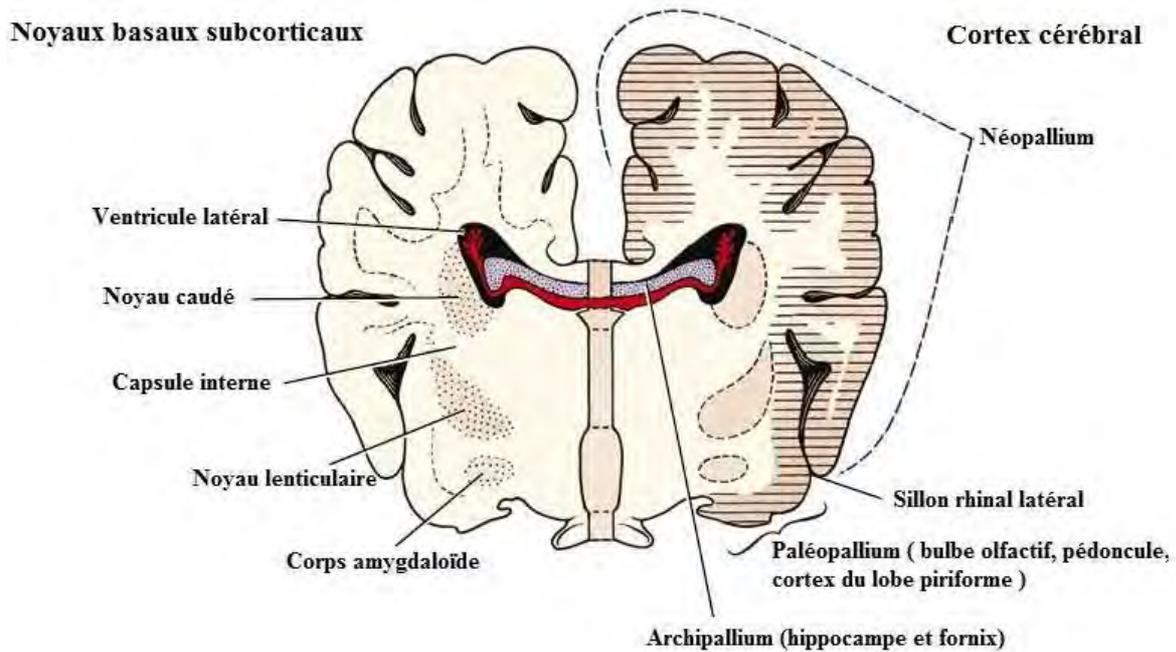


Fig. 9 Développement du télencéphale [5].

Le cortex est essentiel dans la vision, le plaisir, l'allure, la coordination, la symétrie, le statut mental, l'attention ou le contrôle de l'agressivité. Les signes d'atteinte corticale sont variés. Ils peuvent être assez spécifiques, comme la marche en grands cercles lors d'atteinte supra tentorielle qui s'oppose aux petits cercles d'un syndrome vestibulaire, ou peu spécifiques, comme lors de convulsions qui peuvent naître dans n'importe quelle zone du cortex.[7]

Les noyaux de la base représentent la portion de substance grise du cerveau située en profondeur ventralement et latéralement aux ventricules latéraux. Le noyau caudé, le putamen, le claustrum ou le corps strié sont impliqués dans de nombreux relais sous-corticaux [7,63,64]. Le noyau strié, par exemple, est impliqué dans la posture et la réalisation de mouvements. Il permet de réaliser un geste dans une direction donnée avec une amplitude précise au lieu d'avoir une décharge motrice désordonnée [7]. La substance blanche développée dans cette zone est décrite comme *capsule interne* [63,64].

II . 1 . 1. 2. Le tronc cérébral (*The brainstem*)

Le tronc cérébral est subdivisé du rostral vers le caudal en : diencéphale qui inclut (thalamus, épithalamus, subthalamus et l'hypothalamus), mésencéphale, pont, et la moelle allongée [13,18].

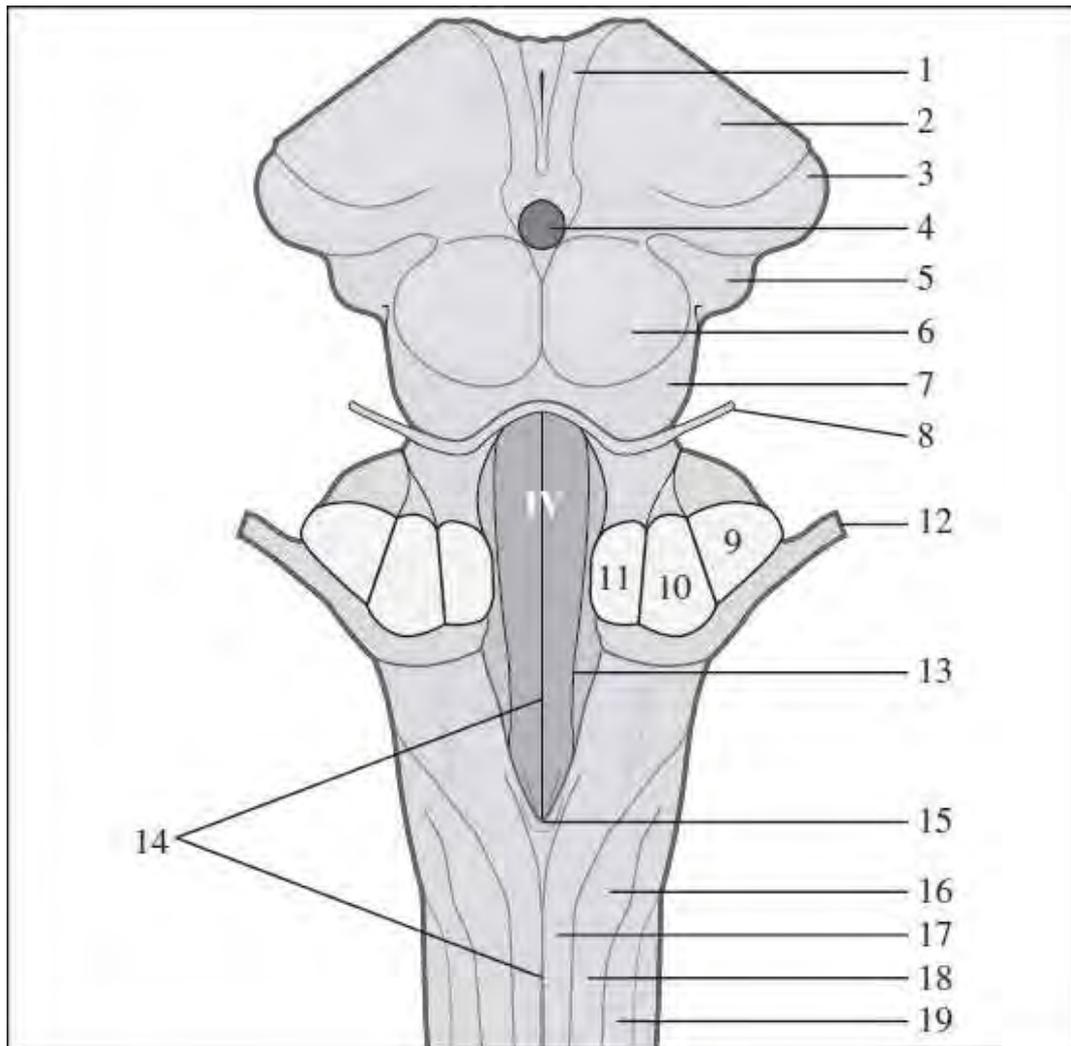


Fig. 10 Vue dorsale du tronc cérébral.

(1) Stria habenularis thalami; (2) Thalamus; (3) corps géniculé latéral; (4) corps Pinéal ; (5) corps géniculé Médial ; (6) collicule rostral; (7) collicule caudal; (8) nerf trochléaire; (9) pédoncule cérébelleux moyen; (10) pédoncule cérébelleux caudal; (11) pédoncule cérébelleux rostral; (12) nerf vestibulo-cochléaire; (13) Sulcus limitans; (14) sillon médian; (15) Obex; (16) tubercule cunéiforme; (17) Faisceau gracile; (18) Faisceau cunéiforme; (19) tractus Spinal du nerf trijumeau. [6]

II . 1 . 1. 2. 1. Diencéphale (*intermediate brain*)

C'est la partie la plus développée et la plus rostrale du tronc cérébral [6,61]. Il sert comme le centre de relais major pour les fibres afférentes (sensitives) qui se projettent dans le cortex cérébral [4]. Formé par le thalamencéphale, hypothalamus et subthalamus. Le thalamencéphale inclut le thalamus, métathalamus et épithalamus. Ces divisions sont visibles de la face ventrale, dorsale et latérale [6,17,63,67]. Les composants du diencéphale sont répartis de façon symétrique de part et d'autre du troisième ventricule [5]. Trois zones, le plancher ou hypothalamus, le coté latéral ou thalamus et le petit plafond l'épithalamus, enferment le troisième ventricule du diencéphale. [67]

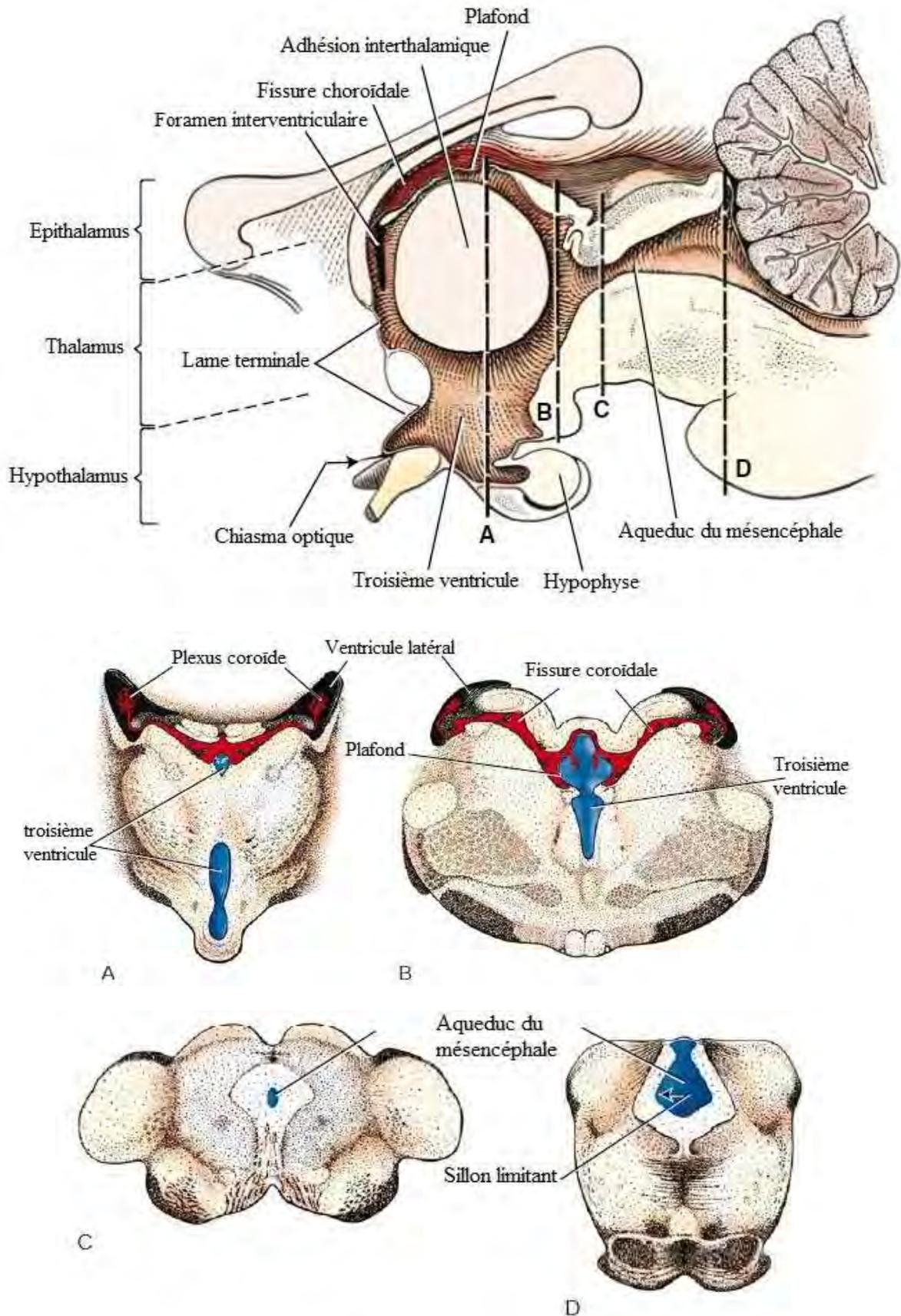


Fig. 11 Relation entre le diencephale et le mésencéphale. **A**, section transversale en mi-diencephale. **B**, section transversale dans le diencephale caudal. **C**, section transversale dans le mésencéphale rostral. **D**, section transversale dans le mésencéphale caudal. [5]

L'*hypothalamus* est composé par des noyaux spécifiques qui sont localisés latéralement et ventralement de la partie ventrale du troisième ventricule. Ils forment les parois ventrales et latérales de cette partie, ventralement de l'adhésion interthalamique. L'hypothalamus s'étend de la lamina terminalis et du chiasma optique rostralement vers le corps mamillaire caudalement. La face ventrale de l'hypothalamus entre ces zones est le tuber cinereum. L'extension ventrale du tuber cinereum est l'infundibulum. Distalement l'infundibulum s'étend pour former la neurohypophyse, le lobe neural de l'hypophyse. L'hypothalamus peut être divisé transversalement du rostral vers le caudal en trois régions :

1) région rostrale – groupe chiasmatique - ; noyaux supraoptiques, noyaux supra-chiasmatiques, paraventriculaires, hypothalamiques rostraux, préoptiques, périventriculaire rostraux.

2) région intermédiaire ; noyau dorsomédial et ventromédial, infundibulaire.

3) région caudale –groupe mamillaire- ; noyau prémamillaire, aéra hypothalamique dorsal et dorsocaudal, noyau hypothalamique latéral et périfornical, noyau périventriculaire caudal, noyau mamillaire. L'hypothalamus sert comme un centre supérieur pour la régulation de l'activité motrice viscérale. Ces noyaux agissent comme neurones moteur ascendant pour l'activité viscérale et en plus ils sont considérés d'être les neurones moteurs ascendants (UMN) du système nerveux autonome. La stimulation de l'hypothalamus rostral élicite l'activité parasympathique tandis que la stimulation de l'hypothalamus caudal élicite l'activité sympathique. L'hypothalamus fonctionne sans contrôle volontaire. Le néocortex ne commande pas l'activité hypothalamique. On considère comme exemple les signes gastro-intestinales qui accompagnent la peur, la douleur, et les états émotionnels variées. En plus l'hypothalamus régule une grande partie du système endocrine du corps par l'intermédiaire de « *neurosecretory releasing factors* » qui influencent l'adénohypophyse. L'hypophyse est considérée d'être la master glande du corps et elle est régulée par l'hypothalamus [5,6]. L'hypothalamus est lié ventralement au thalamus. Il a des fonctions autonomiques et neuroendocrines, et il est connecté à la glande pituitaire par l'infundibulum entre le corps mamillaire et le chiasma optique [4,61,62]. Le *subthalamus* est situé entre le thalamus et la substance noire du mésencéphale, il est formé par le corps subthalamique et le zona incerta [5]. Le *thalamus* est formé par plusieurs noyaux, et constitue la majeure partie du diencephale localisé dorsalement de la partie ventrale du troisième ventricule, et médialement de la capsule interne. Le thalamus est relié à l'hypothalamus ventralement et à la capsule interne latéralement[17,63]. Leptoméninges (pie-mère et arachnoïde) et liquide cébrospinal couvrent sa majeure surface dorsale. Formés par plusieurs noyaux séparés partiellement par la

lamina médullaire et arrangés bilatéralement et de façon symétrique de part et d'autre du troisième ventricule. La lamina médullaire interne divise chaque côté du thalamus en moitiés latérale et médiale et se développe rostralement pour former la portion rostrale qui inclut les noyaux thalamiques rostraux, un plan dorsal au niveau de la moitié latérale sépare le thalamus en deux couches de noyaux, dorsales et ventrales, et deux plans transverses à travers la couche ventrale montrent précisément ces noyaux du rostral vers le caudal. La fine lamina médullaire externe forme les bandes externes de la moitié latérale du thalamus et elle est séparée de la capsule interne par une zone nucléaire étroite, les noyaux thalamiques réticulaires. Ces divisions résultent des groupes de noyaux suivants avec les listes de leurs noyaux spécifiques:

1. Groupe thalamique rostral : noyaux thalamiques rostraux (système limbique).

2. Groupe thalamique médial : noyaux médiaux dorsaux

3. Groupe thalamique latéral :

Couche dorsale :

Noyaux latéraux dorsaux

Noyaux latéraux caudaux

Couche ventrale:

Noyaux ventraux rostraux (extrapyramidal)

Noyaux ventraux latéraux (cerebellum)

Groupe ventral caudal:

Noyaux ventraux caudaux médiaux (nerfs craniaux)

Noyaux ventraux caudaux latéraux (nerfs spinaux)

4. Groupe thalamique caudal (métalthalamus)

Noyaux géniculés médiaux (audition, vestibulaire)

Noyaux géniculés latéraux (vision)

5. Groupe thalamique intralaminaire médian :

Noyaux centraux médiaux

Noyaux paraventriculaires

6. Noyaux thalamiques réticulaires (système réticulaire activateur ascendant).

Le *métalthalamus* est composé par le noyau géniculé latéral et médial. L'*épithalamus* inclut le noyau de l'habenula et ses connections, et la glande pinéale. [5,63]

A) Face ventrale : formée par l'hypothalamus, le corps mamillaire caudalement et le chiasma optique rostralement. La glande pituitaire est attachée au tuber cinereum. Le corps mamillaire montre une petite proéminence, c'est la structure la plus caudalement localisée de la face ventrale du diencephale. Le corps mamillaire est une réelle station interconnectante, olfactive, qui influence le comportement, et contient les aires autonomiques du cerveau. Les fibres du

nerf optique entrent dans la partie rostrale du diencephale et forment ainsi le chiasma optique [6,61,62,63].

B) Face dorsale : la face dorsale du diencephale est visible uniquement après que le cerveau ait été enlevé, le corps géniculé latéral droit et gauche à projections dorso-caudales sur la marge caudale du thalamus. Le corps géniculé latéral est une station relais qui envoie des informations visuelles vers le cerveau. Un peu ventralement de chaque corps géniculé latéral, le corps géniculé médial de chaque côté du diencephale. Le corps géniculé médial est une station relais qui envoie des informations auditives vers le cerveau. Le métalthalamus, un des cinq divisions du diencephale est formé par les deux corps géniculés [6,63].

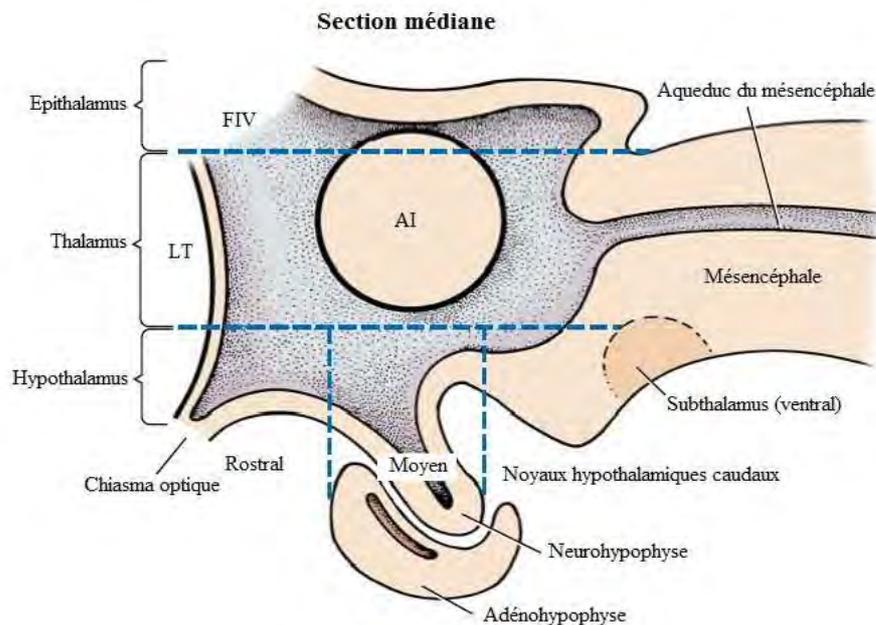


Fig. 12 Divisions du diencephale.

AI, Adhésion interthalamique; FIV, foramen interventriculaire; LT, lamina terminalis [5].

II . 1 . 1. 2. 2. Le mésencéphale (midbrain)

La troisième division de l'encéphale est le mésencéphale. La prolifération symétrique des parois du tube neural dans le mésencéphale a réduit la lumière du canal neural en un tube étroit, l'aqueduc du mésencéphale. Celui-ci est plus étroit rostralement où il joint le troisième ventricule du diencephale, et plus large caudalement où il communique avec le quatrième ventricule [5]. Le mésencéphale contient les neurones pour le nerf oculomoteur (CN III) et le nerf trochléaire (CN IV) qui innervent les muscles extra oculaires [4,5,6].

A) Face ventrale : les pédoncules cérébraux sont des bandes de fibres, visibles sur la face ventrale de l'encéphale. Ces bandes relativement larges sont formées par les fibres du système pyramidal moteur, qui passent à travers le mésencéphale pour atteindre la portion caudale du tronc cérébral. La fosse interpédonculaire est l'espace localisé entre le pédoncule cérébral

droit et gauche. Le nerf oculomoteur (CN III) immerge de la face ventrale du mésencéphale [6,17,67].

B) Face dorsale : la face dorsale du mésencéphale est caractérisée par deux paires de proéminences rondes, les collicules rostraux et caudaux (communément nommés les tubercules quadrijumeaux) qui forment le *tectum* du mésencéphale (le toit) [4,5,17,61,62,67]. Chaque collicule rostral sert comme un site synaptique pour les voies des réflexes visuels. Les collicules caudaux servent comme un site synaptique pour les voies des réflexes auditifs. L'aqueduc du mésencéphale est la partie du système ventriculaire localisée au niveau du mésencéphale. Il interconnecte le troisième et le quatrième ventricules. Le nerf trochléaire (CN IV) immerge de la face dorsale du mésencéphale, et tourne ventralement pour atteindre la face ventrale du tronc cérébral, et va quitter la cavité crânienne au travers de l'orbite. Le nerf trochléaire est le seul nerf crânien qui a pour origine apparente la face dorsale du tronc cérébral [4,5,6,67].

II . 1 . 1. 2. 3. Le métencéphale (*pons and cerebellum*)

La division suivante de l'encéphale après le mésencéphale est le métencéphale.

A) La face ventrale : Pont (pons) est formé par les fibres transverses du pont. Cette large bande de fibres transmet les informations pyramidales motrices vers le cervelet. Quand les fibres transverses du pont passent latéralement vers la face dorsale du métencéphale, ils forment le pédoncule cérébelleux moyen qu'on peut voir en tirant le cervelet. Les fibres longitudinales du pont, une autre bande de fibres du système pyramidal moteur, localisées profondément par rapport au fibres transverses, et on ne peut pas les voir de la face ventrale [6,63]. Le pont contient les neurones du nerf trijumeau (CN V) le plus grand des nerfs crâniens qui innervent les muscles de la mastication [4,5,67], il quitte la face ventrale du métencéphale au niveau de la couche rostrale des fibres transverses du pont [6]. Il offre aussi une innervation sensorielle de la face (régions maxillaires et ophtalmiques), et de la mandibule. Le pont est la région où se localise le centre de miction. Le système réticulaire activateur ascendant (SRAA) se localise dans le pont et il est responsable de la conscience. Le pont contient les voies motrices venant du cerveau et qui font synapses dans le cervelet [4].

B) La face dorsale : cervelet (cerebellum) est la superstructure vue de la face dorsale du métencéphale. Coordonne l'activité motrice et régule les tonus musculaires, les mouvements sont planifiés et initiés par les centres moteurs supérieurs (système pyramidal et extrapyramidal), et sont contrôlés et correctement prescrits par le cervelet avant d'être

exécutés [4,61,62,66]. Il dérive de la portion dorsale du métencéphale. La fissure cérébrale transverse le sépare du cerveau, le *tentorium* membraneux et osseux se localise dans cette fissure. Le cervelet est formé les hémisphères cérébelleux latéralement et une portion médiane le *vermis* [63,66,67]. Trois paires de pédoncules cérébelleux connectent le cervelet au tronc cérébral. Du latéral vers le médial il y a respectivement le pédoncule cérébelleux moyen, caudal et rostral. Ces pédoncules sont nommés en se basant sur leurs connexions avec le tronc cérébral, et non pas selon leur position par rapport aux autres. En effet le pédoncule cérébelleux moyen est le plus latéral des trois, et il a été décrit précédemment comme fibres qui représentent la continuation des fibres transverses du pont, transmettant les informations vers le cervelet. Le pédoncule cérébelleux caudal est ainsi nommé, parce qu'il est formé par de multiples tractus variés qui passent à travers la portion caudale du tronc cérébral pour atteindre le cervelet. Le pédoncule cérébelleux rostral est le plus médial des pédoncules cérébelleux. Formés pendant la phase primaire par des fibres d'origine cérébelleuse qui migrent rostralement vers le tronc cérébral. La portion rostrale du quatrième ventricule recouvre le métencéphale. Le plafond du quatrième ventricule à cet endroit est formé par une fine couche de cellules épendymaires et piales, cellules des méninges identifiées par le *velum médullaire rostral* [6].

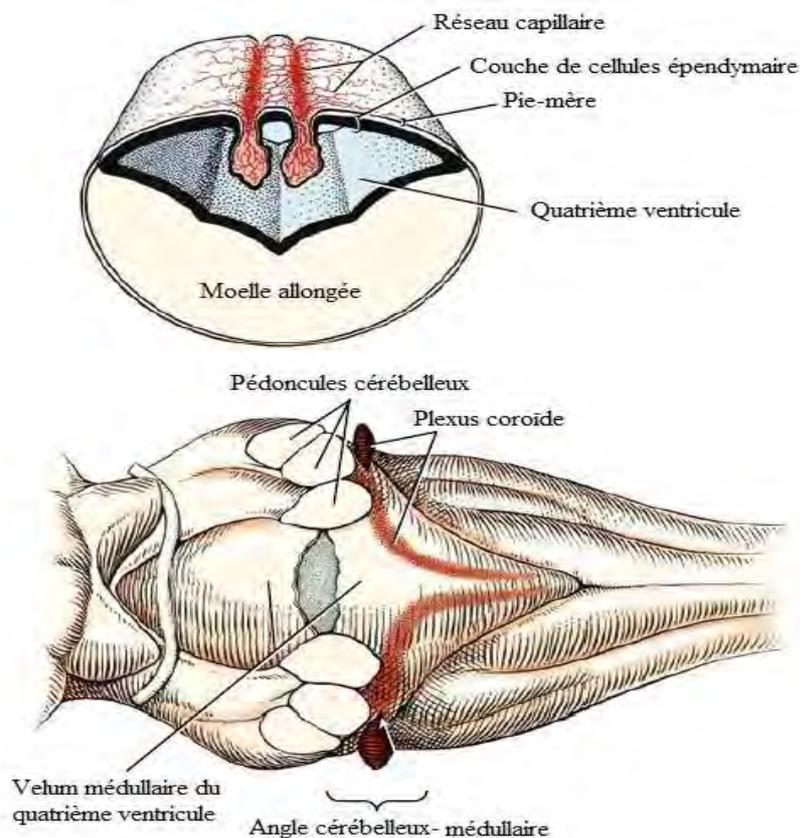


Fig. 13 Développement du velum et du plexus choroïde du quatrième ventricule [5].

II . 1 . 1. 2. 4. Le myélocéphale (*moelle allongée = medulla oblongata*)

C'est la portion la plus caudale du tronc cérébral, continue caudalement par la moelle épinière (*spinal cord*) [5,6]. Elle contient les composants centraux du système vestibulaire. Les centres majeurs des fonctions respiratoires et vaso-motrices (cardiaque) se localisent au niveau de la moelle allongée [4]. Chez les animaux domestiques, les nerfs crâniens VI jusque XII, ainsi que le corps trapézoïde font partie de la moelle allongée. La limite rostrale de la moelle allongée est le sillon pontique caudal, la limite caudale est la jonction du tronc cérébral avec la moelle épinière. La fissure médiane ventrale divise sa face ventrale en deux moitiés droite et gauche. Immédiatement juste à côté de la fissure médiane ventrale et de chaque côté il y'a une bande de fibres identifiées, les *pyramides*. Elles sont séparées par la fissure médiane ventrale qui se continue caudalement à une courte distance avant qu'elle ne soit oblitérée par la décussation des pyramides. Les pyramides sont des fibres motrices associées au système pyramidal moteur et représentent les fibres descendantes qui migrent à travers le tronc cérébral. Cranialement le corps trapézoïde de forme rectangulaire formé par des fibres associées au système auditif. Les nerfs crâniens de VI à XII quittent le tronc cérébral au niveau de la face ventrale de la moelle allongée [5,6,63].

II . 1 . 2. Moelle épinière (*medulla spinalis*)

La moelle épinière, logée dans le canal vertébral qu'elle n'occupe pas entièrement. Elle est entourée par les méninges et présente deux renflements un cervical et l'autre lombaire, elle donne implantation aux nerfs spinaux de chaque coté par une double rangée de racines dorsales et ventrales, et se termine par le cône médullaire avec les filets terminaux en queue de cheval [3,61,62,63]. C'est la portion du système nerveux central qui fait contact avec le corps. La moelle épinière se continue avec la terminaison caudale du tronc cérébral. Elle reçoit les informations des milieux externe et interne du corps et exécute les ordres aux organes du corps (organes internes et parties externes du corps). La moelle épinière contient en outre le réseau neural qui intègre les informations sensorielles qui viennent de différentes régions du corps, et organise les commandes spécifiques données aux régions du corps. Par exemple si on touche l'animal dans une région du corps, cela va provoquer selon les circonstances un mouvement de l'animal soit vers la droite soit vers la gauche. Pour la régulation des fonctions du corps, la moelle épinière supplée les informations concernant les milieux interne et externe du corps à l'encéphale, puis ce dernier à son tour va donner l'ordre, c'est la manière dont l'encéphale contrôle le corps. L'intégration des informations de

différentes régions du corps et la communication avec l'encéphale sont accomplies par de longs axones qui s'étendent longitudinalement dans la moelle épinière [12,66].

La moelle épinière est divisée en deux moitiés, droite et gauche, par le sillon médian dorsal et la fissure médiane ventrale. Elle est composée par la substance blanche et la substance grise, avec la substance blanche superficielle et la substance grise en profondeur. Des larges bandes figurent sur la moelle épinière, identifiées comme *cordons spinaux* ; chaque cordon à son tour est formé par de petites bandes qui contiennent les tractus ascendants et descendants de la moelle. Les racines des nerfs spinaux entrent et quittent la moelle en la divisant en segments. Les racines dorsales droites et gauches des nerfs spinaux entrent dans la moelle au niveau du sillon dorsolatéral. Les cordons dorsaux, droit et gauche, sont les plus grosses bandes de la substance blanche localisées entre les racines dorsales. Chaque cordon dorsal est aussi divisé par un sillon intermédiaire. Le faisceau Gracile est localisé entre le sillon intermédiaire et le sillon médian dorsal, Il porte les informations reliées à la proprioception consciente des membres pelviens. Le faisceau Cunéiforme est localisé entre le sillon intermédiaire et les racines dorsales, cette bande de fibres du cordon dorsal porte les informations reliées à la proprioception consciente des membres thoraciques. Les fibres localisées dans la marge la plus latérale du faisceau Cunéiforme (FC) sont maintenant les fibres du tractus Cuneo-cérébelleux (CCT) qui transmettent les informations inconscientes des membres thoraciques. Les fibres du cordon dorsal sont à prédominance de la proprioception consciente. Avec un petit composant de la proprioception inconsciente. Les cordons latéraux sont des larges bandes de la substance blanche localisées entre les racines dorsales et ventrales de chaque moitié de la moelle épinière. Chaque cordon latéral est formé par des tractus mixtes ascendants et descendants. Les cordons ventraux, localisés entre les racines ventrales, sont aussi formés par des tractus mixtes ascendants et descendants [3,6].

Les nerfs spinaux quittent par paires de chaque côté de la colonne vertébrale, droit et gauche entre chaque deux vertèbres successives, qui sont les os impairs de la colonne vertébrale. La région où les nerfs rachidiens prennent naissance est connue sous le nom de « *segment spinal* » ; chaque segment spinal est nommé selon la vertèbre qui lui correspond. le segment spinal L2 est ainsi nommé parce que le nerf (nerf spinal L2) sort au niveau de la 2^{ème} vertèbre lombaire, également le segment spinal T6 est ainsi nommé parce que le nerf (nerf spinal T6) sort au niveau de la sixième vertèbre thoracique. Chez la plupart des vertébrés la moelle épinière s'étend tout le long du canal vertébral. Chez certains vertébrés elle se termine plus rostralement [3,12,65]. Les segments de la moelle épinière sont nommés selon la vertèbre correspondante. Ses segments sont groupés en régions nommées selon la région du corps où

passer la colonne vertébrale (cervical, thoracique, lombaire, sacral, coccygien). Le nombre des vertèbres et leurs segments spinaux correspondants varient selon la classe des vertébrés ; par exemple apparemment tous les mammifères, malgré la différence de longueur de la nuque, ont sept (7) vertèbres cervicales et huit (8) segments spinaux [56].

La substance blanche de la moelle épinière est disposée autour de la substance grise en une sorte de manteau qui la couvre complètement. De chaque côté, elle est divisée par la présence des cornes en trois masses qui forment les cordons, l'un dorsal et les deux autres un latéral et un ventral [3]. Elle est formée par les voies ascendantes et descendantes qui transmettent les informations sensorielles et motrices à travers le système nerveux. De façon générale les voies ascendantes prennent origine dans la moelle épinière et vont gagner les centres supérieurs dans l'encéphale. Analogiquement les voies descendantes qui régulent les activités motrices prennent origine dans les centres supérieurs de l'encéphale et descendent à travers le système nerveux central pour atteindre les niveaux de la moelle épinière [6,65].

Dans chaque côté de la moelle épinière la substance grise apparaît sur les coupes transversales sous forme d'un croissant dont la concavité est latérale. Chacun de ces croissants est relié à celui du côté opposé par un étroit pont de substance grise situé vers son milieu et qui constitue la commissure grise. L'ensemble a la forme d'un large « H » majuscule [3].

On distingue ainsi de chaque côté, une corne dorsale (*cornu dorsale*) et une corne ventrale (*cornu ventrale*) l'apex de chacun d'elles et la substance grise adjacente en constituent la tête et l'extrémité opposée est la base. Les bases des deux cornes d'un même côté sont unies par un large pont de substance grise, la substance intermédiaire latérale (*substantia intermedia lateralis*). Cette dernière se continue médialement par la substance intermédiaire centrale, qui appartient à la commissure grise [3,65]. Les cornes dorsales sont composées de six couches cellulaires ou laminae :

- ✓ I: Nucléée marginale dorsale (réflexes inter-segmentaires) ;
- ✓ II-III: substance gelatinosa (douleur et température) ;
- ✓ IV: Nucleus proprius (interneurones);
- ✓ V: Noyau viscéral secondaire
- ✓ VI: Nucleus thoracicus (noyau spino-cérébelleux dorsal)

Les cornes ventrales contiennent les corps cellulaires des motoneurones périphériques alpha et gamma qui innervent respectivement les cellules musculaires ipsilatérales non-fusiformes et fusiformes [56].

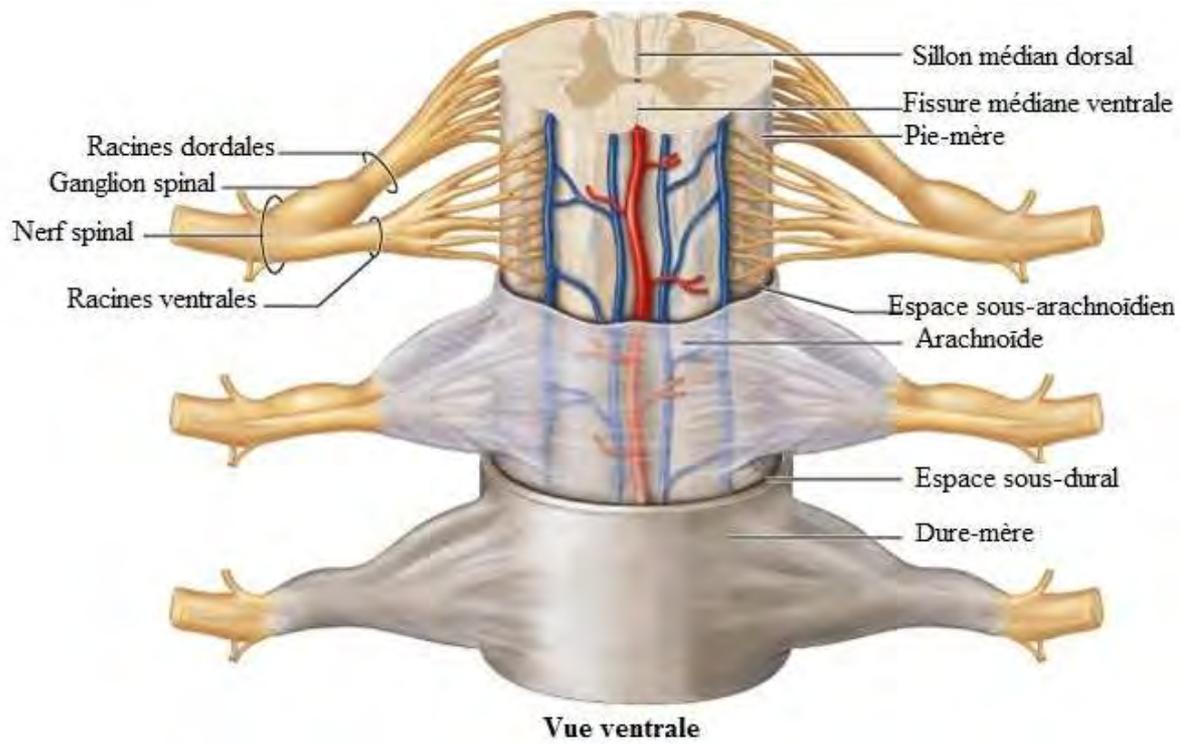


Fig. 14 Moelle épinière et méninges [55].

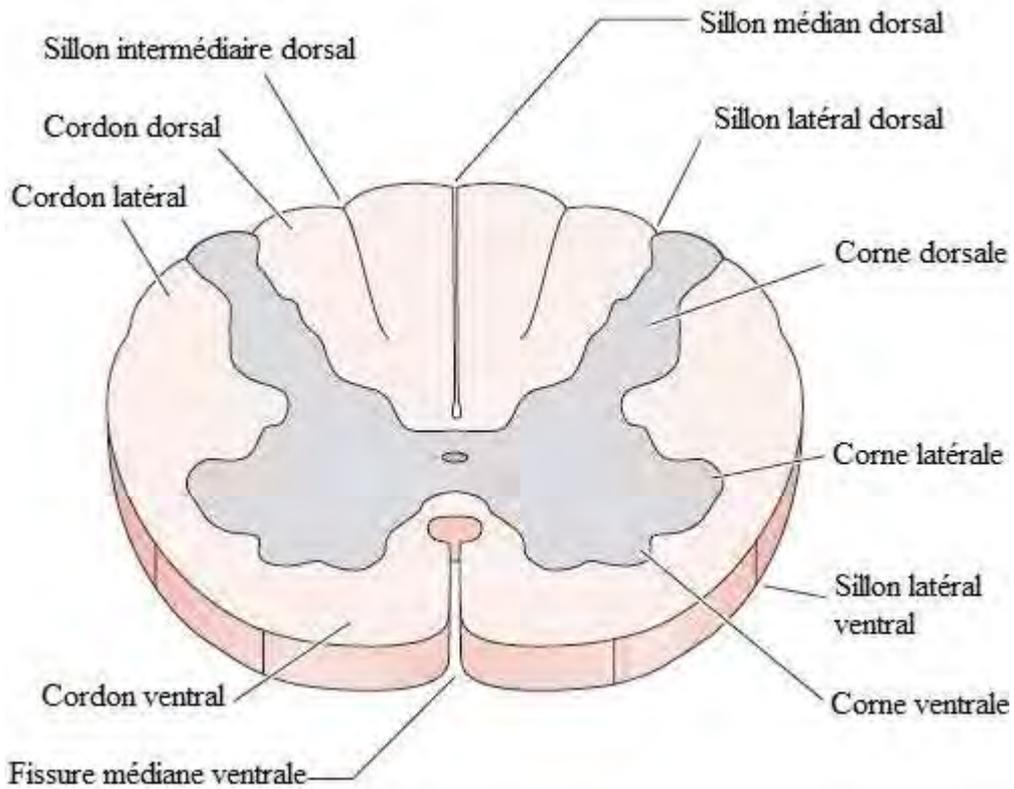


Fig. 15 Section transversale au niveau de la moelle épinière [72].

II . 1 . 3. Système limbique

A) Composants

Le système limbique est constitué par une portion du télencéphale, diencéphale et une portion du mésencéphale. Il forme le substrat du comportement [4]. Il constitue une interface étendue entre les parts somatiques et viscéraux du système nerveux. Il joue un rôle axial dans l'expression des émotions et comportement, comme la fuite, l'alimentation et la reproduction et il est concerné par les fonctions de mémoire [10,64]. Les composants télencéphaliques du système limbique forment deux « anneaux corticaux » ou bien deux « arcs » concentriques au bords de la jonction entre le diencéphale et le télencéphale. L'anneau interne se compose du corps amygdaloïde, hippocampe et son fornix. L'anneau externe se compose du gyrus cingulaire et son cingulum et la zone septale. Le corps amygdaloïde, un des noyaux de la base du télencéphale est un noyau complexe localisé dans le lobe piriforme profondément du cortex olfactif. L'hippocampe est le gyrus unique du cerveau qui, chez les mammifères inférieurs, se trouve à la surface du cerveau. Par contre chez les mammifères supérieurs il se trouve dans les ventricules latéraux et n'est pas visible à la surface externe du cerveau. L'hippocampe est incurvé comme un « C ». L'hippocampe s'étend incurvé, débute du corps amygdaloïde ventralement dans chaque lobe piriforme et progresse caudalement et dorsalement et après rostralement sur le diencéphale. Dorsalement au thalamus caudal, l'hippocampe de chaque hémisphère cérébral s'unit sur le plan médian et une commissure se forme à ce niveau « la commissure hippocampique ». Des axones cheminent de et vers l'hippocampe sur les cotés latéraux formant le *fimbria* et le *crus du fornix*. Les deux crus s'unissent rostralement à la commissure rostrale et se continuent rostralement comme « corps du fornix ». Le corps du fornix et la portion proximale de chaque colonne sont attachés au corps calleux dorsalement par le septum pellucidum. Le gyrus cingulaire formé par le cortex cérébral et son corona radiata, le cingulum se localise dorsalement au corps calleux et se continue caudalement par le gyrus parahippocampique et rostralement par la zone septale. Le cingulum est une association de longs tractus qui consistent en des axones longitudinaux dans la substance blanche (corona radiata) du gyrus cingulaire. La zone septale est formée par l'aéra subcallosa qui est le cortex cérébral ventralement au genou du corps calleux et les noyaux septaux. Diencéphale : contient le thalamus les noyaux habénulaires et les noyaux thalamiques rostraux. Ces noyaux ont des fonctions dans le système limbique. Le noyau de l'habenula est une partie de l'épithalamus, localisé dorsalement et adjacent au troisième ventricule et rostralement au corps pinéal. Les noyaux thalamiques rostraux reçoivent des afférences du corps mamillaire et de l'hypothalamus à travers le tractus mamillothalamique.

La projection des noyaux thalamiques rostraux prédomine vers le gyrus cingulaire et le neopallium adjacent. Les composants hypothalamiques du système limbique sont représentés par le corps mamillaire. Le noyau intercrural est le seul noyau du système limbique dans le mésencéphale, localisé ventralement et adjacent à la fosse interpédonculaire entre les deux pédoncules cérébraux au niveau de la face ventrale du mésencéphale [5,64,68].

B) Fonctions

Le système limbique reçoit et associe les impulsions (afférences) olfactives (*spécial viscéral afférent*), optique (*spécial somatique afférent*), auditif (*spécial somatique afférent*), extéroceptive (*général somatique afférent*), et intéroceptive (*général viscéral afférent*) du système sensoriel. Ses projections prédominent vers l'hypothalamus et le tronc cérébral caudal, influençant premièrement les neurones moteurs viscéraux. Le système limbique est largement impliqué dans les réactions émotionnelles et comportementales. L'émotion implique une réaction viscérale, qui est largement contrôlée par le système nerveux autonome. Ce système est principalement régulé par l'hypothalamus qui est le lieu de multiples connexions entre le système limbique et l'hypothalamus. Chez les humains le système limbique est considéré comme le centre supérieur qui a pour fonction de contrôler le psychique et les aspects moteurs des comportements. C'est la partie de l'encéphale évoquée dans les comportements basiques des humains, conduire, activité sexuelle, expériences émotionnelles, mémoire, peur, et plaisir [5,64].

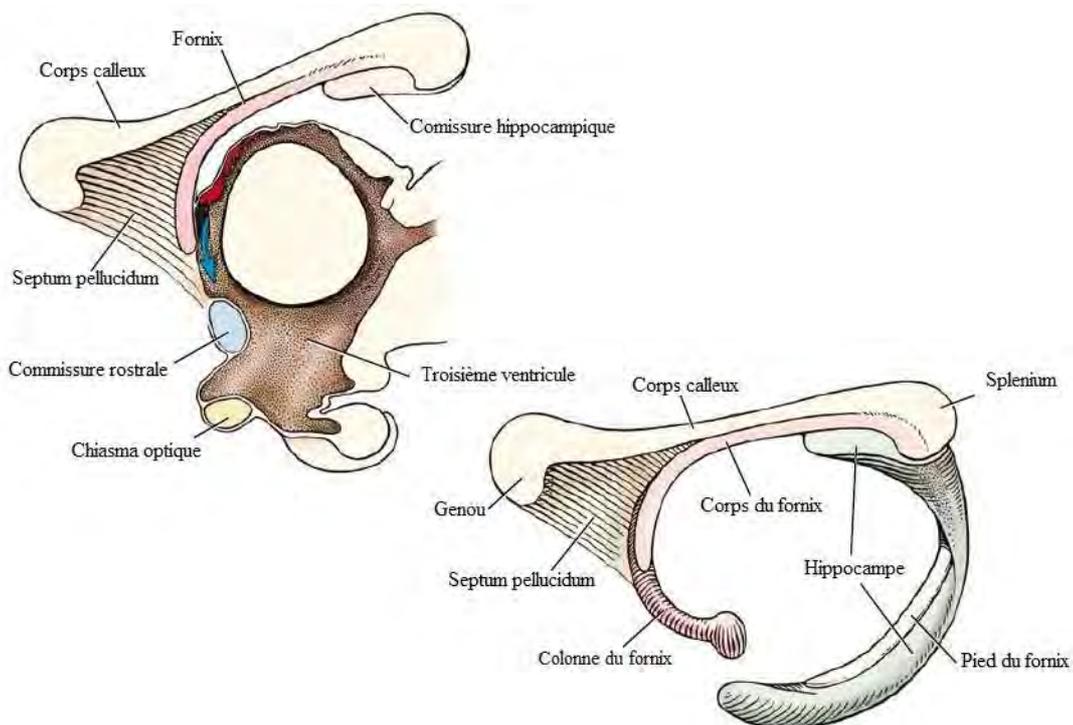


Fig. 16 Parties du système limbique [5].

II . 2 . Système nerveux végétatif (autonome)

Le système nerveux périphérique contient les axones des nerfs crâniens et spinaux ainsi que leurs récepteurs et organes effecteurs. Il inclut les deux composantes générales et autonomes [4]. Le système nerveux autonome contrôle le fonctionnement de la vie végétative. Sa dénomination vient de l'absence du contrôle volontaire dans sa mise en œuvre, ce système n'est pas sous le contrôle conscient [54,56]. Il contient les fibres afférentes et efférentes qui innervent les muscles lisses, muscles cardiaques, et viscéraux. Il a des composants centraux et périphériques et ses fibres cheminent dans le système nerveux périphérique via les nerfs crâniens et spinaux [65]. Il a deux subdivisions majeures, le système nerveux sympathique a comme base anatomique (portion centrale) la portion thoracolombaire de la moelle épinière et le système nerveux parasympathique se localise dans le tronc cérébral et la moelle épinière sacrée. Les principaux neurotransmetteurs du système nerveux autonome sont l'acétylcholine et la norépinephrine [54,65,71]. Couramment ces deux parties du SNA ont des effets opposés l'un est excitateur et l'autre est inhibiteur mais cela n'est pas toujours vrai, parfois ils peuvent travailler indépendamment, certaines organes étaient innervés par l'un et non par l'autre, et parfois les deux systèmes travaillent ensemble [71].

Le système nerveux autonome diffère du système somatique moteur dans les organes à contrôler et le nombre des neurones dans leur circuit périphérique. Le système somatique moteur innerve les muscles squelettiques, qui sont les muscles responsables de tous les mouvements du corps. par contre le système nerveux autonome innerve les muscles lisses, muscles cardiaques et certaines glandes. Les muscles cardiaques sont les muscles du cœur, les muscles lisses sont les muscles des vaisseaux sanguins et du tractus gastro-intestinal, vessie et autres structures viscérales [54,56].

Le SNA diffère aussi par le nombre des neurones dans le système nerveux périphérique. Le système nerveux somatique a un seul neurone son, corps localisé dans le système nerveux central (SNC) et son axone s'étend de façon ininterrompue vers le muscle squelettique où se trouve la synapse chimique. Par contre le système nerveux autonome a deux nerfs périphériques. Le premier est nommé le neurone pré-ganglionnaire, son corps cellulaire se trouve dans le SNC mais sa terminaison innerve un deuxième neurone dans la chaîne. Ce dernier est nommé neurone post-ganglionnaire, son corps se trouve dans une structure périphérique nommée ganglion, collection de corps cellulaires et des neurones en dehors du SNC. Il y'a une synapse à médiateur chimique entre le neurone pré et post-ganglionnaire et entre le neurone post-ganglionnaire et l'organe cible. En outre le neurones

somatique moteur excite toujours son muscle squelettique cible tandis que le neurone autonome post-ganglionnaire peut soit exciter soit inhiber sa cible [54,56].

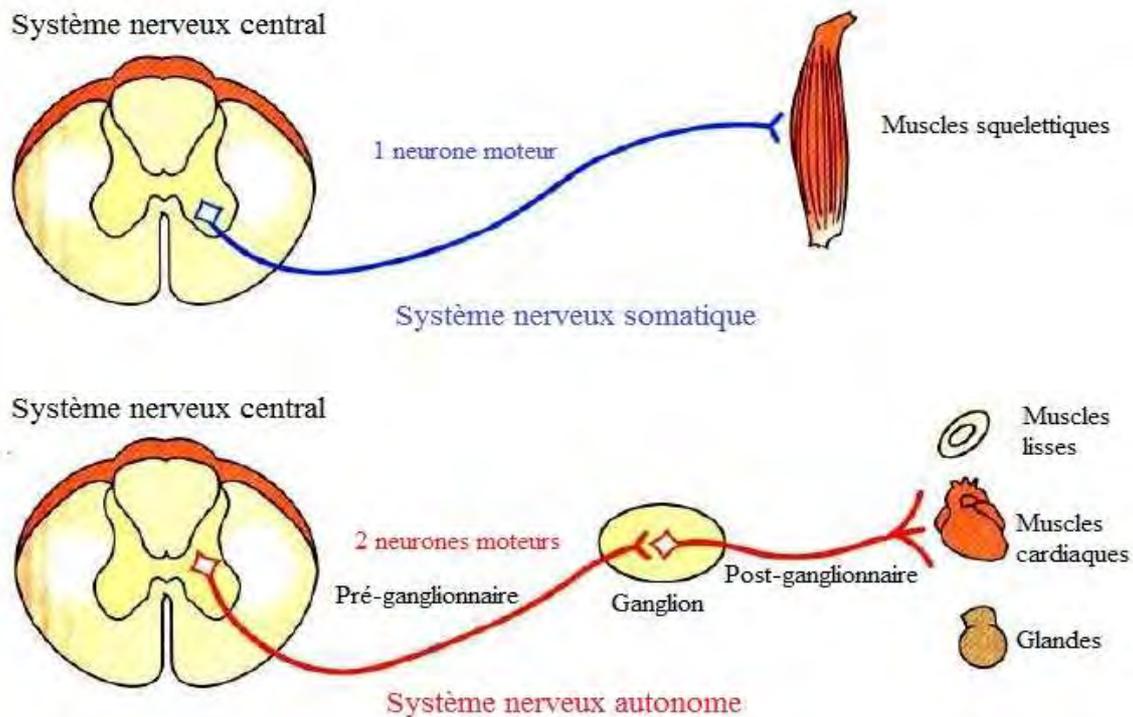


Fig.17 Comparaison entre le système nerveux somatique et le système nerveux autonome [54].

A) Le système nerveux parasympathique : contrairement à l'activité sympathique le système nerveux parasympathique prédomine lorsque l'animal est en relaxation. Il a généralement un long neurone pré-ganglionnaire et un court neurone post-ganglionnaire. Les neurones pré-ganglionnaires du système nerveux parasympathique quittent le SNC par les nerfs crâniens III, VII, IX et X qui se distribuent respectivement à l'iris, aux glandes lacrymales, au larynx, et pour le nerf vague à l'œsophage, au larynx, et aux viscères thoraciques et abdominaux, et à travers quelques nerfs spinaux sacraux, pour cette raison il est nommé le système cœno-sacral. Le long nerf pré-ganglionnaire passe au ganglion parasympathique dans ou près de l'organe cible où il fait synapse avec le court neurone post-ganglionnaire [4,54,56,64,65,71].

B) Le système nerveux sympathique : cette partie du SNA prépare le corps pour l'activité. Il est souvent référé à ce système de préparer le corps pour le combat ou la fuite . Il a généralement un court neurone pré-ganglionnaire et un long neurone post-ganglionnaire. L'axone pré-ganglionnaire quitte la moelle épinière par les racines ventrales de la première thoracique jusqu'au troisième ou quatrième nerf spinal lombaire. Pour cette raison il est nommé le système thoracolombaire. Le neurone pré-ganglionnaire passe à travers les racines

ventrales puis les branches communicantes (rameaux) pour entrer dans la chaîne ganglionnaire sympathique paravertébrale (aussi nommée le tronc sympathique) où il fait synapse avec le neurone post-ganglionnaire. Cette chaîne (tronc sympathique) s'étend de la région cervicale à la région sacrée. Le neurone post-ganglionnaire s'étend vers l'un des organes viscéraux cibles ou rentre dans le nerf spinal pour s'étendre vers une structure plus distale comme les vaisseaux sanguins, glande sudoripare, muscle érecteur du poils du corps [4,54,56,64,65,71]. La stimulation de la chaîne sympathique provoque :

- ✓ Vasoconstriction dans la peau.
- ✓ Augmentation du débit sanguin vers les muscles squelettiques et l'encéphale.
- ✓ Dégradation des lipides à partir de réserves adipeuses.
- ✓ Dilatation de la pupille.
- ✓ Accélération du rythme cardiaque et l'amplitude de sa contraction.
- ✓ Bronchodilatation [71].

La médulla surrénale est une variation spéciale sur ce thème anatomique. Quelques axones pré-ganglionnaires sympathiques s'étendent tout le long vers la médulla surrénale où ils font synapse avec les neurones post-ganglionnaires rudimentaires qui mettent en activité les cellules de la médulla surrénale. Les neurones post-ganglionnaires vestigiaux secrètent leur substance transmettrice directement dans la circulation sanguine. Cette substance « adrénaline » est un transmetteur agissant comme une vraie hormone transportée par le sang vers tous les tissus du corps [54].

| Résumé des caractéristiques anatomiques clés de chaque système | | | |
|--|------------------------|--|---|
| Composant | Origine centrale (SNC) | Localisation du ganglion | Neurotransmetteur libéré |
| Parasympathique | Cranio-sacral | Terminal Proche de l'organe | Ganglion acétylcholine Terminaison acétylcholine |
| Sympathique | Thoraco-lombaire | Distant de l'organe pré/para Para-vertébrale proche de la colonne vertébrale | Ganglion acétylcholine Terminaison noradrénaline |

Tableau.1 Les principales différences entre le système sympathique et parasympathique [65].

III . PERCEPTION ET CAPACITES SENSORIELLES

III. 1. Chez le cheval

Puisque les chevaux utilisent leurs sens pour interagir avec leur environnement, dans cette partie on va parler de ces sens. Les chevaux ont des caractères comportementaux uniques et fascinants, qui ont contribué à leur développement, leur permettant de survivre jusqu'à nos jours et de devenir un animal de compagnie [23]. ils sont décrits parmi les animaux les plus perceptifs [28]. Le lapin court, le caméléon change de couleur, les autres animaux ont des cornes ou des griffes pour combattre les prédateurs. Le comportement mobbing est usuellement utilisé chez les oiseaux pour protéger les petits dans les colonies sociales. Mais les techniques pour survivre varient entre les animaux, et certains d'entre eux ont des sens très développés (odorat, ouïe, vision) pour détecter les dangers et s'échapper [19].

Au contraire des autres espèces de grands animaux qui occupent un statut de proie dans l'échelle alimentaire, les chevaux ne possèdent pas des cornes ou des griffes pour se protéger, mais ils ont une aptitude exceptionnelle pour voir et focaliser les plus minimes mouvements des prédateurs. Les chevaux ont survécu en utilisant un mécanisme de défense standard contre les prédateurs dans les terres ouvertes et les prairies. Ils scannent et contrôlent fréquemment leur entourage pour éviter les attaques en localisant l'endroit des prédateurs avant qu'ils n'atteignent une distance critique. Quand la plupart des chevaux ont été domestiqués, ils n'ont plus besoin de ces mécanismes pour survivre, mais dans les situations de risque qui nécessitent une telle performance [19,28].

III . 1. 1 . La vision

Derrière ces yeux intelligents fixés sur vous dans les pâturages, se tient une structure unique et complexe. L'œil du cheval est destiné à lui donner chaque avantage possible pour rester intact et s'échapper des prédateurs [20]. Il a les yeux les plus larges parmi ceux des mammifères terrestres [28].

La position latérale des yeux est beaucoup plus sur les côtés que du front de la tête, combinées avec l'allongement horizontal généralement rectangulaire de la pupille, cela offre au cheval une aptitude d'avoir un champ de vision très large, comme une caméra à lentille à angle large. Par conséquent le cheval est capable de voir à 350° autour de lui. Ce champ de vision très extensif rend très difficile aux prédateurs ou aux manipulateurs humains de se

rapprocher du cheval sans qu'il les voie. Mais ce champ de vision très large a deux tâches aveugles, où le cheval ne peut pas les viser [19,27,28,29,74].



Fig. 18 L'œil de cheval [20].

La position de l'œil de cheval dans le squelette permet donc une vision proche de 360° , approximativement 146° de vision monoculaire de chaque côté, contre environ 65° à 80° de vision binoculaire. Le cheval a deux zones aveugles dans son champ visuel, une directement derrière sa queue, et l'autre directement au front de sa tête [20,24,27,28]. Ainsi lorsque le cheval saute un obstacle, ce dernier va disparaître rapidement du champ de vision juste après que le cheval prend la position du saut. il est donc nécessaire de lui laisser une certaine liberté d'encolure à l'abord pour lui permettre de voir l'obstacle à franchir et de prendre son appel de façon correcte [19,24,28,29]. La rétine du cheval apparaît comme désignée pour détecter les mouvements (des prédateurs par exemple) dans des conditions de faible luminosité. En plus une structure à l'intérieur de l'œil appelée « *Granulae Iridica* » semble servir comme un " pare-naturel " en pleine lumière, la présence de cette structure contribue probablement à améliorer la perception profonde (en relief) limitée chez le cheval [20,27]. Les globes oculaires larges et la structure de la pupille permettent à l'œil de cheval de capturer le maximum de la lumière dans les conditions de faible luminosité. La pupille de forme rectangulaire et de position horizontale à l'intérieur de l'œil optimise les aptitudes de l'animal à scanner les horizons [20,23,27,29].

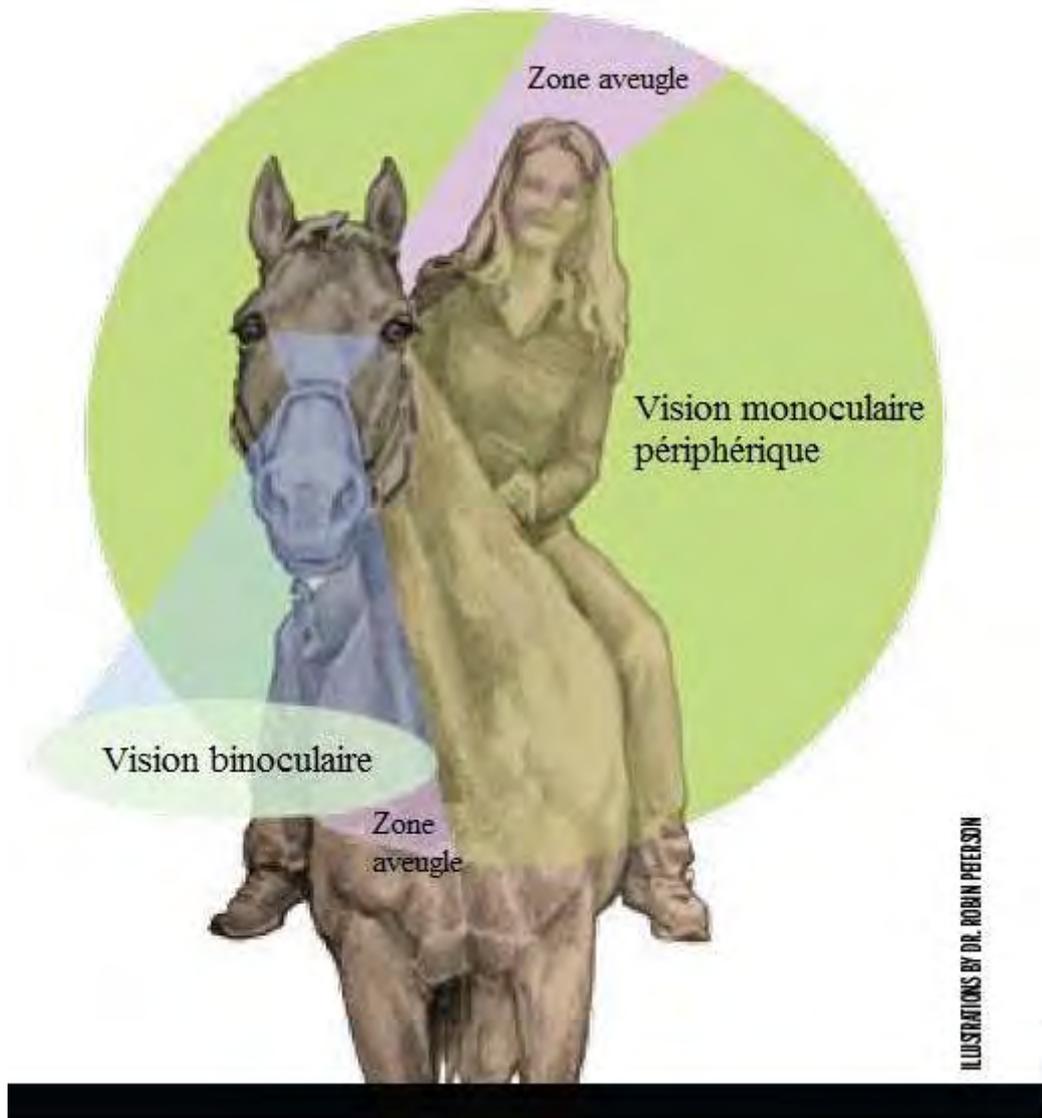


Fig.19 La vision monoculaire et binoculaire chez le cheval [20].

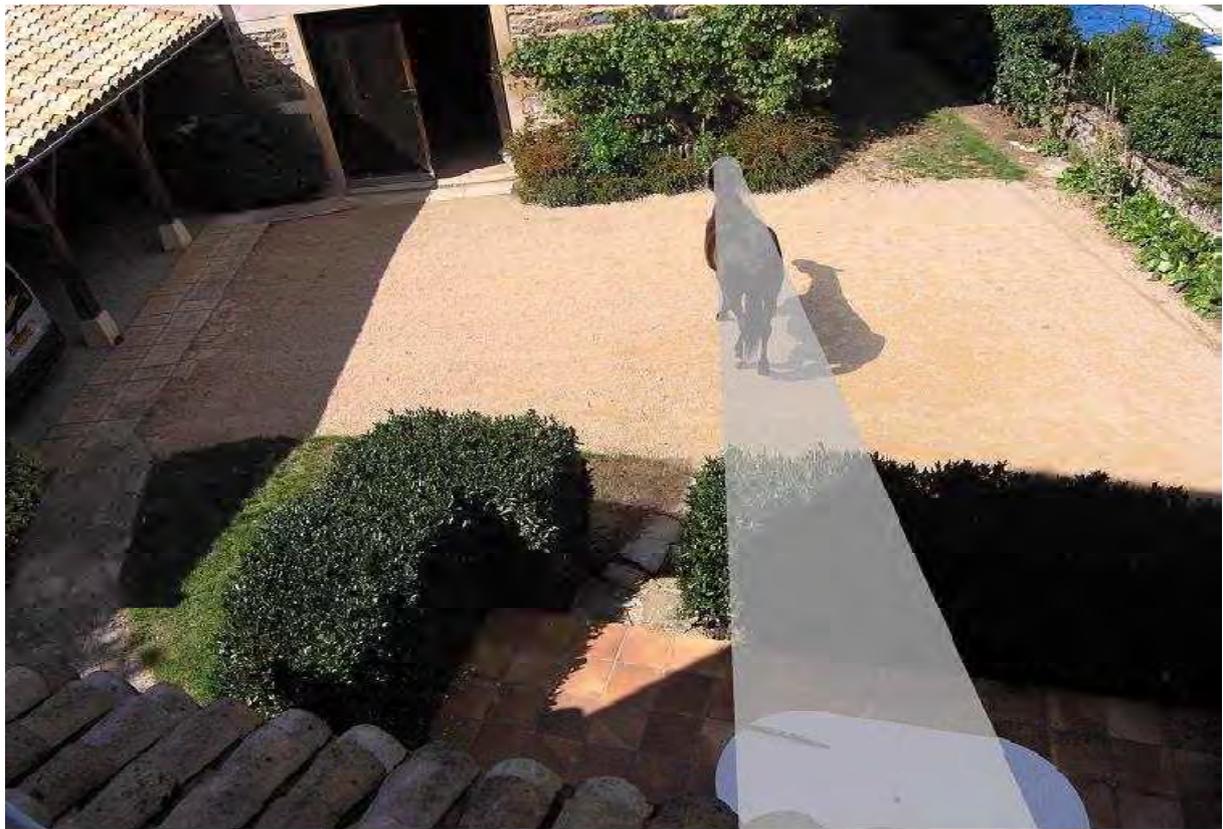
A) Perception des couleurs

Des études sur la perception des couleurs ont montré que les chevaux ont une vision dichromatique avec réduction de la densité des cônes, ce qui signifie qu'ils voient des couleurs délavées, y compris vert, jaune, bleu et gris. Il ne semble pas que les chevaux peuvent distinguer le rouge des autres teintes [20,22,24,26,27,28]. De nos jours, c'est l'homme qui, en fonction de ses perceptions, détermine l'environnement du cheval : son box, les écuries, les obstacles que l'on va lui demander de franchir..., la comparaison entre le spectre de couleurs perçu par un trichromate comme l'homme, et par un dichromate comme le cheval, est donc intéressante. Les humains voient quatre couleurs basiques (rouge, vert, bleu et jaune) et sont capables de distinguer une multitude de nuances dans une même couleur [24,26,27,28].

B) La perception profonde (en relief)

Les espèces prédatrices, comme les chiens et les coyotes, ont les yeux placés vers l'avant de leur tête. Cela limite leur champ de vision, mais augmente leur vision binoculaire (en utilisant les deux yeux). La vision binoculaire permet aux prédateurs une meilleure perception profonde et un champ de vision plus concentré. Les espèces proies, comme les chevaux, les moutons et les bovins, ont un champ visuel beaucoup plus large. Avec seulement un léger mouvement de tête, les chevaux peuvent analyser l'ensemble de leur environnement. S'il y a une menace, la réponse comportementale est généralement la fuite [23,28]. Des études récentes ont montré que les chevaux ont une vision binoculaire approximative au 65° en front de leurs têtes qui offre une perception profonde comparable à celle du chat et du pigeon [28].

En contrepartie d'un champ de vision monoculaire large est que le cheval a une perception profonde qui est un peu plus limitée que les humains. Il perçoit plus le mouvement que le relief. Le placement des yeux du cheval réduit la gamme possible de la vision binoculaire (en utilisant les deux yeux en même temps). Les Chevaux utilisent leur vision binoculaire en fixant le regard sur un objet, soulevant la tête quand il regarde un prédateur éloigné ou en se concentrant sur un obstacle à sauter. Pour utiliser la vision binoculaire sur un objet plus près du sol, comme un serpent ou une menace à ses pieds, le cheval va baisser son nez et regarder vers le bas avec le cou un peu voûté. Ainsi, un cheval va augmenter ou baisser la tête pour augmenter son champ de vision binoculaire. Les cavaliers permettent à leurs chevaux de lever leurs têtes à quelques enjambées avant un saut pour qu'ils puissent évaluer le saut et le bon endroit de décollage [19,28,73].



vision panoramique (angle 360°)



champ horizontal du cheval (limité par les traits bleus)



champ horizontal de l'homme (limité par les traits verts)

Fig. 20 Vision monoculaire et binoculaire chez le cheval. [59]

Les champs visuels des deux yeux se superposent partiellement en avant du cheval, formant un champ de vision binoculaire d'environ 70°. Dans ce champ, le cerveau reçoit deux images d'un même objet selon deux angles de vue légèrement différents, ce qui permet l'appréciation des reliefs et de la distance (vision tridimensionnelle). Le champ binoculaire orienté juste en avant du nez permet au cheval de bien voir ce qu'il va manger et ce vers quoi sont orientés ses naseaux [59].



Fig. 21 Champ de vision vertical du cheval [28,59].

Sur le plan vertical l'ouverture de chaque œil est de presque 178° ventralement. Le cheval ne voit pas au-dessus de lui lorsque sa tête est en position normale. Cet angle mort se déplace en avant si son chanfrein se trouve en position verticale. [27,28,59]

C) Sensibilité à la lumière

Les chevaux, comme les humains, doivent s'adapter à des différentes intensités lumineuses variant de la plus sombre nuit à la lumière du soleil sur la neige. Un mécanisme d'ajustement à cette large gamme est de basculer entre les deux types de photorécepteurs: les bâtonnets et les cônes situés dans la rétine de l'œil, dont chacun a été optimisé pour les meilleures performances à différents spectres d'intensité. Les bâtonnets sont les récepteurs utilisés lorsque les niveaux de lumière vont de l'obscurité presque complète à ceux trouvés à l'aube et au crépuscule. Les chevaux sont bien dotés d'une forte proportion des photorécepteurs bâtonnets sur cône, soit environ 20 millions de bâtonnets sur 1 million de cônes, ce qui les rend sensibles à la lumière et leur donne une très bonne vision nocturne. En outre, une couche de tissu dans l'œil de nombreux animaux, appelé le « tapetum lucidum » semble avoir une fonction pour réfléchir la lumière dans la rétine, ce qui améliore la vision dans des conditions de faible luminosité, comme la nuit [19,22,76].

D) Anatomie de l'œil du cheval

L'œil équin est similaire à l'œil de la plupart des espèces mammifères. Essentiellement une pièce de tissu cérébral « la rétine » a été mise en de hors de l'encéphale et placé à l'intérieur d'une structure dure, protectrice, connue comme « globe oculaire ». Le globe est construit de telle manière qu'une vision optiquement claire et focalisable est prévue,

de sorte que les rayons lumineux provenant du milieu externe passent à l'intérieur du globe et atteignent la rétine sensible à la lumière. À son tour, la rétine transmet son information perçue par le nerf optique à l'unité de traitement final, le cerveau, où les perceptions visuelles sont converties en images. Le globe oculaire est protégé par les paupières, formées de deux plis de peau et muscles. La peau a de nombreux vaisseaux sanguins afin que les abrasions et les lacérations puissent être correctement traitées, guérissent bien et résistent à l'infection. Les muscles des paupières sont très forts et peuvent donc être ouvertes ou fermées à volonté. Par conséquent, l'examen de l'œil équin nécessite souvent de la sédation et un blocage des nerfs. Comme la plupart des autres espèces de mammifères, le cheval a une troisième paupière, qui est un cartilage recouvert d'une membrane muqueuse transparente « la conjonctive » [3,11,16,19,27,63,67].

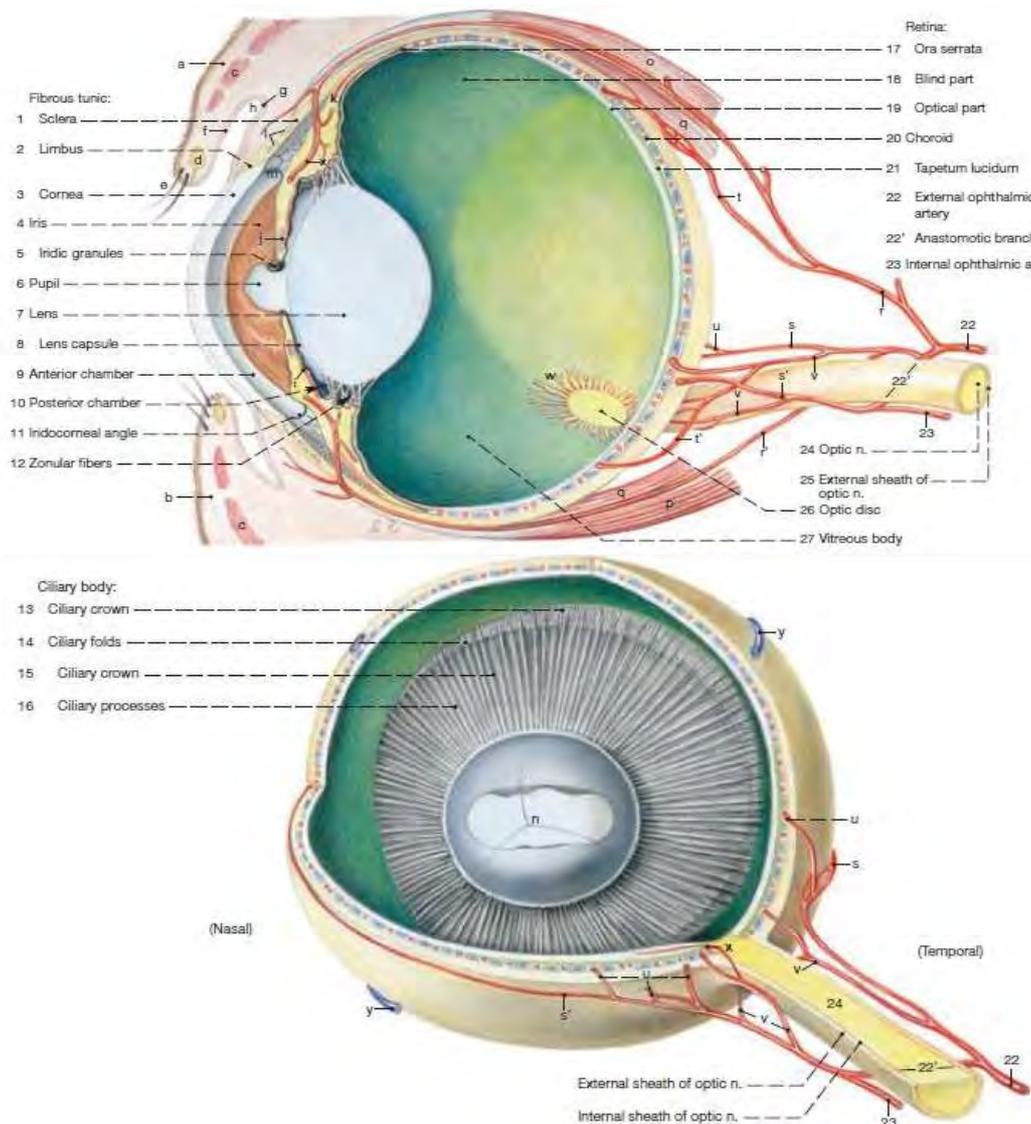


Fig. 22 Anatomie de l'œil [61]

Comme le montre l'illustration ci-dessus, la cornée est une partie de la tunique fibreuse externe de l'œil, qui sert à protéger le contenu intraoculaire. La cornée est transparente et est impliquée dans la transmission et la réfraction de la lumière dans l'œil. Bien qu'elle soit composée de cellules vivantes, la cornée a peu ou pas de vaisseaux sanguins. La cornée de surface reçoit son alimentation de larmes, tandis que la partie arrière est alimentée par un liquide clair appelé l'humeur aqueuse, qui est normalement présent dans la chambre antérieure de l'œil [3,11,16,19,63,67].

La sclère, comme la cornée, est constitué essentiellement de fibres de collagène. Elle fait partie de la tunique fibreuse externe de l'œil et a des fonctions de protection des constituants internes de l'œil. Le corps ciliaire et l'iris, parties de la tunique intermédiaire vasculaire de l'œil, effectuent un certain nombre de fonctions. L'iris contient des muscles qui contrôlent la taille de la pupille, qui à son tour contrôle la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil. Le corps ciliaire produit l'humeur aqueuse limpide qui nourrit la chambre antérieure de l'œil [3,11,16,19,63,67]. Il contient également les muscles qui permettent de focaliser les objets proches et lointains. Cette fonction chez les chevaux est relativement peu développée. [19]

La lentille se trouve directement derrière l'iris, sa fonction est de réfracter la lumière, afin de produire une image focalisée sur la rétine. Comme la cornée, elle n'a pas l'approvisionnement en sang, mais se nourrit de l'humeur aqueuse. La choroïde est une partie de la tunique intermédiaire vasculaire de l'œil et permet de fournir la nutrition de la rétine. Dans la partie la plus interne de la choroïde se trouve le tapetum lucidum, une couche de tissu qui est conçu de fonctionner pour améliorer la vision nocturne en renvoyant la lumière dans la rétine. La rétine est constituée de tissu nerveux et sa fonction est de transformer la lumière en une impulsion nerveuse. Les axones qui proviennent de la rétine sont des longues fibres de cellules nerveuses (neurones) qui agissent un peu comme des câbles à fibres optiques transportant un message sortant, se retrouvent au disque optique, où ils quittent l'œil comme nerf optique. Le nerf optique prend le message nerveux de la rétine au cerveau. [16,19]

III . 1 . 2 . L'ouïe (*hearing*)

Le sens de l'ouïe équine est très bien développé. Les oreilles du cheval en forme d'entonnoir peuvent se déplacer simultanément ou indépendamment l'une de l'autre [25,28,76]. Nous savons que les chevaux sont sensibles aux bruits aigus et la libération des

hormones liées au stress en réponse à des bruits forts et soudains tels que pétards ou des chiens qui aboient. Les chevaux deviennent nerveux et difficiles à gérer lorsque les hormones de stress sont élevées, donc il peut être utile pour éviter les bruits forts ou aigus lors de la manipulation ou le déplacement des chevaux [23]. Il semble que les chevaux sont bien équipés pour entendre les bruits faibles. Par exemple, ils répondent à des sons provenant d'un maximum de 4400 mètres. Les chevaux sont mieux que les humains pour distinguer les bruits de volume similaire. Ils peuvent également protéger leurs oreilles des bruits très forts en les posant à plat. [28]

Le cheval peut amplifier et identifier les sons avec ses oreilles. Les sons arrivent à chaque oreille à des moments légèrement différents, ce qui permet au cheval d'utiliser le son comme un moyen pour détecter d'où venait le bruit. Le cheval peut alors bouger ses oreilles, la tête ou son corps tout entier pour savoir plus sur la source du son. Cette compétence est probablement aussi importante que la vue et l'odorat pour garder le cheval, comme une espèce de proie, vivant [23,25,28]. Les chevaux communiquent vocalement, et aussi le sens de vocalisations individuelles peuvent être complexes et dépendant du contexte. La communication vocale peut servir à maintenir des contacts sur de longues distances, indiquer l'excitation, à dissuader de contacter dans les interactions sociales ou initier l'approche entre une jument et son poulain [22]. Il y a une certaine suggestion que les chevaux peuvent répondre (avec nervosité et vocalisation) aux sons de très basses fréquences, telles que les vibrations géographiques précédant des tremblements de terre. C'est vrai qu'ils ne sont pas capables d'«entendre» en tant que tel, mais peuvent détecter les vibrations à travers le sabot [28].



Fig. 23 Le cheval peut tourner ses oreilles indépendamment en avant et à côté pour localiser un son [23].

A) Anatomie et fonctions de l'oreille

L'audition chez le cheval est plus aigüe que celle d'un homme tant que ses oreilles ont une forme unique d'entonnoir transmettant les sons au cerveau [21,25,74]. Dans un article de Septembre 2005 « The Horse », l'auteur fait remarquer que les oreilles des chevaux sont des instruments finement réglés conçus pour convertir les ondes sonores de l'environnement en potentiels d'action dans le nerf auditif. Ce nerf, qui est situé à la base du crâne, envoie l'information au cerveau pour être traduit et interprété [21,25].

Le cheval utilise son pavillon pour recueillir les ondes sonores de l'environnement. Fait de cartilage, le pavillon peut tourner et capter les ondes sonores provenant de toutes les directions. Après avoir été piégé par le pavillon de l'oreille, les ondes sonores captées sont acheminées par le canal de l'oreille externe à l'oreille moyenne, où ils font vibrer le tympan, une membrane mince [16,21].

Ces vibrations sont transmises par la chaîne des osselets, une série de trois petits os appelé le marteau, l'enclume et l'étrier. Elles atteignent l'oreille interne, où elles provoquent des vibrations dans une structure en forme d'escargot appelé cochlée, cheminent le long de la cochlée et des cellules ciliées très sensibles qui agissent comme des capteurs. Lorsque ces cellules ciliées se plient, elles génèrent des signaux électriques qui stimulent le nerf auditif. Ce nerf transmet les impulsions au cerveau [16,21].

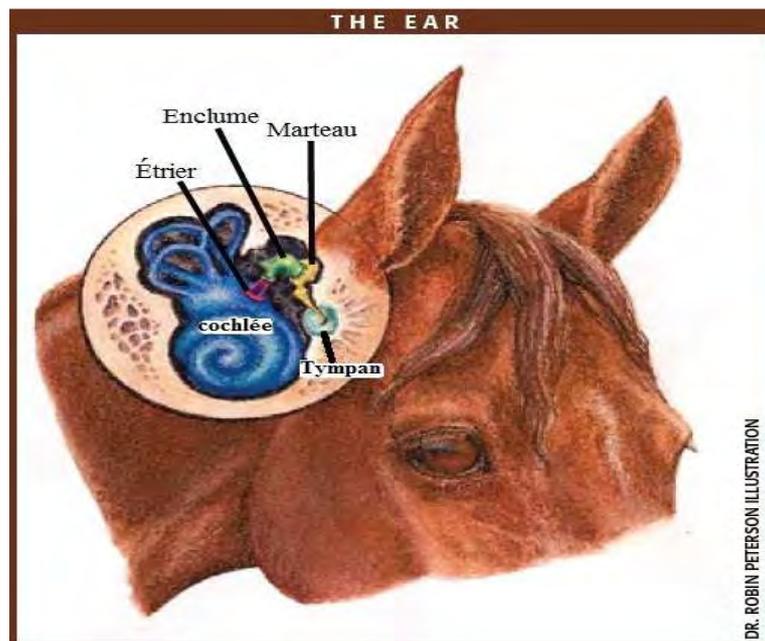


Fig. 24 Anatomie de l'oreille de cheval [21].

III . 1. 3 . L'olfaction(smell)

L'olfaction est un sens principal par lequel les animaux exploitent les terres pour obtenir des informations à distance. le système limbique de l'encéphale des mammifères qui règle les émotions et la motivation a été initialement acheminé principalement par les entrées olfactives. tandis-que les structures olfactives des primates et particulièrement de l'homme sont diminuées considérablement. L'encéphale du cheval a des bulbes olfactifs extrêmement larges avec la surface convolutive. Bien que la densité des récepteurs cellulaires olfactifs reste constante par unité de surface, l'extension de l'épithélium détermine la quantité totale des récepteurs. La surface étendue de l'épithélium olfactif chez le cheval impose que les odeurs volatiles doivent former une significativité plus importante de son umwelt (vie biologique propre à l'espèce) que les humains [25].

Chez le cheval l'olfaction est également très développée et joue un grand rôle dans sa vie. Les chevaux se familiarisent avec des objets étrangers en les flairent et les odeurs sont importantes pour la reconnaissance des membres du groupe. Nez-à-nez reniflant est une partie importante de rituels de salutations entre les chevaux. Les odeurs sont utilisées pour la communication dans le temps grâce à un comportement de marquage dans la cour, et dans l'établissement de la liaison jument poulain [22,28,74,76]. Les chevaux utilisent l'olfaction avec de multiples façons. Il peut différencier de nombreuses odeurs et déceler celle d'un congénère ou de son cavalier à grande distance, surtout quand une jument utilise l'odeur pour reconnaître son poulain dans un groupe. Une autre utilisation courante de l'odorat est pendant l'accouplement ou lorsque le cheval flaire une odeur inhabituelle. L'étalon vérifie constamment les juments pour détecter celles qui sont en chaleur (œstrus). Le classique tête relevée, les lèvres supérieure retroussées, en levant le nez et « goûte » l'air, comportement de l'étalon (taureaux et des béliers, aussi) est appelé la réponse *Flehmen*. Ce comportement, qui peut être observé occasionnellement chez les femelles, est dû à un organe spécial très sensible situé dans le palais au-dessus du toit de la bouche: l'organe de *Jacobson* (organe voméronasal). Les chevaux utilisent probablement leur sens d'olfaction pour trouver de l'eau et identifier les subtiles ou les différences majeures entre les pâturages et les aliments. Les odeurs déclenchent aussi des réactions comportementales. Il y a, par exemple, des chevaux qui n'aiment pas l'odeur du tabac ou ils pourraient réagir négativement à l'odeur de certains médicaments. Certaines personnes croient que les chevaux peuvent sentir quand une personne a peur- ce qui est probablement vrai, et cela est souvent référé aux capacités des chevaux à sentir l'odeur de la peur, Il est possible que le cheval puisse sentir quelques odeurs chez

l'homme craintif, mais il est tout aussi probable que le cheval puisse sentir la nervosité humaine via d'autres sens [23,25,73].

Les structures olfactives sont très grandes chez le cheval par rapport à l'homme et il est probable que la capacité de chimio-réception du cheval et le recours à l'information chimique pour l'identification soient plus semblables à celles d'un chien [22,28]. L'odorat est privilégié par le cheval, vient en suite le toucher. Si sa vue lui permet une surveillance panoramique et une grande réceptivité aux mouvements, il ne s'y réfère pas pour prendre des décisions et apprendre. Seule une vérification olfactive puis tactile guide son comportement [73].

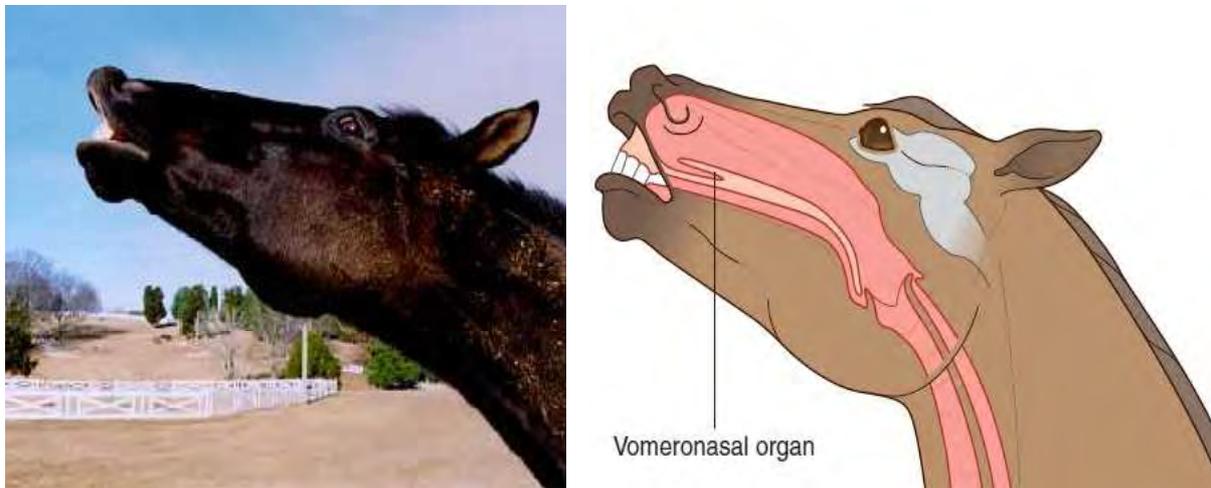


Fig. 25 Comportement de Flehmen ou réponse de Flehmen [28].

III . 1 . 4 . Le toucher (touch)

Le sens de toucher est certainement bien développé chez le cheval. C'est l'un des plus importants sens en termes d'interaction avec les humains [23]. Les chevaux sont très sensibles aux stimuli tactiles et réagissent aux pressions qui sont plus faibles à détecter par les humains [22,76]. Cette sensibilité est variable selon les différentes régions du corps, le garrot, bouche, flanc et ars sont des régions très sensibles. Certains chevaux n'aiment pas que leurs oreilles, yeux, chanfrein et les bulbes du talon soient touchés. Comme animaux domestiques, il est important d'être sensible à la présence d'autre animaux à leurs côtés. Cela peut les aider d'aller dans des groupes sociaux cohésifs au moment du danger et d'initier les contacts mutuels [28]. La plupart des chevaux réagissent à des fins filaments posés sur la peau du

garrot, qui sont très fins pour être détectés par les humains lorsqu' ils sont posés sur leurs mains [22]. La peau joue donc un rôle très important dans la sensibilité tactile [21, 22, 25].

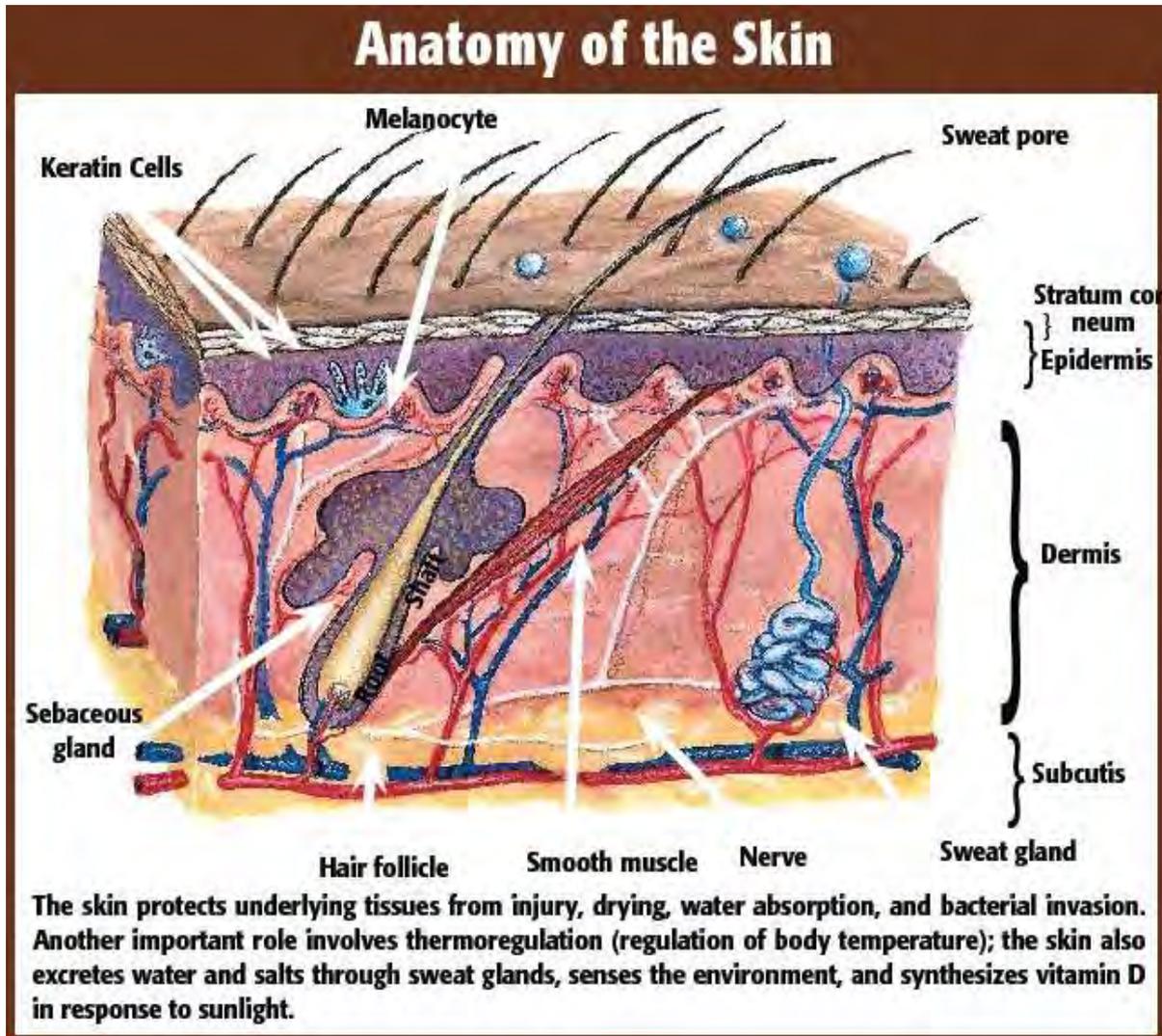


Fig.26 Anatomie de la peau. [21]

III . 2 . Chez le bovin

Les bovins se sont adaptés à des différents environnements correspondants à des différents systèmes de gestion qui peuvent être considérés comme des niches écologiques dans lesquelles différents types d'animaux ont évolué (par exemple race laitière ou à viande) [15,30]. L'animal domestique est caractérisé par sa grande souplesse d'adaptation, mais ses capacités ont sans nul doute des limites. Le comportement d'un individu s'organise avec le milieu environnant grâce à des informations qui lui parviennent du milieu dans lequel il vit. Certaines de ces informations proviennent des autres animaux de la même espèce et le renseignent sur leur identité, leur humeur et leurs intentions ; lui-même émet des signaux.

Ainsi se crée la communication indispensable à toute vie sociale. Chez les bovins les signaux visuels sont importants comme véhicules d'informations dans les relations sociales, il s'agit sans doute d'une adaptation à la vie des steppes, milieux naturels de nombreuses espèces, et au statut de proie, alors que chez celles vivant en milieux forestiers la vue joue un rôle secondaire. Différents types de vocalisations ont été décrits grâce à l'étude des sonogrammes. Les vocalisations sont le plus souvent provoquées chez elles par une situation de frustration, d'excitation, ou l'appel d'un autre animal. Le nombre considérable des glandes odoriférantes chez les bovins suggère l'importance de l'olfaction dans leur vie sociale bien que leurs capacités olfactives n'aient fait l'objet que de rares études. Pourtant les bovins comme les caprins, les ovins et les porcins sont capables de faire la distinction entre deux individus en ne se basant que sur l'odorat. Il est cependant exceptionnel qu'un signal isolé soit seul en cause. Très souvent plusieurs organes des sens sont stimulés en même temps : par exemple une perception olfactive accompagne en général une perception visuelle. On constate une action cumulative des différents signaux. Un comportement adapté peut donc, dans la majorité des cas, s'organiser à partir d'un nombre restreint d'informations, Ou même en l'absence des informations d'un canal sensoriel [30].

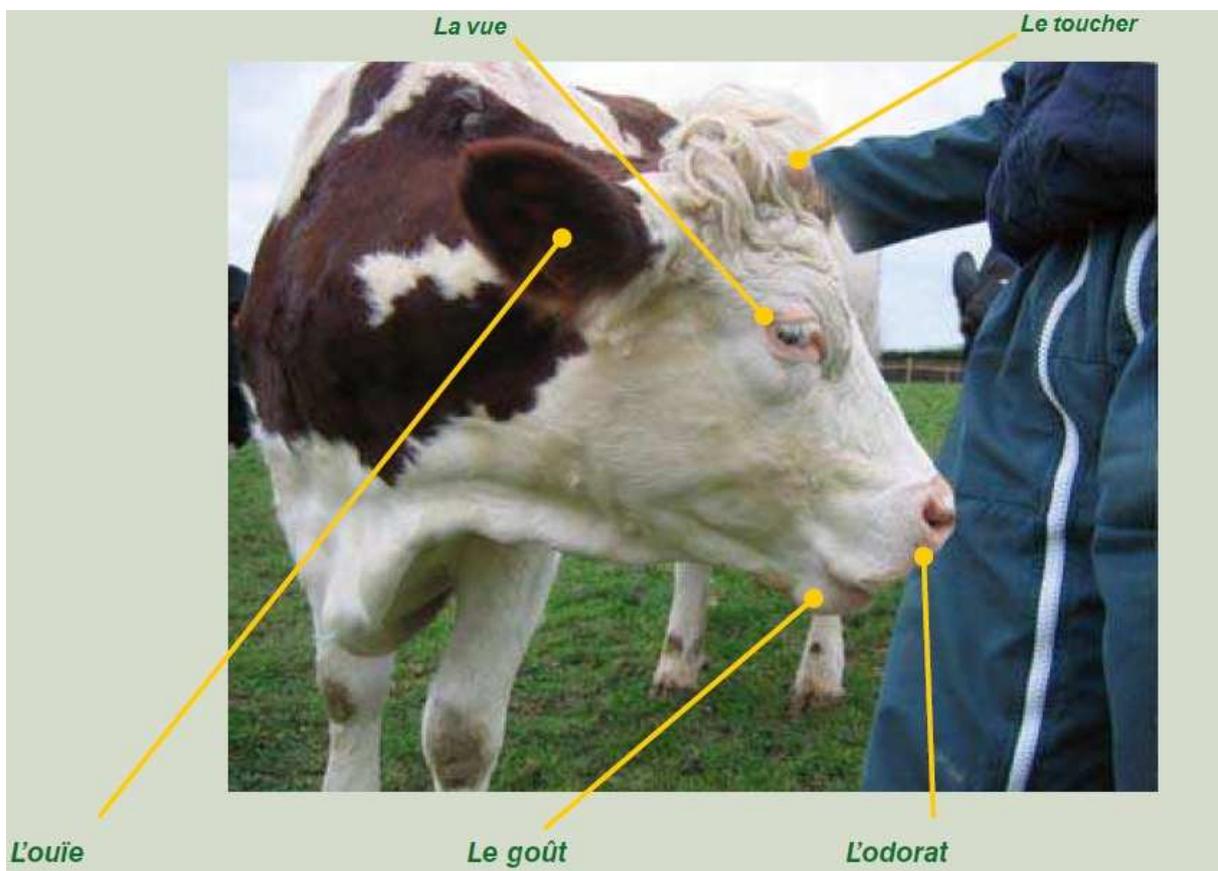


Fig. 27 Sens des bovins. [15]

III . 2. 1 . La vision

La vision est le sens prédominant chez la vache. Les yeux des bovins sont situés sur le côté de la tête. Cela leur permet de voir à travers une vision panoramique de 300°, avec une zone de non-visibilité de seulement 60° la zone aveugle en arrière. Sa taille dépend si la tête est vers le haut ou vers le bas [15,31, 33,75]. Elles n'ont cependant une vision en 3D que lorsqu'elles regardent directement devant elles, et c'est dans cette seule direction qu'elles peuvent bien estimer les distances [32]. Lorsque les bovins vivaient à l'état sauvage, cette faculté leur permettait d'anticiper la menace provenant des prédateurs [31]. Les bovins sauvages étaient la proie des loups, ils avaient besoin de voir dans un large arc pour localiser les prédateurs [33]. Les bovins ont aussi une très bonne acuité visuelle pour distinguer les formes, mais une capacité limitée à faire la mise au point. La vision binoculaire des vaches se limite à seulement 35 à 50° en face d'eux, où les deux yeux focalisent et perçoivent la profondeur, à distance et plus vite. Cette caractéristique des bovins limite leur perception en relief des objets sur une courte distance. Ainsi, les zones ombragées ou brillantes, les objets qui flottent au vent seront perçus comme des menaces. Cependant, ils ont une vision monoculaire sur le côté, qui permet seulement de voir le mouvement. Tout mouvement brusque dans cette zone peut effrayer l'animal. S'il est convaincu, il se tournera vers ce mouvement pour l'identifier et aller vers cet objet pour une enquête plus approfondie, en utilisant ses yeux, le nez et les oreilles. L'animal aura tendance à hésiter ou à s'immobiliser devant ces menaces, et ce qu'il voit va influencer son comportement compliquant la manipulation [15,31, 33,75].

A) Perception des couleurs et sensibilité à la lumière

La vision des couleurs est clairement démontrée par des expériences de conditionnement opérant [30]. De plus, les bovins perçoivent les changements de couleur et de texture [31,75]. Ils distinguent les couleurs et vont s'adapter à tout changement soudain de couleur. Elles reconnaissent les personnes par la couleur de leurs vêtements [32,75]. L'œil des bovins est sensible à la forte lumière et aux couleurs lumineuses et claires [15]. On recommande donc d'utiliser une lumière uniforme et diffuse dans les lieux de manipulation et d'éliminer les objets qui pourraient effrayer les animaux. Les bovins, à l'instar des porcs et ovins, se manipulent beaucoup plus facilement lorsqu'on les fait passer d'une zone faiblement illuminée à une zone d'intensité lumineuse un peu plus élevée; l'inverse peut provoquer le blocage de l'animal [31, 33]. Les bovins voient un peu de couleur, mais pas autant que les humains. Ils ont tendance à passer des zones faiblement éclairées aux zones plus éclairées,

mais éviteront la lumière très brillante. A l'intérieur, l'éclairage diffus est le meilleur et les couleurs ternes sont habituellement recommandées. Quand ils se déplacent le long d'une course, ils peuvent être réticents à l'ombre ou les changements dans la texture de sol, car ils ne peuvent pas les identifier comme inoffensifs [15,33].

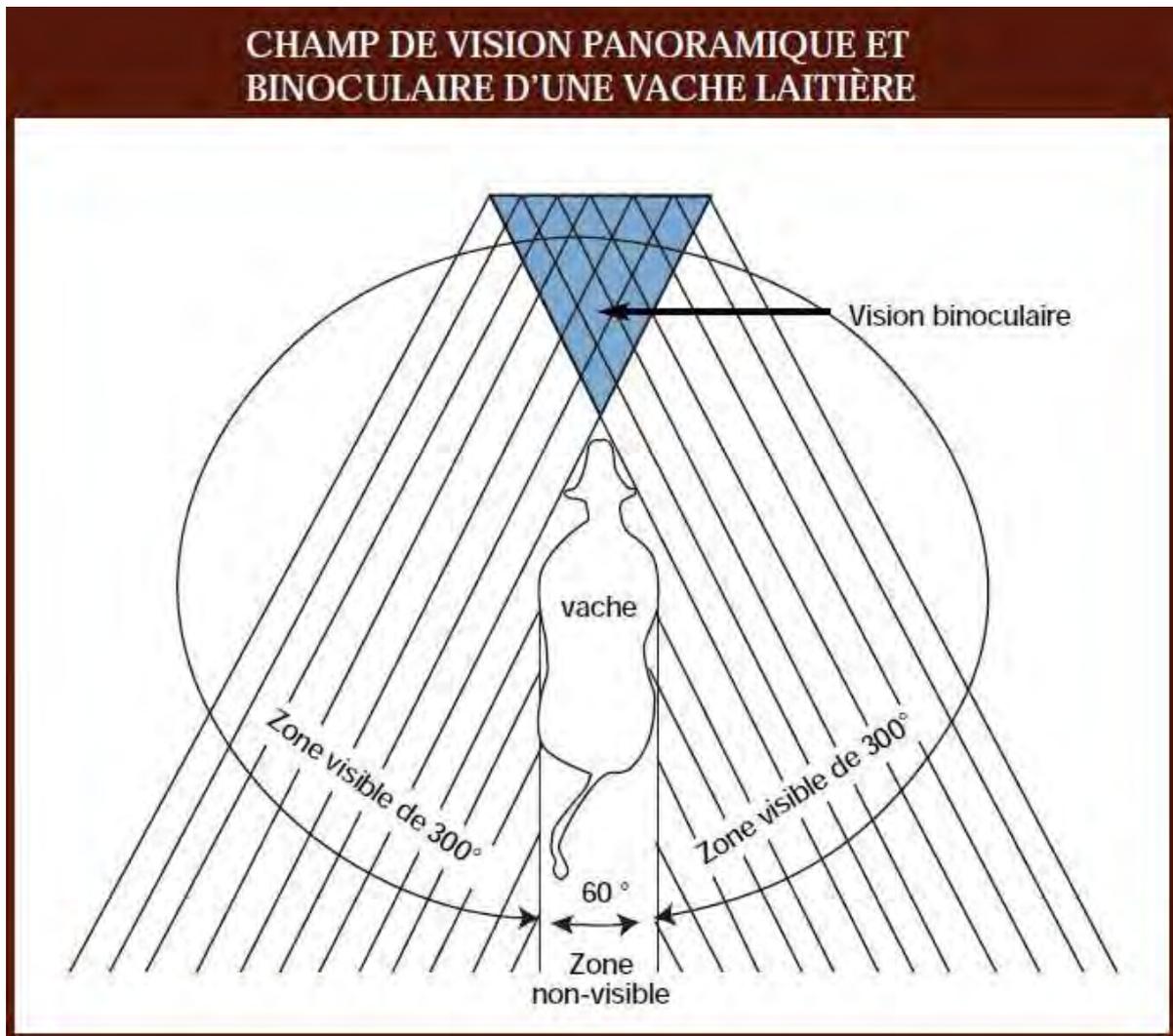


Fig. 28 Champ de vision d'un bovin. [31]

III . 2 . 2 . L'ouïe (hearing)

L'ouïe binaurale (perception auditive par les deux oreilles) du bovin est aussi faible. L'humain peut localiser la provenance d'un son sur un rayon aussi petit que 1°, tandis qu'il ne sera perçu que dans un rayon de 30° chez le bovin. Celui-ci utilisera donc sa vue pour localiser plus précisément la provenance du son. Cependant, les bovins peuvent entendre des sons de fréquence plus faible et plus élevée que les humains [15,31,75]. Parfois, ils peuvent être excités par des bruits nous ne pouvons pas entendre [15,33]. par exemple le son émis par

une chauve-souris ou les sons de haute fréquence. De plus, les bovins seront plus sensibles aux bruits de raclement comme le métal frottant contre le métal, Ils sont plus sensibles à ces sonorités aigües [31, 32, 33].

Ainsi, les bovins sont très incommodés par les cris ou les sifflements lors de la manipulation. Un son soudain peut même entraîner l'immobilisation de l'animal. Les animaux s'adaptent bien à un bruit de fond comme le son modéré d'une radio. Une musique d'ambiance continue réduirait la réaction soudaine des animaux à un son inattendu et serait donc bénéfique pour diminuer leur stress [31]. Les bruits insolites et intermittents sont particulièrement stressants pour les vaches. Les vaches vivant habituellement dans un environnement silencieux seront plus sensibles aux bruits que les vaches ne l'étant pas [32]. Ils s'habituent aux bruits familiers et à la voix de l'éleveur [15].

III . 2 . 3 . L'olfaction (smell)

Les bovins ont un meilleur sens de l'odorat que les humains. L'odorat est un sens vital chez les vaches pour la reconnaissance de leurs veaux [77]. Ils reconnaissent les odeurs familières de l'éleveur. Les odeurs inconnues des intervenants extérieurs (vétérinaire, inséminateur) les inquiètent [15,75]. Certains types de sang et de la farine d'os ont été identifiés comme causant le comportement sauvage chez les bovins. Du sang sur le sol après l'écornage ou la castration peut entraîner les bovins à devenir excités et refusent à entrer, pour la castration ou l'écornage [33]. Les bovins détectent des différences plus subtiles entre les odeurs que les humains. Ils utilisent leur nez et un autre organe, organe de Jacobson « vomeronasal » localisé sur la paroi supérieure de leur gueule afin d'acquérir de l'information olfactive leur permettant de modifier leur comportement. Par exemple, ils peuvent détecter les phéromones (substances chimiques exprimées par l'animal) produites par une vache en chaleur ou un animal qui a peur. Une vache peut être effrayée à l'idée d'entrer dans une cage pour le parage de ses onglons si les vaches qui l'ont précédée dans la cage ont vécu une expérience angoissante [31,75]. En outre les bovins peuvent communiquer leur état psychologique, en particulier leur peur, au moyen de phéromones. Des génisses ont un comportement alimentaire perturbé en présence de congénères stressées, et leur latence pour s'approcher d'un distributeur de nourriture est augmentée en présence d'urine de congénères stressées [15,30].

III . 2. 4 . Le toucher (touch)

Les vaches toilettent leurs veaux, une activité importante dans la création et le maintien de la relation. Lors du premier contact avec un animal on utilise un bâton léger pour gratter ses régions sèches et le garrot, ceci est une technique utilisée pour entrainer les animaux. Lors de la première prise de contact, c'est une bonne idée de toucher un animal avec un bâton ou une main tendue à partir d'une distance sécuritaire [15,33]. Sa réaction peut donner une idée de la façon dont il est susceptible de réagir à des contacts plus étroits. Parler à l'animal va inspirer la confiance à la fois humaine et animale. Frotter les génisses laitières de remplacement dans la région de la mamelle, quand ils étaient des veaux et quand ils sont formés dans le hangar de produits laitiers, c'est un contact confortable qui devrait réduire leur peur lors de la traite pour les premières fois. Il est important que les bovins savent où se positionne le manipulateur. Ils sont moins susceptibles d'être surpris et d'être effrayés sous la peur. Les manipulateurs doivent rester dans la zone de vision de l'animal, d'éviter la tache aveugle et faire une sorte de bruit. Parler permet à l'animal de localiser le manipulateur de manière plus efficace [33,75].

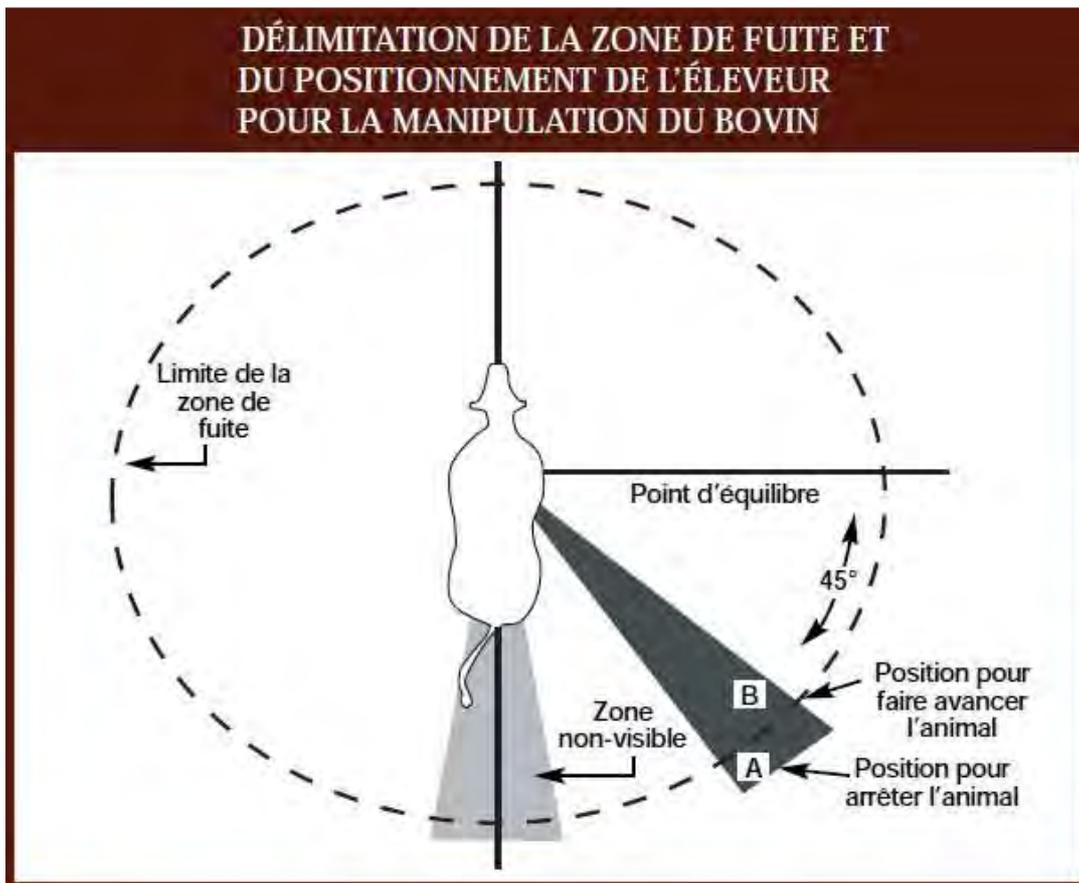


Fig. 29 Position de sécurité pour manipulateur-bovin. [31]

IV. COMPORTEMENT SOCIAL

Le comportement social est un phénomène exprimé par tous les animaux supérieurs [87]. S'il est des comportements au sein du règne animal qui nous étonnent autant qu'ils nous émeuvent, c'est sans nul doute ceux qui témoignent de leur capacité d'empathie. Longtemps décriés par les scientifiques – de tels comportements iraient à l'encontre de la sélection naturelle – ils font aujourd'hui l'objet d'études approfondies. « Notre science la plus formelle ne cesse de confirmer ce que nous dit notre bon sens. Un animal est quelqu'un, et non pas quelque chose. Il a une biographie, et non pas simplement une biologie. Ce que nous faisons aux animaux importe tout autant pour eux que ce que nous faisons à nos semblables importe pour nous » [36]. Les gens ont probablement toujours été fascinés par le comportement des animaux. En effet, une compréhension du comportement des animaux proies doit avoir été essentielle à nos premiers ancêtres, leurs peintures sur les murs des cavernes suggèrent qu'ils auraient pu être assez familiers avec les concepts comportementaux tels que la taille du troupeau et de la migration. Certains membres de la société (et même certains étudiants en biologie) peuvent penser à tort de l'étude du comportement animal dans un contexte universitaire comme étant une science souple, voire une option facile [35].

Avant d'étudier l'étonnante diversité des comportements que les animaux présentent, il est nécessaire pour nous d'avoir un aperçu de la notion de comportement lui-même. Nous devons décider ce que signifie le mot comportement à nous dans le contexte actuel et d'examiner les différentes avenues qui s'offrent à nous pour l'étude du comportement animal. Alors, quel est le comportement? Les définitions du dictionnaire du mot comprennent généralement des phrases telles que "agir ou fonctionne d'une manière déterminée ou habituelle." Cela nous donne à penser que le comportement est une chose prévisible. Une autre expression courante est «la réponse d'un organisme à un stimulus." Cela suggère que les comportements sont faits pour arriver à quelque chose. Dans le cas de cette définition, le «quelque chose» en question n'est pas spécifié, et peut être interne ou externe à l'animal en cause [35]. Une autre définition ; le comportement animal est un modèle d'action observé chez les animaux que ce soit volontaire ou involontaire. C'est l'interaction des aptitudes héritées et les expériences prises. les aptitudes héritées sont l'instinct qui est un modèle de comportement reflexe présent dès la naissance [77]. Chacune de ces idées est à sa manière une réponse adéquate à la question. Les comportements sont dans de nombreux cas prévisibles donnent des informations suffisantes concernant leur contexte (même si beaucoup semblent d'abord être très imprévisibles). De même les comportements sont souvent liés à un

stimulus dans un sens immédiat à un certain niveau. Cependant, l'inconvénient de ces définitions est qu'elles tentent de limiter étroitement le comportement d'une manière simple et très spécifique. Compte tenu de la diversité des comportements, une telle approche ne peut pas être le cas [35].

Prenez par exemple la respiration, la natation et l'apprentissage. Chacun de ces mots décrit un comportement pour lequel les définitions présentées ci-dessus seraient suffisantes. Nous, les humains, considérons la respiration comme un processus involontaire et on ne peut même pas considérer qu'il s'agit d'un comportement. Natation, d'autre part, est clairement un processus actif, nous avons tendance à penser que c'est d'avoir une motivation ou un but. Apprendre, nous pensons en termes différents à nouveau. Nous avons tendance à placer dans une classe supérieure des processus qui exigent un niveau élevé de capacités mentales. Il sera donc beaucoup plus utile pour nous d'adopter une définition très large du comportement [35].

On dit plus simplement alors le comportement est une propriété de tous les êtres vivants et chaque fois que nous observons un animal engagé dans une activité (volontaire ou involontaire), nous assistons à un comportement. En effet, on pourrait dire que le seul animal qui ne se comporte pas est un animal mort!. C'est un point important à retenir. Même si nous pouvons sentir qu'un singe semble dormir ou un serpent de mer immobile ne font rien, ils sont en fait « entrain de se comporter ». L'acte de sommeil est un comportement dans son propre droit, et le serpent est très probablement sur le point de frapper lors du passage d'une proie, tendant une multitude de muscles en préparation et en prenant en traitement un grand nombre d'informations sur son environnement. Il ne fait aucun doute qu'il se comporte [35].

IV. 1. Chez le cheval :

a) Le troupeau social

On ne peut pas connaître complètement les vrais caractères du cheval en l'observant en stabulation ou dans les écoles équestres...mais pour le connaître à sa réalité on doit l'observer dans la nature ouverte dont appartient son espèce, pour savoir les lois qui règnent dans les troupes de leurs ancêtres et comment se crée la hiérarchie dans ces troupes [78]. Le comportement du troupeau peut être difficile à comprendre. Dans les troupes sociales, le comportement peut être encore plus complexe. Les chevaux, par exemple, vivent en petits groupes bien organisés. ils ont le caractère social et affectueux avec les autres, ils

interagissent de façon complexe. Un troupeau de chevaux sauvages comprend un étalon (le mâle), son harem (plusieurs femelles, ou juments), et les jeunes (poulains). Habituellement, un troupeau a environ 7 à 10 individus. Selon l'expert animaux Desmond Morris, la société de cheval est basée sur l'amitié. Bien que pas un seul individu n'est dominant tout le temps, le troupeau est formé par les leaders et les suiveurs. L'étalon est dominant lorsque le troupeau rencontre d'autres étalons. Il ne permet à aucun jeune étalon de venir n'importe où près de son harem. Il combat les étalons qui se rapprochent trop près de ses femelles, ainsi que les jeunes mâles pour quitter son troupeau quand ils sont âgés d'environ 18 mois. Ces jeunes mâles rejoignent les troupes des célibataires. L'étalon travaille aussi dur pour garder son harem ensemble. S'ils se dispersent lors de l'alimentation, par exemple, il les arrondit, fait des aligne-pincements en arrière-train si nécessaire et les pousse de nouveau ensemble. Cela permet de maintenir les juments loin de toute autre étalons qui pourraient essayer de les voler. [37,57,79,80,81,82,83]

Il semble que les étalons dominent par la force, mais ça ne marche pas. La plupart du temps, il n'est pas un leader, mais un suiveur. Morris, dans son livre, *Horse watching*, dit que l'étalon est le "organisateur de groupe qui travaille dur". Les juments sont généralement les véritables dirigeantes du troupeau. Elles décident où et quand le troupeau va se déplacer. L'étalon suit lorsque les juments sont en déplacement, veiller sur elles et sur les jeunes. Les juments aussi gardent le troupeau ensemble. Les juments dominantes aideront l'étalon pour rassembler les juments. Parfois, les juments aideront l'étalon contre les étalons étrangers. Tous les chevaux du troupeau semblent vouloir être ensemble, comme une famille recomposée, et ils peuvent rester ensemble pendant des années. Ce n'est que lorsque l'étalon est trop vieux et trop faible pour combattre un rival et la famille va se briser à part. L'étalon conquis s'éteint et rejoint un troupeau de célibataires. Habituellement, les juments acceptent le nouveau étalon, et le troupeau se poursuit comme une unité familiale. [37,79,80]



Fig. 30 : le troupeau de chevaux est comme une famille . jusqu'à ce que l'étalon devient vieux et faible pour combattre un rival, ce dernier va prendre sa place dans l'unité [80].



Fig. 31: Un étalon regroupant ses femelles ensemble et les garde comme un groupe cohésif. Ce comportement est exprimé par l'étalon dominant envers ses femelles [80].

b) Liens dans le troupeau :

Amitiés intimes se forment dans une famille de chevaux sauvages, généralement entre deux jeunes frères, deux sœurs, ou une mère et son jeune adulte. En raison de ces amitiés, aucun individu n'est dominant dans le troupeau tout le temps. Deux amis peuvent dominer dans une source de nourriture, d'autres amis peuvent être dominants pour décider où se déplacer, et l'étalon peut dominer quand un rival est proche. Les chevaux sont en même temps leaders et suiveurs dans leurs groupes. Un troupeau de chevaux sauvages maintient ses liens avec les comportements sociaux qui semblent encourager les amitiés étroites. Dans la chaleur de la journée, quand le troupeau se repose à l'ombre, les chevaux se nettoient mutuellement avec des lèvres douces et des dents. Les amis grignotent le dos et la crinière de l'autre. La plupart du toilettage se déroule entre amis. Plus l'amitié est intime, plus les deux chevaux se nettoient mutuellement. En outre, l'ensemble du cheptel peut se réunir sous un arbre et se brosser les insectes les uns des autres avec leurs queues. Même les jeunes poulains tentent de montrer de l'affection à leurs mères. Quand leurs mères les nettoient, ils nettoient et lèchent leurs mères aussi. Les poulains aiment jouer. Ils nettoient, chassent, et jouent en combat avec l'autre. Ils jouent avec l'étalon, aussi. Ce dernier est généralement patient avec les poulains. Il tolère leur jeu et n'est pas agressif envers eux. Les juments ne jouent qu'avec leurs poulains, mais l'étalon semble avoir des liens avec tous les poulains de son troupeau. Sa tolérance ne change pas jusqu'à ce que les poulains soient adultes. Même alors, il accepte les jeunes femelles adultes, bien souvent, il les ignore. Les jeunes femelles quittent souvent pour trouver un nouveau troupeau, afin qu'elles puissent s'accoupler et avoir des jeunes de leur propre chef. [37,79,82]

c) Apprendre d'être partie du groupe

Les deux pratiques, jeu et toilettage mutuel, sont des tactiques de survie pour les chevaux. Le toilettage élimine les parasites et prévient les maladies telles que les infections par morsures des insectes. Le jeu est pratique pour la vie de groupe adulte. Les jeunes chevaux ne sont pas nés en sachant comment se comporter. Ils doivent apprendre par le jeu et en suivant les exemples des adultes au sein du groupe. Ils apprennent de quoi s'alimenter, comment éviter les prédateurs, comment lutter contre ses rivaux, comment former des amitiés, et comment être soumis et dominants. Les jeunes chevaux apprennent la langue du troupeau, aussi, ce qui leur permet de communiquer dans le groupe. Les chevaux communiquent avec des signaux vocaux et le langage corporel. Ils ont des signaux vocaux spéciaux pour avertir de prédateurs et autres dangers. Les jeunes apprennent à exécuter

lorsque leurs aînés le demandent. Ils donnent également des appels perdus quand ils sont séparés du groupe. Ils hennissent les uns aux autres en guise de salutation, et crissent pour se dire d'arrêter un comportement désagréable, comme le jeu trop rugueux. Les signaux du langage corporel sont la convivialité, la peur, la domination et la soumission. Les chevaux peuvent élever leurs queues hautes pour signaler l'excitation ou les faire tomber bas dans la soumission. Ils hochent la tête pour indiquer une position dominante ou tournent leur corps pour finir avec les têtes détenues en bas pour signaler la soumission et de céder pour un animal dominant. Face à un rival, un étalon peut élever ou rayer avec ses pattes avant, avertissant l'autre animal qu'un combat est possible. Les poulains apprennent à pratiquer ces comportements dans le jeu. Ils apprennent à obéir aux signaux donnés par les adultes et d'être de bons suiveurs jusqu'à l'âge adulte. Tous les chevaux utilisent le corps et le langage vocal pour maintenir le fonctionnement du groupe en douceur, éviter les bagarres, et de maintenir leurs liens affectifs avec l'autre [37,74,76,79,80,82].

d) Sécurité dans la société humaine

Les chevaux sont des membres du groupe qui obéissent aux dirigeants, de comprendre la soumission, et profiter de la compagnie et l'amitié. Cela les rend bien adaptés dans la société humaine. Parce que les chevaux peuvent coopérer avec les membres des autres groupes, ils peuvent être apprivoisés par les gens. Les gens deviennent substitués aux autres chevaux. Les chevaux peuvent faire des amis avec les gens et d'être avec eux, tout comme ils le font avec les membres d'un troupeau sauvage. Les mêmes comportements de groupe qui aident les chevaux de survivre à l'état sauvage les ont aidés à survivre comme animaux domestiques. Les gens protègent aussi les chevaux contre les prédateurs et cela les aide à survivre. Les chevaux domestiques n'ont pas besoin de se regrouper pour la défense comme des buffles et des gnous parce que les gens protègent leurs troupeaux. Les animaux du troupeau sont des animaux-proies qui ont besoin d'une sorte de groupe pour survivre, mais parfois les prédateurs ont besoin de groupes pour la survie, aussi. Les groupes prédateurs ne sont pas nécessairement pour la défense. Au lieu de cela, les groupes augmentent les chances d'attraper les proies [37].



Fig. 32: Investigation olfactive par la jument de son poulain [80].

e) Le cheval actuellement

Le comportement d'un cheval, représentant typique des animaux de fuite grégaires, est un facteur déterminant pour son utilisation, quelle qu'elle soit. Le tempérament est, pour un cavalier ou un meneur de niveau moyen, le premier critère de valeur, avant sa constitution, sa taille ou son prix d'achat. Très peu d'études scientifiques ont pourtant été menées sur ce thème complexe, en dépit de son importance économique incontestée et de la demande croissante pour une détention convenable des animaux. D'autre part, on constate une augmentation alarmante d'accidents lors du contact quotidien avec ces quadrupèdes. Le manque d'expérience et d'aptitude du cavalier sont en cause, mais aussi certaines caractéristiques de l'espèce chevaline. Le caractère est non seulement un facteur d'une grande importance pour les cavaliers de loisirs, qui représentent 90% des amateurs de chevaux, mais également pour les cavaliers de compétition jusqu'au plus haut niveau, qui jugent le caractère comme un facteur de réussite primordial. La description du comportement et du caractère repose le plus souvent sur des impressions subjectives et des opinions diverses. Depuis peu, quelques groupes de travail européens ont commencé l'analyse objective et scientifique du comportement du cheval et en ont tiré des conclusions concrètes. La plupart des tests utilisés jugent surtout son émotivité, qui joue un rôle primordial dans les rapports quotidiens entre l'homme et l'animal, notion englobant les concepts d'émotivité, de réaction de peur et

d'instinct grégaire. Pionniers dans ce domaine, Lansade et al. (2005) ont analysé de façon standardisée et comparé les traits de caractère majeurs des chevaux: l'émotivité, la réaction face aux humains, la motivation sociale ainsi que l'activité de base. Ils ont démontré que les chevaux les plus faciles à manier sont les moins peureux, les plus liés à l'homme et les moins motivés socialement. A l'opposé, les chevaux actifs, qui obtiennent les meilleurs résultats lors des tests à la longe, lors des tests d'apprentissage et en saut, sont les plus peureux et les moins proches de l'homme. Une sélection basée sur le tempérament découle donc absolument des objectifs d'élevage [34].

IV. 2. Chez le bovin

La compréhension de l'éthologie sociale des bovins permet de diminuer l'impact du stress pendant les manipulations [77]. Les bovins sont des animaux grégaires hautement sociaux qui vivent en groupes. Ils ont évolué comme une espèce herbivore dans les prairies ouvertes, regroupés ensemble en troupeaux pour faire face contre les prédateurs. Ils n'aiment pas l'isolation et deviennent dangereux et stressés lorsqu'ils sont séparés du troupeau. La taille du troupeau varie selon les sources de base telles que l'alimentation et l'accès pour la reproduction. Domestication, sélection et croisement contrôlé pendant quelques centaines de générations ont modifié et supprimé certains types de comportements sauvages et particulièrement ceux qui sont incompatibles avec les conditions d'élevages intensifs modernes [33,57,75,85]. L'organisation sociale des bovins repose sur deux types de relations celles : de dominances qui participent à la résolution à moindre coût des conflits en canalisant l'agressivité, et celles d'affinité qui assurent la cohésion du groupe en atténuant les éventuelles tensions. Le rang social est largement imposé par l'âge, poids du corps et la taille. Les animaux les plus âgés ont plus d'expérience et sont ainsi bien placés comme leaders, et les animaux les plus larges sont capables physiquement pour dominer les plus petits. Certaines conduites d'élevages peuvent perturber l'organisation sociale et être facteur de stress. Des aménagements sont proposés pour assurer la stabilité des relations de dominances et privilégier les relations d'affinité. Ils devraient faciliter l'intégration de l'animal à son groupe d'élevage et concilier ainsi bien être et production [30,33,85].

a) La structure sociale

Avant d'aborder l'étude du comportement des bovins domestiques tels qu'ils sont élevés dans les conditions commerciales, il est utile de donner un bref aperçu de la structure

sociale de leurs plus proches parents et des bovins domestiques retournés à l'état sauvage puisque malheureusement le genre *Bos* n'existe plus à l'état sauvage, l'ancêtre des bovins l'auroch (*Bos taurus primigenius Bojanus*) s'est en effet éteint au XVII^e siècle. Les bovinés ne sont pas territoriaux, les caractéristiques principales de leur structure sociale sont l'intégration possible des mâles et des femelles dans des troupes mixtes, la précocité des jeunes et des distances sociales faibles. Trois types de groupes généralement observés :

- 1) des groupes de femelles de tous âges accompagnés de leurs jeunes et quelques mâles sub-adultes
- 2) des petits groupes de mâles adultes et sub-adultes.
- 3) des groupes mixtes surtout pendant la période de reproduction [30,77].

La cohésion des groupes de mâles est moindre que celle des groupes des femelles. Les mâles sont plus agressifs que les femelles [33]. Dans certaines circonstances la réunion de plusieurs groupes conduit à la formation de troupes de taille très importante pouvant aller jusqu'à des centaines d'individus voire plusieurs milliers comme c'est le cas chez le bison. Une des caractéristiques des bovinés est l'existence de la hiérarchie entre les mâles, les femelles ayant leur propre système hiérarchique ; mais en général les mâles adultes dominent les femelles. Enfin lorsque il y a des mâles adultes au sein du troupeau ils ne sont pas forcément les dominants, ni les leaders, et ils n'ont pas non plus d'action sur la cohésion du groupe. Les actes et les postures utilisés dans les relations sociales se divisent en deux catégories ; d'une part les actes agressifs (dits offensifs) et ceux qui répondent à l'agression (soumission, retrait, fuite) qui sont regroupés sous le terme *actes agonistiques*, ces comportements peuvent se multiplier par une densité élevée dans les élevages intensifs modernes ; d'autre part les actes dits *non agonistiques* parmi lesquels on peut trouver ceux faisant partie du répertoire sexuel et tous les autres, dont les comportements d'affinité [30,75,77,87].

b) Relations sociales de dominance et subordination

En conditions naturelles, au sein des groupes permanents des conflits peuvent surgir pour l'alimentation, la reproduction, l'occupation d'un site favorable... des mécanismes régulateurs ont évolué pour limiter les conduites agressives ou les orienter vers des formes bénignes moins préjudiciables pour les individus et l'espèce. C'est ainsi que se sont développés les phénomènes de dominance qui assurent la priorité d'accès de certains individus à des ressources limitées sans qu'il soit besoin de recourir à chaque occasion à éprouver la force : la dominance d'un animal est reconnue par la ou les subordonnés. Le

raffinement des moyens de communication permet soit au dominant d'affirmer sa position de manière non violente, soit au subordonné de montrer son acceptation avant même toute une démonstration agressive de la part du dominant. Lorsqu'un bovin est nouvellement introduit à un troupeau il entre en combat lors de la première rencontre pour imposer son rang social [30,33,75,77,84,85,86].

c) Relations sociales d'affinité

Chez les bovins, la base de la structure sociale est, dans la plupart des cas, le groupe familial d'origine matriarcale, quelques femelles et leurs filles adultes accompagnées des jeunes des deux sexes. Il a souvent été difficile, sinon impossible, de mettre en évidence une organisation hiérarchique dans de tels groupes. Cette permanence du groupe familial et la faible agressivité observée ont souvent fait penser à une absence de structure hiérarchique et suggèrent que les relations préférentielles existent entre ses membres et en assurent la cohésion. Ces préférences peuvent être réciproques et stables dans le temps. Des relations d'affinité existent donc entre certains animaux et se traduisent à la fois par une fréquence élevée de contacts non agressifs (par exemple toilettage) une faible fréquence d'interactions agressives et une grande proximité spatiale. Elles se traduisent également, bien que plus rarement, par des déplacements en commun et une synchronisation des activités [30,75,86].



Fig. 33 : Relations sociales entre les bovins [84].

V. PHYSIOLOGIE DU STRESS

V. 1. Le bien être des animaux

Contrairement à de nombreux concepts scientifiques, il n'existe pas une définition du bien-être unanimement reconnue. La notion de bien-être animal est multifactorielle et les définitions sont nombreuses, la plupart des auteurs s'accordent néanmoins avec la définition selon laquelle le bien-être est un état de bonne santé physique mais aussi mentale. Les émotions tiennent une place centrale dans la définition du bien-être: Le bien-être peut se définir comme un état d'harmonie entre l'animal et l'environnement dans lequel il évolue, aboutissant à une parfaite santé mentale et physique de celui-ci. Le bien-être d'un individu résulte de l'absence d'émotions négatives prolongées telles que la peur, la douleur ou la frustration et de la présence d'émotions positives telles que la joie ou le plaisir. En plus des émotions, le bien-être implique l'existence d'états affectifs persistants qui orientent la manière dont l'individu perçoit et réagit à son environnement. D'autres définitions intègrent la notion d'ajustement de l'animal à son milieu. Ainsi, selon certains auteurs, le niveau de bien-être dépend des efforts que l'animal doit fournir pour s'adapter à son environnement. Si ces efforts sont trop « coûteux », alors le niveau de bien-être sera faible [9,14, 39].

Lorsque l'environnement ne répond pas totalement aux besoins et aux motivations de l'animal, ce dernier a la capacité de s'adapter par des moyens neuroendocriniens et comportementaux sans pour autant en souffrir physiquement et/ou mentalement. Par contre, si l'animal présente des difficultés pour s'ajuster à son environnement parce que la situation est trop éloignée de ses besoins et de ses motivations ou parce qu'elle perdure dans le temps, alors un état de souffrance s'installe. Néanmoins, un environnement trop prévisible ou ne présentant aucune stimulation pour l'animal peut aussi affecter son état émotionnel et aboutir à un état d'ennui. Il est important de noter que l'écart entre la situation, et les besoins et les motivations de l'animal dépend de la manière dont la situation est perçue par celui-ci [9]. Cela signifie que l'état de bien-être de l'animal peut être défini comme un état d'équilibre entre les expériences positives et négatives semblables à ceux de leurs homologues sauvages [47].

La plupart des réglementations et cahiers des charges visant à protéger les animaux sont basées sur les « 5 libertés » du Farm Animal Welfare Council (1992) :

- Absence de faim, de soif et de malnutrition ;
- Absence d'inconfort physique ;
- Absence de douleur, de blessure et de maladie ;
- Possibilité d'exprimer les comportements normaux de l'espèce ;
- Absence de peur et de détresse [9,14, 39,47,92].

L'aspect probablement le plus important dans les définitions actuelles des concepts de bien-être et de stress est qu'elles reposent sur la notion de perception, c'est-à-dire la représentation mentale qu'un animal se fait de son environnement, avec la composante émotionnelle qui y est associée [9].

a) Rôle de la perception :

Mason (1971) avait observé une augmentation du niveau de cortisol chez des singes privés de nourriture lorsque ceux-ci voyaient leurs congénères recevoir un item alimentaire. En revanche, quand les singes privés de nourriture recevaient à la place un item non alimentaire, ou s'ils étaient isolés lorsque leurs congénères étaient nourris, leur niveau de cortisol n'augmentait pas. Cette expérience montre que ce n'était pas la privation alimentaire en elle-même qui était à l'origine de la réponse de stress des singes, mais le fait que ces derniers percevaient une privation. Par la suite, de nombreux travaux ont montré que les réactions de stress des animaux face à une situation supposée aversive dépendent de la manière dont ils perçoivent cette situation [9,14,42].

Les vaches ont besoin de se coucher et de se reposer près de 12 à 14 heures par jour. Le temps de couchage et de repos est important, à la fois pour maximiser la production laitière et pour leur bien-être. En effet, la privation de la possibilité de couchage pendant plusieurs heures se traduit par une diminution des concentrations d'hormone de croissance, impliquée dans la sécrétion de lait et par un changement du fonctionnement de l'axe HPA, reflétant un état de stress chronique chez ces animaux [39]. La reconnaissance d'une personne par une vache est un processus complexe qui ne dépend pas uniquement d'indicateurs visuels. On a observé que lorsqu'une personne inconnue entrait dans l'enclos d'un veau, les périodes de contact étaient courtes et fréquentes. Lorsque les veaux étaient manipulés par deux personnes de façon répétée et que l'une d'entre elles les traitait gentiment tandis que l'autre les traitait avec aversion, leurs contacts avec la personne gentille étaient significativement plus élevés que ceux avec la personne qui les malmène. Les veaux sont donc capables de différencier les personnes [46].

Des travaux menés chez des animaux d'élevage et des animaux de laboratoire ont aussi montré qu'un événement perçu comme contrôlable ou prévisible engendrait des réponses de stress moins prononcées et pourrait conduire à l'ennui, alors que l'imprévisibilité totale et incontrôlable ou un événement aversif en lui-même était qualitativement et quantitativement identique peut être stressant pour l'animal. L'ensemble de ces études montre

que la manière dont l'animal perçoit son environnement joue un rôle déterminant sur son état de bien-être et/ou de stress [9,41,47].

b) L'approche originale des émotions chez les animaux :

Pour comprendre les réactions comportementales et physiologiques d'un animal ainsi que ses expériences émotionnelles responsables de ces réactions, il est indispensable de tenir compte de la manière dont l'animal perçoit et évalue une situation donnée. Afin d'appréhender le plus objectivement possible ces notions de perception et d'évaluation chez l'animal, des auteurs se sont inspirés des théories de l'évaluation développées chez l'homme en psychologie cognitive. Selon ces théories, et notamment celle affinée par Scherer (1999), une émotion est déclenchée par l'évaluation d'une situation donnée que l'individu effectue de manière quasi-automatique. Cette évaluation repose sur un nombre limité de caractéristiques élémentaires, telles que la nouveauté, la soudaineté, la contrôlabilité ou encore la prévisibilité de la situation. Selon Scherer (1999), la combinaison de ces caractéristiques, qui résulte de la procédure d'évaluation de la situation, détermine la nature de l'émotion qu'est censé ressentir l'individu. Pour transposer ce cadre conceptuel de l'humain à l'animal, et plus précisément aux animaux d'élevage, des travaux ont été menés pour déterminer, parmi ces critères élémentaires, lesquels pouvaient être perçus par l'animal. Ainsi, chez l'agneau, il a été montré que la plupart de ces caractéristiques, testées seules ou combinées, sont pertinentes pour les animaux. L'ensemble de ces travaux permet de comprendre comment l'animal perçoit son environnement et de mieux décrypter les émotions qui en découlent [9].

Bien que l'on dispose désormais d'un ensemble d'outils pour connaître la façon dont un animal perçoit son environnement, ces outils évaluent la plupart du temps les conséquences du mal-être et non l'état de mal-être en tant que tel, c'est-à-dire l'état mental de l'animal. Comme le soulignent Dawkins (1990) et Dantzer (2002), la recherche sur le bien-être des animaux d'élevage s'est généralement limitée à établir des indicateurs de stress sans pour autant pouvoir les relier à l'existence d'états affectifs. Il est désormais nécessaire de passer de la simple description des comportements de l'animal à la compréhension de ses propres états affectifs. Si les animaux de ferme sont décrits comme des êtres sensibles qui éprouvent des émotions, peu d'efforts ont été entrepris pour étudier ce qu'ils sont capables de ressentir. Il est pourtant indispensable de montrer, de manière scientifique, l'existence d'une forme de sensibilité des animaux afin de donner corps aux initiatives visant à assurer leur bien-être. Or, si des avancées significatives ont été réalisées ces dernières années pour

décrypter les émotions que peuvent ressentir les animaux, de nombreuses inconnues subsistent encore dans l'exploration du monde affectif de l'animal. Notamment, quels sont les liens entre émotions, réactions fugaces, et bien-être, état affectif durable ? [14].

V. 2. Les émotions chez les animaux :

Émotions imprègnent une grande partie de la terminologie employée par ceux qui étudient le comportement animal de «lien social» aux «cris d'alarme» encore sont soigneusement évités comme un sujet explicite dans les discours scientifiques. Compte tenu de l'intérêt croissant pour l'intelligence émotionnelle humaine et l'attention explicite en neurosciences à l'émotion, à la fois humains et non humains, le tabou qui règne depuis si longtemps dans la recherche sur le comportement animal semble pas à jour. Comprendre la structure émotionnelle profonde du comportement sera la prochaine frontière dans l'étude du comportement animal [40]. Le fait que les animaux soient pourvus d'un système nerveux, et qu'ils puissent donc être doués de sensibilité. Cette sensibilité peut s'exercer à l'égard des conditions dans lesquelles ils sont placés, ce qui autorise à parler de contraintes imposées à l'animal [41].

Malgré l'affirmation fréquente que les émotions des animaux ont à peine de l'importance, le refus pur et simple de leur existence est rare. Cela nous laisse avec la situation curieuse qu'un aspect largement reconnu du comportement animal est délibérément ignoré ou minimisé. Les émotions sont souvent présentées comme trop simples pour attirer l'attention. The Oxford Companion to Animal Behaviour affirme que «les animaux sont limités à quelques émotions de base," et la principale différence entre les émotions humaines et animales a été proclamée être que «les animaux n'ont pas d'émotions mixtes". Si les émotions des animaux sont pures et simples, cependant, elle ne peuvent être établies sans un programme scientifique visant à les étudier. Il suffit de voir un chimpanzé a suscité, avec tous ses cheveux sur la tête, prendre un bâton pour pousser en toute sécurité un serpent qu'il a abordé avec beaucoup d'hésitation, de comprendre que les inclinations mixtes, comme entre la peur et la curiosité, sont tout à fait possibles. En fait, lorsque Menzel a testé les chimpanzés avec des serpents de jouets, il a constaté que, une fois un chimpanzé était au courant de l'emplacement d'un serpent, d'autres qui ne l'avaient jamais vu ont adopté la même prudence, la posture ambivalente juste en regardant le premier chimpanzé qui avait passé cet expérience, montrant ainsi l'effectivité et la valeur du potentiel de la communication émotionnelle pour la survie [40].

L'existence des émotions chez les animaux a été reconnu par Darwin, qui suggère que les animaux ont tous les deux des expériences émotionnelles ; négatives (peur, frustration) et positives (plaisir) [89]. En outre, (Panksepp, Jaak 2005) croit que ce n'est que par une étude détaillée des émotions animales et leurs substrats cérébraux qu'une fondation satisfaisante pour comprendre les émotions humaines peuvent émerger [43].

a) Définition de l'émotion

Les "émotions" sont d'excellents exemples des causes fictives auxquelles nous attribuons communément le comportement [40,43]. Une émotion se définit comme un état affectif qui dépend de la représentation que l'individu se fait de son milieu. Elle se caractérise par une composante subjective (sentiment), une composante somato-motrice (comportement) et une composante neuroendocrinienne [41].

Les animaux sont capables d'attribuer une valeur affective à leur environnement. Les études sur le stress montrent que c'est la manière dont l'animal se représente l'événement, et non l'événement en tant que tel, qui va déterminer sa réaction. Les réponses émotionnelles de l'animal dépendent donc de la façon dont il perçoit la situation déclenchante [14]. James a lié les émotions à l'instinct. Les humains et les autres animaux répondent au danger avec l'émotion de la peur, qui est associé à l'instinct de fuite. D'autre part, la mise en échec d'un but provoque la frustration, ce qui provoque la colère, aussi connu comme l'instinct agressif. Une chose étrange s'est produite, cependant, lorsque instincts sortent hors de faveur: les émotions sont restées, mais sous une forme sérieusement diluée. Dunlap se lamentait: Instincts ont discrètement disparu après une maladie brève et fiévreuse, et les émotions veuves ont été laissées. Pour la biologie évolutive, cette dissociation est regrettable car elle enlève la raison la plus probable pour laquelle les émotions existent, qui est de son capacité d'induire des mesures d'adaptation. Quel serait le point de réaction à la vue d'un prédateur avec un état corporel connu ; la peur ? [40]. Il y a déjà un siècle, nous savions que cet état est marqué par la respiration profonde, la pression artérielle élevée, un rythme cardiaque accéléré, une orientation du sang du système digestif vers les muscles, le cœur et le cerveau, une vigilance accrue, et la libération de sucre à partir des réserves de foie. Ces changements en eux-mêmes ne font pas l'organisme tout bon: leur valeur adaptative réside dans la préparation physique pour le combat ou la fuite [40,45].

La beauté du système de réaction émotionnelle, de manière instinctive, est que ce n'est pas strictement prédéterminée. Les modifications neurologiques et physiologiques qui en

résultent peuvent être rapides comme un réflexe, mais le comportement suscité varie en fonction de la situation et de l'expérience [40,42]. Certains primates ont des appels d'alarme pour les différents dangers auxquels les auditeurs vont réagir en conséquence. Le cri d'alarme pour les grands félins mène vervets à monter rapidement un arbre, l'appel de prédateurs aériens les rend se lèvent et se dirigent vers une forêt très dense, un serpent les rend tenir debout et regarder autour dans l'herbe. Dans tous les cas, l'émotion « suscité » est la peur, mais c'est une peur "intelligente", qui cherche la réponse la plus appropriée aux circonstances [40].

b) La variabilité interindividuelle dans les réactions :

Il y a une large variabilité dans la réactivité émotionnelle entre les animaux et cette variabilité est un trait phénotypique qui a été nommé tempérament. Le tempérament a été défini chez les humains comme « le contrôle naturel de la manière dont il comporte, sent et pense ». Boissy (1995) a conclu que la réactivité émotionnelle a un impact significatif sur la relation d'un animal envers son environnement et que les animaux ont une personnalité, tempérament ou comportement individuel propre [89].

Il est bien connu que des animaux placés dans un même contexte environnemental réagissent d'une manière qui leur est propre. Les réactions à une situation donnée sont en partie d'origine génétique [9]. Cette variabilité de réponse est importante par rapport à la question sur l'utilité de la notion d'émotion dans l'analyse comportementale. Le Oxford Companion to Animal Behaviour, affirme qu'un comportement indicatif d'une certaine émotion ne peut pas en même temps être expliqué par elle [40]. Chez les animaux d'élevage par exemple, de nombreux travaux ont montré que la race influence la réactivité à différents types d'événements stressants. En interaction avec la composante génétique, les expériences individuelles jouent elles aussi un rôle sur la manière dont les animaux réagissent à une situation donnée [9]. Par exemple, plusieurs études ont montré que des veaux soumis à des contacts positifs avec l'homme se montraient par la suite moins réactifs aux manipulations. Ainsi, la perception et l'évaluation d'une situation donnée, ainsi que les réactions qui en découlent, sont la résultante du patrimoine génétique et des expériences individuelles. Ces deux composantes, ajoutées à l'état émotionnel et physiologique de l'animal à un instant donné, aboutissent à une combinaison unique expliquant au moins en partie la variabilité interindividuelle dans les réactions [9,46].

De nombreux travaux entrepris sur les animaux de ferme ont mis en évidence la stabilité de ces différences interindividuelles. Lorsqu'un animal est confronté à différents types de situations ou exposé à la même situation à des moments différents, il présente une

cohérence dans ses réactions, comme montré chez les bovins ou encore les chevaux. Cette cohérence dans les réactions peut s'exprimer sous le terme de « réactivité émotionnelle individuelle », c'est-à-dire la propension d'un animal à réagir plus ou moins fortement face à différents types de situations. Des travaux plus récents ont montré que chez les porcs et les agneaux, cette cohérence se retrouve aussi dans les réactions aux procédures d'abattage. La perception et les réactions d'un animal dans un contexte environnemental donné sont influencées par l'évaluation qu'il entreprend sur la base de sa propre réactivité émotionnelle et de son état émotionnel et physiologique du moment [9].

V. 3. Homéostasie et stress

a) Homéostasie :

En 1865, le médecin physiologiste français Claude Bernard écrit que « tous les mécanismes vitaux quelques variés qu'ils soient, n'ont toujours qu'un seul but, celui de maintenir l'unité des conditions de la vie dans le milieu intérieur ». Claude Bernard est un des premiers, en 1868, à interpréter les réactions provoquées par le stress sur le comportement humain comme des réactions servant à maintenir l'équilibre de l'organisme. En 1878, il montrera que, lorsque la stabilité intérieure est perturbée, un organisme est plus vulnérable à la maladie. Ce dérangement de l'équilibre est un facteur fragilisant, rendant l'organisme plus sensible à la présence d'un germe et au développement d'une maladie [42]. Ce maintien de l'équilibre interne sera décrit par Cannon, physiologiste américain, qui utilise le nom « *homéostasie* » (homoios: égal ; stasis: état) et y inclut la notion de stress. En 1932 il écrivait « les processus physiologiques coordonnés qui maintiennent la plupart des états stable de l'organisme sont si complexes et si particuliers aux êtres vivants, impliquant selon les besoins, le cerveau et les nerfs, le cœur, les poumons, les reins et la rate, œuvrant tous en collaboration – que j'ai suggéré un terme spécial pour ces états, l'*homéostasie* ». Il imaginait une situation dans laquelle les processus sensoriels, contrôlant l'état interne du corps, initiaient des actions appropriées chaque fois que l'état interne déviait de l'état prédéfini, ou optimal [1]. Il s'intéresse aux réactions de l'organisme lors de réactions émotionnelles fortes (frayeur, crainte, fureur) et observe l'effet d'un stress sur le système nerveux autonome de l'organisme (dérèglement de la digestion, accélération du rythme cardiaque, production d'adrénaline). Il est un des premiers à s'intéresser à la médullosurrénale, productrice d'adrénaline et à décrire comment elle permet de faire face à des changements de température, des nouveaux besoins énergétiques ou des variations de pression partielle d'oxygène dans l'air. Cannon associe donc le stress à son concept d'homéostasie. Il conçoit que l'homéostasie

a certaines limites dont la transgression provoque un stress. Il définit le stress comme « un stimulus endogène ou exogène provenant du déséquilibre trop important de l'homéostasie ». Pendant tout le 20^{ème} siècle, l'approche biologique du stress va lier les termes « *stress* », « *homéostasie* » et « *adaptation* » et engendrer une littérature abondante et féconde [42]. Le rôle joué par le comportement dans le contrôle de l'environnement interne varie considérablement selon les espèces et les circonstances. Le fait de boire, par exemple, est essentiel pour le maintien de l'homéostasie chez de nombreuses espèces, parce que les mécanismes physiologiques de la conservation de l'eau ne sont pas capables d'empêcher une déshydratation mortelle après une privation d'eau prolongée [1].

b) Stress :

L'origine latine du mot stress est « *stringere* », qui signifie « rendre raide », « serrer », « presser ». Le terme « stress » est tout d'abord utilisé en physique métallurgique avec la loi de Hooke qui stipule qu'une force extérieure agissant sur un corps, provoque une tension de ce corps qui peut se transformer en déformation mécanique [42]. Le terme stress est communément utilisé pour indiquer les conditions de l'environnement qui s'opposent au bien être de l'animal [90]. Il est souvent perçu comme une menace pour l'homéostasie. Mais certains aspects du stress ont peu de choses à voir avec l'environnement interne, particulièrement ceux qui naissent d'un des traits du comportement social. Des stimuli internes et externes peuvent provoquer le stress, on les appelle les facteurs stressants. Chez les vertébrés, le stress est étroitement lié à la fonction hormonale. Les animaux confrontés à des situations défavorables connaissent une réorganisation fondamentale de leur physiologie. Deux systèmes majeurs sont impliqués, le système nerveux autonome et le système hypothalamo-hypophyso-adrénocortical. Ce système est en grande partie responsable de la sécrétion d'hormone cortico-tropine, l'ACTH [1]. Le stress fait alors référence à l'activation du système neuro-végétatif, la libération de catécholamines (adrénaline et noradrénaline), et de l'axe corticotrope, entraînant notamment la libération de glucocorticoïdes (le cortisol principalement) en réponse à des perturbations physiques. Plus tard, les réponses comportementales sont incluses dans cette définition. Le « stress » correspond ainsi à l'état dans lequel l'animal se trouve lorsque les ajustements physiologiques et comportementaux qu'il doit fournir pour s'adapter à son environnement sont trop importants. Enfin, Terlouw (2005) définit le « stress » comme l'ensemble des réactions physiologiques et comportementales d'origine émotionnelle d'un individu face à une situation qu'il perçoit comme potentiellement menaçante [14,119].

Toates (1995) argue que, étant donné la diversité des causes de stress et celle des réponses au stress, il n'est pas inutile de caractériser le stress comme une sorte particulière d'état motivationnel d'aversion. Il n'est probablement pas possible d'identifier des caractéristiques de stress qui seraient communes à toutes les espèces. Il doit exister de grandes différences, particulièrement entre vertébrés et invertébrés [1].

c) Les facteurs stressants :

La réponse biologique au stress commence lorsque l'organisme perçoit, via son système nerveux central, un élément potentiellement menaçant pour son homéostasie [42,124]. Des stimuli internes et externes peuvent provoquer le stress, on les appelle les facteurs stressants. Il en existe une grande variété, allant de l'hémorragie aux signes qu'un prédateur est proche [1,44,112]. Il peut s'agir d'une agression directe de l'organisme, comme une diminution de la température corporelle [91], une blessure, ou d'un changement de l'environnement comme la modification de la routine, une séparation sociale, la détérioration de l'habitat, une restriction de l'accès à la nourriture, une pathologie... Les éléments stressants éloignent l'organisme d'un environnement idéal. L'élément stressant peut également n'être qu'un sentiment de danger perçu par l'individu, comme une menace de prédation ou le fait de se trouver dans une situation risquée. Le fait que cet élément soit réellement dangereux ou non importe peu, c'est l'impression de menace, ressentie par l'animal, qui engage la réponse biologique. C'est la raison pour laquelle certains stress psychologiques peuvent être dévastateurs [9,41, 42,47,90]. En plus on ne peut les identifier que par les effets qu'ils ont sur la physiologie de l'animal. Selye (1973) faisait référence au syndrome des changements physiologiques induits par les stimuli stressants en parlant de syndrome général d'adaptation. Ce syndrome consiste en changements physiologiques spécifiques spécialement une sécrétion accrue de corticostéroïdes, qui résulte d'une gamme diverse de stimuli (les stimuli stressants) et ont d'importants effets sur les équilibres physiologiques. [1,42]

Chez les animaux, la peur des humains est un facteur de stress, les interactions avec l'homme peuvent provoquer du stress et de la peur. Lorsque les contacts avec l'homme sont intrusifs et fréquents, la qualité de l'interaction peut avoir des conséquences négatives pour l'homme et les animaux. Le stress provoqué par l'homme peut avoir un impact sur la productivité, la reproductivité et le bien-être des animaux. En effet il existe un lien important entre la peur des humains et la productivité des animaux de ferme. Bien que l'on puisse

s'attendre à ce qu'un mauvais traitement entraîne une réduction de la production, on reste surpris par l'importance de ces effets. De nombreuses études se sont intéressées au stress de l'animal induit par l'homme, principalement chez des animaux de production, comme les bovins ou les porcs, mais également chez le cheval [42,46,50]. Des preuves scientifiques solides sur des bovins révèlent que toutes les méthodes d'écornage causent de la douleur. Cela a été démontré dans de nombreuses études qui ont mesuré les réactions physiologiques au stress comme le taux de cortisol plasmatique et le rythme cardiaque et les réactions comportementales [51].

Le facteur nouveauté d'un stimulus ou d'une situation aura également un impact sur la réaction induite. Le fait de perdre le contrôle, ou de ne plus pouvoir prévoir les événements de son environnement, qu'ils soient à caractère positif ou négatif, peut également entraîner un stress psychologique important. L'élément stressant peut être ponctuel, intermittent ou continu et induire un stress aigu ou chronique [8,42,96,98]. Par exemple, la présentation de nouveaux stimuli (connu pour induire une réponse physiologique de stress aigu) avant la course a été trouvée pour améliorer les performances de courir chez le pur-sang. Les chevaux trop excités, cependant, peuvent devenir difficiles à gérer, dépenser trop d'énergie avant la compétition ou se laisser distraire d'une manière qui porte atteinte à la performance car ils peuvent sortir hors de leur « zone individuelle de fonctionnement optimal » [8,10].

Chez les bovins certains types de bruits sont une source de crainte. La peur engendre le stress accentuant les difficultés de manipulation. En outre, le stress réduit le gain de poids, supprime la réponse immunitaire et nuit au fonctionnement du rumen [48]. Le transport apporte des stressants supplémentaires. Une étude sur les effets du conditionnement et de la durée du transport sur le bien-être des veaux de boucherie pendant la période de réception au parc d'engraissement a révélé que la perte de poids d'avant le transport à l'arrivée était supérieure chez les veaux transportés pendant 15 heures par rapport à 12,7 heures [51].

d) La réponse au stress

La défense biologique engagée lors de la perception de l'élément stressant est une combinaison de quatre réponses : (1) la réponse comportementale, (2) la réponse du système nerveux autonome, (3) la réponse neuroendocrine et (4) la réponse immunitaire. Ces réponses modifient les fonctions biologiques de l'organisme [41,42,44,92].

La réponse au stress ne dépend pas réellement de l'élément stressant mais de la perception que l'animal a de cet élément, comme menace à son homéostasie. Cette perception va donc dépendre du tempérament de l'animal, de ces motivations et émotions au moment de

la rencontre avec le stimulus stressant. L'importance des facteurs psychologiques lors de la réponse au stress fut démontrée par Mason (1971) et a été confirmée par Anderson et al. Ils observent que l'activation de l'axe HPA en réponse à un élément aversif dépend du contrôle que l'animal peut avoir sur la situation [42].

Dans la plupart des cas, la première réponse est la réponse comportementale. L'animal gagne à éviter l'élément stressant en s'en éloignant simplement. Par exemple en fuyant un prédateur ou en se déplaçant vers un point d'ombre pour réguler sa température... tous ces comportements peuvent permettre rapidement, et pour un faible coût biologique, de sortir de la situation stressante. La réponse comportementale n'est pas appropriée à tous les éléments stressants : les animaux peuvent se retrouver dans des situations où leur choix de réactions comportementales sera limité ou contrecarré. Cela sera particulièrement le cas lorsque l'animal est confiné [41, 42].

Une seconde défense face à un élément stressant est enclenchée via le système nerveux autonome. Le SN autonome est composé de deux parties ayant des rôles opposés : le système nerveux parasympathique et le système nerveux sympathique. Le SN parasympathique régule les fonctions telles que la croissance, la digestion, il ralentit la respiration et la fréquence cardiaque. Il est stimulé lors du sommeil ou après un repas copieux et sera inhibé lors d'un stress. A l'opposé, le SN sympathique est stimulé par l'excitation, la vigilance ou lors d'une situation stressante. Lors d'un stress, il va dilater les pupilles, accélérer la fréquence cardiaque et respiratoire, inhiber le système digestif... Le stockage de l'énergie est suspendu et l'énergie stockée sera remise à disposition. La concentration sanguine en glucose augmente. Pour que ce glucose et l'oxygène atteignent rapidement et préférentiellement les muscles utiles pour la réponse au stress (par exemple la fuite en présence d'un prédateur), les fréquences cardiaque et respiratoire ainsi que la pression sanguine augmentent, l'eau est retenue dans la circulation pour augmenter le volume sanguin, et certaines parties du système circulatoire sont déviées [1, 42].

Les hormones sécrétées par le système neuroendocrine ont un vaste et durable effet sur l'individu. Les fonctions biologiques qui sont affectées par le stress sont souvent régulées par des hormones. La sécrétion de ces hormones est altérée de façon directe ou indirecte lors d'un stress [42,45]. Cette réponse complexe fait notamment intervenir différentes hormones (principalement les catécholamines et les glucocorticoïdes), libérées dans le sang par des glandes localisées au niveau du cerveau (hypophyse, hypothalamus) et à proximité des reins (surrénales). Lors d'une situation stressante, les catécholamines sont libérées automatiquement en quelques fractions de seconde, et vont ainsi préparer l'organisme à un

effort physique intense, en augmentant le rythme cardiaque, la pression sanguine et le rythme respiratoire. La libération de glucocorticoïdes (principalement le cortisol chez le cheval) permet ensuite d'adapter la réponse de stress à plus long terme, en favorisant la synthèse du glucose par un processus plus lent, mais à effet durable [92]. Globalement, il est compréhensible que la réduction de la peur et de la réactivité émotionnelle affecte la reproduction parce que l'axe endocrinien de la reproduction peut être profondément influencé par le stress, comme cela a été clairement démontré pour les animaux de ferme. En fait, la domestication des mammifères montre que le tempérament ou la réactivité émotionnelle ou docilité, affecte la capacité de reproduction et de physiologie de la reproduction, que ce soit directement ou indirectement. Chez les ovins, jusqu'à présent, la sélection de tempérament ont été démontrées à influencer sur le comportement des femelles pendant la période d'accouplement et dans les premiers stades de la gestation et de la survie des agneaux nouveau-nés [53].

Une étude a observé des changements négatifs des marqueurs de stress physiologique et immunologique des vaches de boucherie pendant les jours suivants le sevrage abrupt [51]. Les scientifiques, dès le début de la médecine moderne, s'intéressent aux liens entre symptômes psychiatriques et fonction immunitaire. Au milieu du 20^{ème} siècle, des études sur des patients psychotiques rapportent une diminution du nombre de lymphocytes et une réponse à la vaccination plus faible que les patients non psychotiques. En 1964 est inventé le terme de « *psychoimmunology* » et en 1975 la notion de « *psychoneuroimmunology* » est avancée. Ces auteurs sont les premiers à démontrer les liens entre le système nerveux et le système immunitaire, lors d'expérimentations avec des rats en laboratoire. Les scientifiques s'accordent donc pour dire qu'il y a des interactions bidirectionnelles entre le système nerveux et le système immunitaire [42]. Le système immunitaire, ensemble de leucocytes et de cellules accessoires assurant la défense de l'organisme contre les microorganismes, a longtemps été considéré comme un système autonome. Il fonctionne en réalité en interaction permanente avec le système nerveux central. En effet, le système immunitaire est sensible aux hormones libérées par ou sous le contrôle de l'axe hypothalamo-hypophysaire. L'action anti-inflammatoire des glucocorticoïdes naturels (cortisol, corticostérone) et de synthèse (dexaméthasone) est connue de longue date, mais les leucocytes possèdent aussi des récepteurs pour l'adrénaline, les stéroïdes sexuels, l'insuline, la prolactine, l'hormone de croissance et la thyroxine. Le système immunitaire intègre également des informations nerveuses. Les organes lymphoïdes primaires (thymus, moelle osseuse) et secondaires (rate, ganglions, plaques de Peyer) sont innervés par des terminaisons nerveuses sympathiques et cholinergiques. Les leucocytes possèdent des récepteurs pour la plupart des

neurotransmetteurs libérés par ces terminaisons nerveuses: catécholamines, endorphines, enképhalines, substance P, somatostatine et peptide vasointestinal. La réponse de stress est caractérisée par l'activation de l'axe corticotrope, dont les hormones inhibent l'activité des leucocytes, et la libération de nombreuses autres hormones et neuromédiateurs immunoactifs et immunosuppresseurs (hormone de croissance, prolactine, enképhalines...). Ainsi, l'augmentation transitoire du ratio neutrophiles / lymphocytes dans le sang et l'inhibition de la capacité des lymphocytes sanguins à proliférer sont des indicateurs d'une réponse de stress [44].

e) Stress aigu et chronique

Stress aigu : est considéré comme une exposition brève à un élément fort stressant. Les stress aigus deviennent néfastes lorsqu'ils altèrent des fonctions biologiques qui dépendent d'un timing précis. Quand le timing est perturbé, la fonction normale peut être perdue [42].

Lorsque l'animal est face à un stress aigu, son axe HPA est activé et son taux de cortisol sanguin augmente. Ces situations stressantes peuvent être variées : situation douloureuse, stress social, manipulation, transport, frustration... La décharge du cortisol induite par un stress n'est pas instantanée. Il faut quelques minutes pour que le taux de cortisol se mette à augmenter dans le sang. La sécrétion du cortisol sanguin peut se prolonger jusqu'à une heure après la fin du stress aigu. Le premier prélèvement de sang après un stress se fait donc en général 10 minutes après l'exposition à l'élément stressant [1,42]. De solides preuves scientifiques révèlent que la castration cause de la douleur et de la détresse chez les animaux d'élevage de tous âges. Cela a été démontré dans de nombreuses études qui mesurent les réactions au stress physiologique comme le taux de cortisol plasmatique et le rythme cardiaque [51].

Des scientifiques ont mesuré les taux de cortisol sanguin chez des génisses soumises à des protocoles de manipulation différents (négatif ou positif). Les génisses manipulées de façon négative montrent des augmentations de cortisol sanguin total plus élevées 5, 10 et 15 minutes après avoir été exposées à l'homme et gardent une concentration en cortisol sanguin libre plus élevée l'après-midi suivant l'exposition à l'homme. Les manipulations négatives des génisses provoquent des réponses aiguës au stress lors de la mise en présence de l'homme. L'amplitude de la réponse dépend de l'espèce et du taux de cortisol de base de l'animal. On remarque que des espèces ayant des taux de cortisol au repos très bas, par exemple les bovins (max 15 nmol/L) auront une décharge élevée lors d'un stress (60–200

nmol/L). Alors que des animaux ayant un taux de cortisol au repos élevé (par exemple les porcs), auront une décharge relativement moins élevée lors d'une exposition à un stress. La sécrétion de cortisol n'est pas additionnable. L'exposition à deux éléments stressants ne provoquera pas une sécrétion de cortisol égale à l'addition de celles provoquées par les 2 éléments stressants pris séparément [42].

stress chronique : est communément considéré comme un stress continu, de longue durée. Il est cependant difficile de concevoir qu'un individu soit confronté à un seul stress chronique et ce en continu. La plupart du temps, le stress chronique résulte en une série de stress aigus qui voient leurs coûts biologiques s'additionner et mener l'individu vers un état pré-pathologique qui peut devenir pathologique. Si l'animal est confronté de façon successive à un stress aigu, et que ces successions sont trop proches pour lui laisser le temps de reformer les ressources utilisées, les coûts biologiques accumulés auront un effet délétère sur son organisme. Même si ce stress seul est non-menaçant, son accumulation provoque un état de distress. Ce concept d'addition des coûts biologiques nous permet d'envisager l'effet qu'un second stress aigu peut avoir sur un animal déjà sous l'influence d'un premier stress. L'addition des coûts biologiques de ces deux éléments stressants peut avoir des effets délétères sur l'organisme de l'animal. La période de distress durera jusqu'à ce que l'individu ait récupéré les ressources détournées pour faire face à cette addition de coûts biologiques et qu'il ait restauré les fonctions biologiques (physiques et mentales) qui ont été altérées. Pour étudier les réponses d'un organisme soumis à un stress chronique, il ne faut pas considérer ce stress comme un état constant, invariable. Lors d'un stress chronique, les réponses vont varier. Par exemple, certaines réponses comportementales vont diminuer, en réponse à une adaptation cognitive aux éléments stressants. Des réponses physiologiques vont cesser, revenir à la normale (concentration en cortisol sanguin) ou augmenter (sensibilisation de l'axe HP) [42].

Même si l'exposition au stress se prolonge, le taux de cortisol sanguin décline généralement, suite à la réponse aigüe produite. Alors que les comportements de stress se maintiennent, les taux de cortisol peuvent être revenus à la normale. Selon certaines études, une exposition répétée à plusieurs éléments stressants peut renforcer la réponse face à une nouvelle situation aversive. Un stress chronique sensibiliserait donc l'axe HPA. Face à un même élément stressant, les individus ayant été préalablement exposés de façon répétée à un élément stressant (le même ou un autre), auront une réponse de l'axe HPA plus sensible, une augmentation du cortisol circulant plus forte, que ceux n'ayant pas été préalablement exposés au stress. Selon Bhatnagar et Dallman (1998), cette sensibilité plus forte serait due à une

augmentation de l'activité du cerveau qui régule l'axe HPA. Cependant, d'autres études obtiennent des résultats opposés, Jansens et al. (1995) concluent que l'exposition à un stress chronique tend à diminuer la sensibilité de l'axe HPA. [42].

V. 4. Les hormones chez les vertébrés

Les animaux ont deux systèmes de communication et de régulation interne : le système nerveux et le système endocrinien [1,45,54,89]. Parallèlement au système nerveux, le système endocrinien par feedback contrôle le comportement [1,45]. Les hormones sont des produits chimiques (d'habitude peptides ou stéroïdes) produits par les glandes endocrines et libérés dans le sang. Chaque hormone a des fonctions spécifiques et affecte souvent des organes cibles spécifiques. Les glandes endocrines déclenchent ou arrêtent leurs sécrétions quand il le faut. Le contrôle de la sécrétion des hormones se fait soit par action nerveuse directe, soit par l'action d'autres hormones. Il y a d'habitude une série de faits qui provoque un feedback négatif qui règle le taux d'hormone dans le sang [1,45,49,54]. Les hormones coordonnent des réactions lentes mais à actions prolongées à des stimuli comme le stress, la déshydratation et des glycémies faibles. Les hormones régulent également des processus de développement à long terme en informant diverses parties de l'organisme sur la vitesse de leur croissance et le moment d'apparition des caractères qui, dans une espèce donnée, distinguent le mâle de la femelle ou le jeune de l'adulte. Les effets physiologiques des hormones principales des vertébrés et le rôle du système neuroendocrinien sont l'adaptation des activités de l'organisme à des modifications soudaines des conditions du milieu et de développement [45].

V. 5. Axe HPA et la réponse neuroendocrine au stress

Le stress a été défini comme n'importe quel événement qui résulte d'une augmentation de l'activité de l'axe hypothalamo-pituitary-adrenal (HPA). Les résultats finaux de l'activation de l'axe (HPA) est une augmentation des concentration plasmatique des corticostéroïdes.

Les corticostéroïdes plasmatiques sont souvent explorés expérimentalement pour évaluer la perception par l'animal des situations stressantes variées et cliniquement pour évaluer la fonction de l'axe (HPA) [93,95]. Dans la plupart des études sur le stress, l'activité de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien, (HPA) est la première mesure neuroendocrine effectuée. Chez un animal soumis à des facteurs stressants externe et interne aura des taux élevés

d'adrénaline, de noradrénaline, et de glucocorticoïdes surrénaliens circulants (cortisol et corticostérone) et qui est depuis longtemps assimilée au stress [1,42,95].

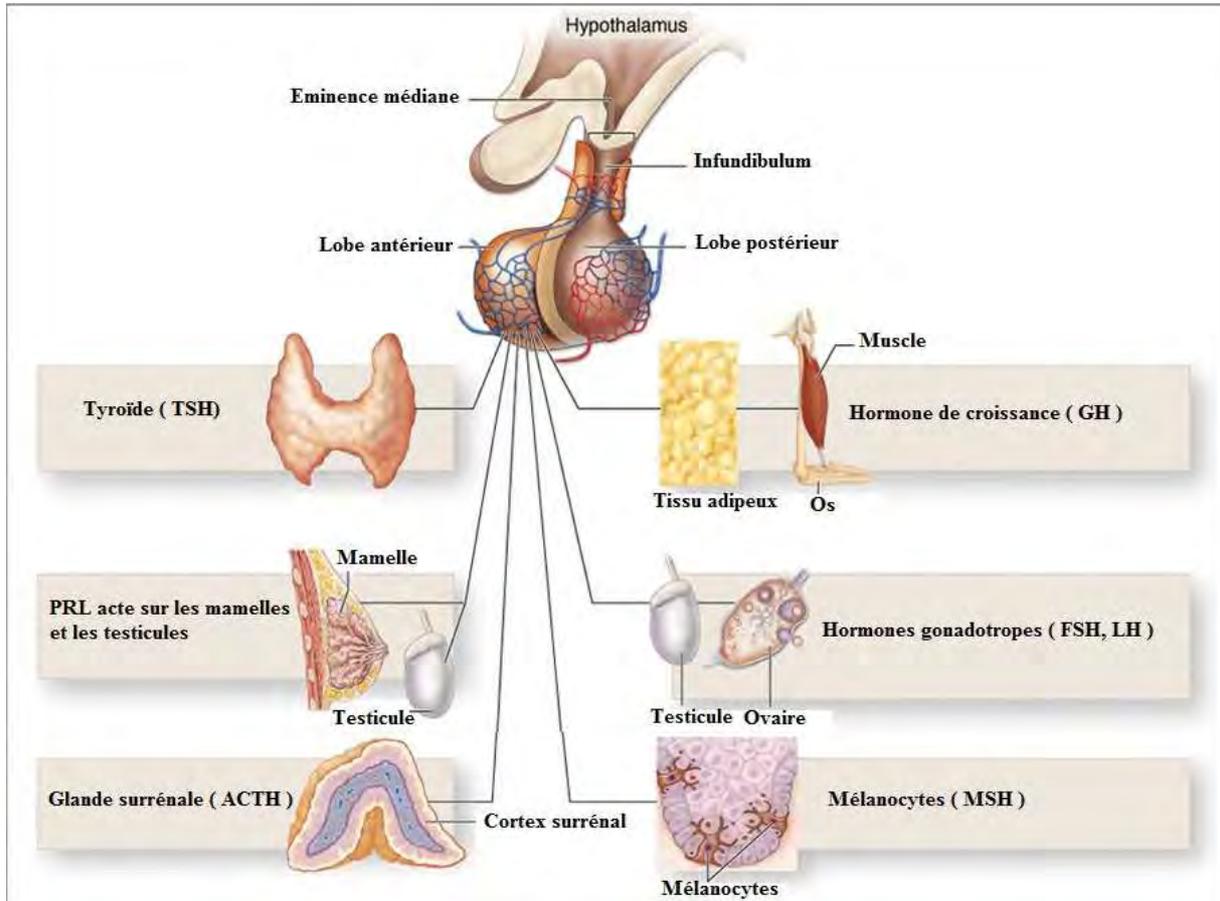


Fig. 34 : Contrôle neuroendocrinien de l'hypothalamus des différents organes et glandes y compris la glande surrénale de l'homme [55].

Durant les périodes de stress l'axe-HPA augmente la production des hormones de stress en agissant sur la glande surrénale qui libère le cortisol avec des taux élevés dans le sang, la salive et les fèces [119].

La neuroendocrinologie étudie la communication entre le système nerveux central et les glandes endocrines. Cette communication s'établit principalement entre l'hypothalamus, l'hypophyse et le système nerveux périphérique. Les axones terminaux des cellules nerveuses de l'hypothalamus libèrent des hormones dans le système circulatoire, via des capillaires qui traversent l'hypophyse. Ces hormones régulent les fonctions de l'hypophyse. L'hypophyse est composée de trois parties : le lobe antérieur, le lobe postérieur et le lobe intermédiaire. La partie antérieure de l'hypophyse sécrète la GH (somatotropine, hormone de croissance), l'ACTH (adrenocorticotropine), la TSH (thyroid-stimulating hormone), la LH (luteinizing hormone), la FSH (folliclestimulating hormone) et la prolactine. Le rôle du lobe intermédiaire dépend de l'espèce concernée. Le lobe postérieur maintient un contact physique

avec l'hypothalamus. Il sert de lieu de stockage pour l'ocytocine et la vasopressine. Le système neuroendocrinien est composé de divers axes. Une des réponses neuroendocrines au stress les plus connus est l'activation de l'axe HPA. Cette réponse provoque la sécrétion d'hormones stéroïdes via la glande surrénale. La corticosurrénale sécrète les glucocorticoïdes (par ex. le cortisol) et les minéralocorticoïdes (par ex. l'aldostérone). La médullosurrénale sécrète l'adrénaline et la noradrénaline. Cette relation entre stress et activation de la corticosurrénale est l'une des premières à avoir été observée par Selye dans les années 30, lors de ses recherches en neuroendocrinologie du stress chez l'animal. L'étude de l'axe HPA et du système nerveux autonome sont les méthodes les plus courantes pour apprécier physiologiquement le niveau de stress. [42,49,54,60,71,95] La physiologie de cet axe HPA est décrite chez la plupart des mammifères (hommes et chevaux compris). Les facteurs de stress activent l'hypothalamus. Lorsqu'il est stimulé, l'hypothalamus sécrète la CRH (corticotropin releasing hormone) [1,42]. Cette hormone agit sur l'hypophyse en régulant sa sécrétion d'ACTH (adrenocorticotropin hormone). Cette ACTH stimule la zone fasciculée de la corticosurrénale. Chez la majorité des animaux domestiques (équidés, bovins, caprins, ovins, porcs, visons, renards), le cortisol y est synthétisé à partir du cholestérol. Chez les oiseaux et les rongeurs, c'est la corticostérone qui est synthétisée. Cette production de cortisol est alors déversée dans le sang. L'augmentation de CRH apparaît quelques secondes après l'exposition à l'élément stressant, l'augmentation d'ACTH après 15 secondes et celle de cortisol sanguin pendant quelques minutes. La CRH ne serait cependant pas la seule hormone à moduler la sécrétion d'ACTH [42,49,54,60,71,95].

V. 5 . 1. Composants et Fonctions de l'axe HPA

a) Hypothalamus

L'*hypothalamus* joue un rôle capital dans l'intégration du système endocrinien et du système nerveux. Cette région du diencéphale reçoit de l'information en provenance des nerfs périphériques et des autres régions de l'encéphale, et amorce une régulation hormonale en fonction des conditions de milieu. Ainsi chez de nombreux vertébrés, certaines régions de l'encéphale transmettent à l'hypothalamus, par l'intermédiaire d'influx nerveux, de l'information sensorielle concernant les changements saisonniers ou la disponibilité d'un partenaire sexuel. L'hypothalamus déclenche alors la libération des hormones sexuelles nécessaires à la reproduction. L'hypothalamus contient deux ensembles de neurones sécrétoires dont les produits hormonaux sont emmagasinés dans l'hypophyse ou régulent l'activité de cette glande. L'hypothalamus produit les peptides et les amines qui influencent la

glande pituitaire pour produire les hormones tropiques (ex : corticotropine), qui à son tour influence la production d'hormone (ex : cortisol), ou les hormones qui causent directement des effets biologiques [45,49,54,60,71,95].

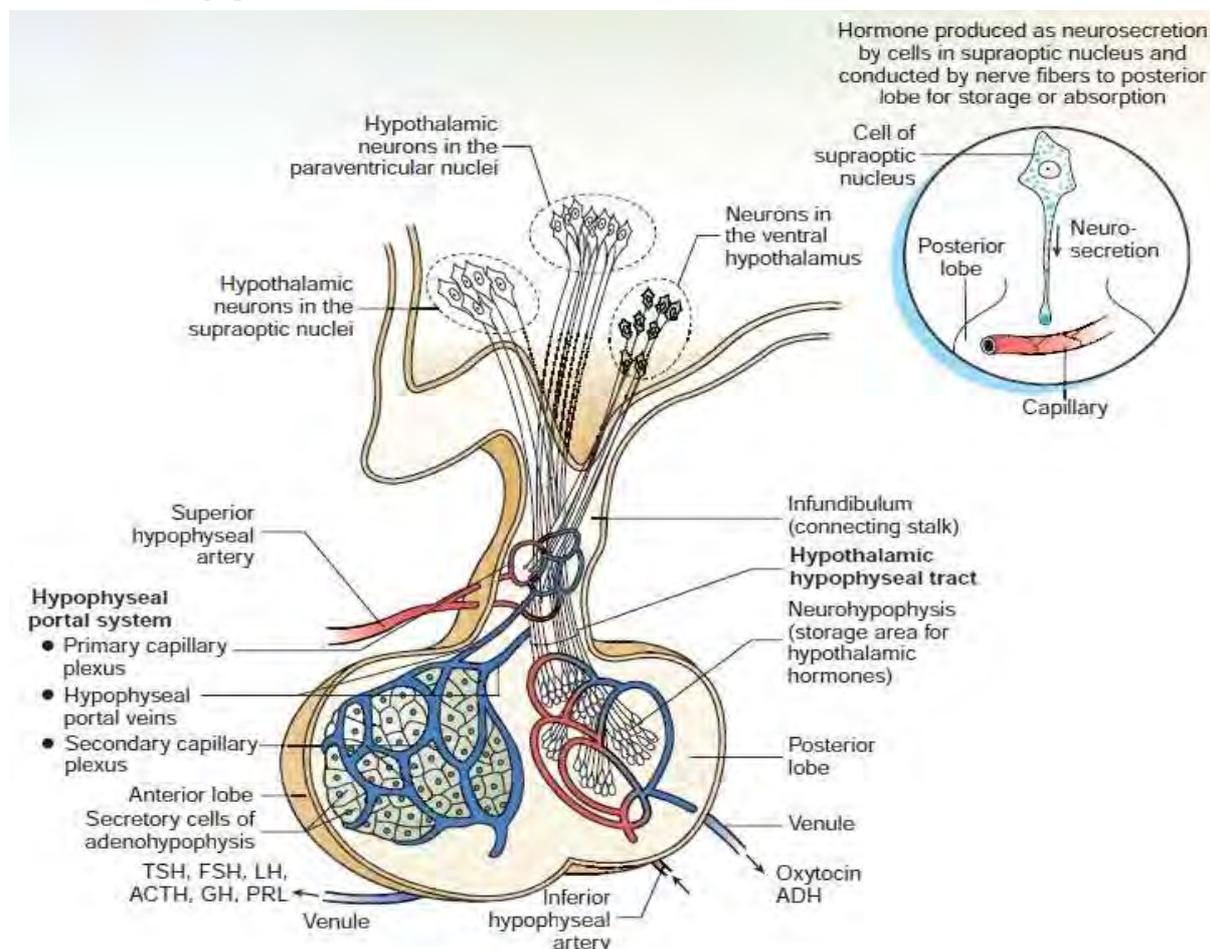


Fig.35 : Hypothalamus, glande pituitaire, vaisseaux associés, et les voies neuro-sécrétrices [49].

b) Hypophyse :

Ce petit organe de la taille d'un haricot situé à la base de l'hypothalamus. Aucun organe n'illustre mieux que l'hypophyse les relations étroites de structure, de fonction et de développement entre le système endocrinien et le système nerveux. Celle-ci comprend deux lobes distincts, antérieur et postérieur, qui sont en fait deux glandes fusionnées et qui ont leurs fonctions respectives :

Le lobe postérieur de l'hypophyse ou neurohypophyse, est un prolongement de l'hypothalamus. Il se forme à partir d'un petit renflement de l'hypothalamus qui descend vers l'invagination de la cavité buccal au cours du développement embryonnaire. La neurohypophyse emmagasine deux hormones fabriquées par certains neurones sécrétoires de l'hypothalamus, et le long processus (axones) de ces cellules transportent les hormones vers elle.

Le lobe antérieur de l'hypophyse, ou adénohypophyse, se forme à partir d'une évagination des tissus embryonnaires constituant le plafond de la cavité buccale ; ce tissu accroît en direction de l'encéphale pour finalement s'y attacher complètement. L'adénohypophyse est composée de cellules endocrines diverses qui synthétisent au moins six hormones qu'elle sécrète directement dans la circulation sanguine. Plusieurs de ces hormones ont pour cibles d'autres glandes endocrines. Les hormones qui règlent la fonction des organes, appelées stimulines, revêtent une importance particulière dans la coordination de la communication hormonale dans tout l'organisme [45,49,54,60,71,95].

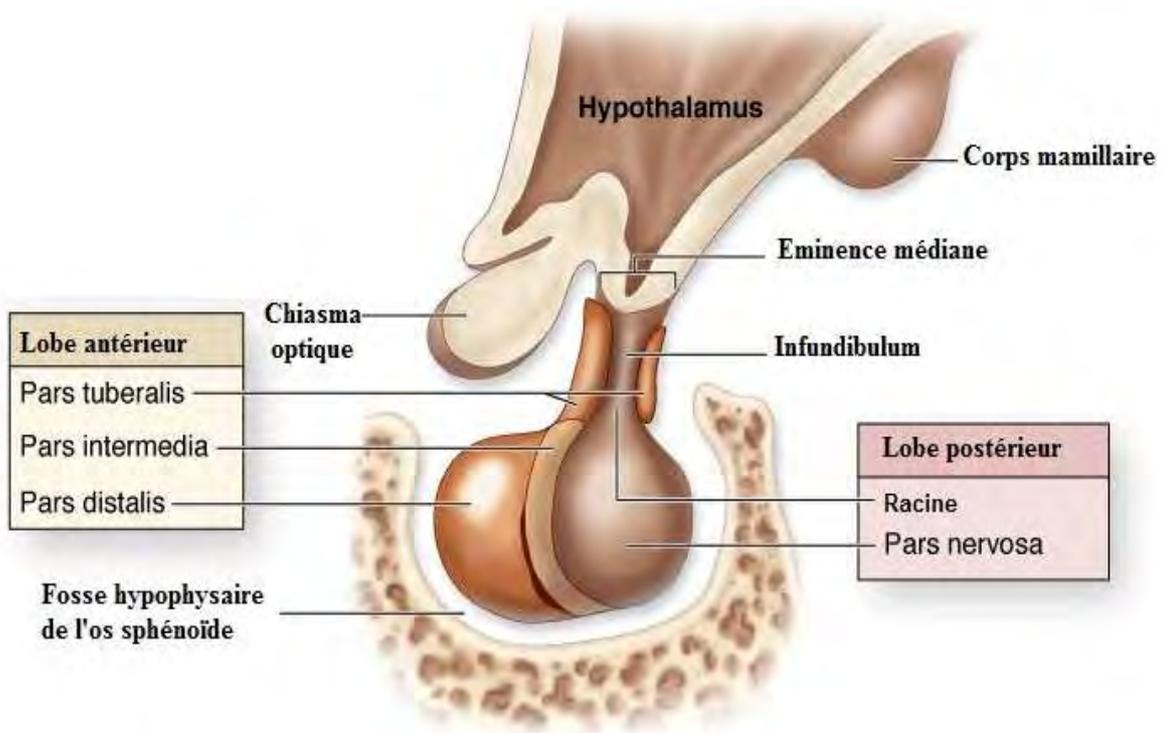


Fig.36 : Hypothalamus et hypophyse de l'homme [55].

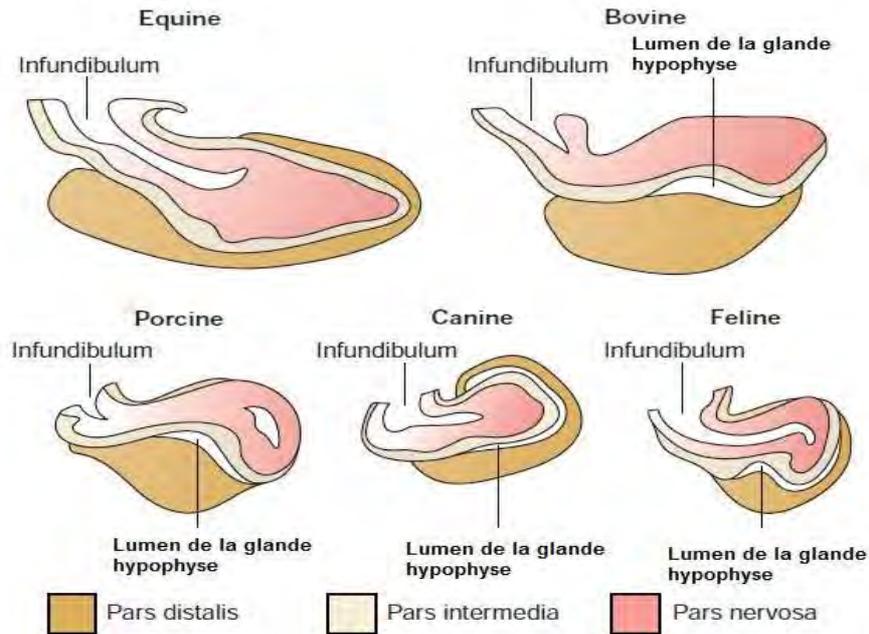


Fig.37 : Comparaison des hypophyses de différentes espèces animales [49].

d) La glande surrénale :

Les glandes surrénales coiffent les reins. Chez les mammifères, chaque glande surrénale est en fait constituée de deux glandes dont les types de cellules, les fonctions et l'origine embryonnaire diffèrent :

Le cortex surrénal, ou portion externe, et la médulla surrénale, ou portion interne. A l'instar de l'hypophyse, chaque glande surrénale se compose d'une glande endocrine et d'une glande neuroendocrine. Le cortex surrénal est constitué de vraies cellules endocrines, alors que les cellules sécrétrices de la médulla surrénale dérivent de la crête neurale au cours du développement embryonnaire [45,49,54,60,71].

Les catécholamines de la médulla : Lorsque les animaux perçoivent un danger ou se préparent à affronter une situation difficile, leur fréquence cardiaque augmente ainsi que la fréquence respiratoire... ces phénomènes font partie de la réaction « de lutte ou de fuite » provoquée par deux hormones élaborées par la médulla surrénale, l'adrénaline et la noradrénaline. Ces hormones font partie de la classe de composés, qu'on appelle les catécholamines et qui sont synthétisés à partir de l'acide aminé qu'est la tyrosine. L'adrénaline et la noradrénaline jouent également un rôle comme neurotransmetteurs dans le système nerveux. Un facteur de stress positif ou négatif (pouvant aller d'un plaisir extrême à la prise de conscience d'un danger mortel) stimule la sécrétion de l'adrénaline et de la noradrénaline par la médulla surrénale. Ces hormones agissent directement sur plusieurs

tissus cibles et fournissant une poussée bioénergétique. Elles accélèrent la dégradation du glycogène dans le foie et les muscles squelettiques, et provoquent la libération du glucose par les hépatocytes ainsi que la libération des acides gras par adipocytes, ce glucose et ces acides gras circulent dans le sang et les cellules de l'organisme peuvent les utiliser comme source d'énergie. Outre qu'elles augmentent la disponibilité des sources d'énergie, l'adrénaline et la noradrénaline ont des effets importants sur les systèmes cardiovasculaire et respiratoire en augmentant la fréquence cardiaque et respiratoire en dilatant les bronchioles des poumons, ce qui accélère le transport du O₂. Les catécholamines provoquent aussi la contraction des muscles lisses de certains vaisseaux sanguins et le relâchement de certains autres, ce qui diminue l'apport du sang à la peau, aux intestins et aux reins, et augmente le débit vers le cœur, l'encéphale et les muscles squelettiques. L'adrénaline agit principalement sur la fréquence cardiaque et le métabolisme, alors que le rôle primordial de la noradrénaline consiste à garder la pression artérielle constante. La sécrétion par la médulla surrénale est stimulé par des influx nerveux transportés à partir de l'encéphale par l'intermédiaire de la partie sympathique du système nerveux autonome. Sous l'effet d'un stimulus de stress, l'hypothalamus produit des impulsion nerveuses qui se rendent à la médulla surrénale, où elles déclenchent la libération de l'adrénaline [45,49,54,60,71,95].

Les hormones stéroïdes du cortex surrénal : Les hormones du cortex surrénal jouent également un rôle dans la réponse de l'organisme au stress. Mais contrairement à la médulla surrénale qui réagit à des influx nerveux, le cortex surrénal répond à des stimuli hormonaux. Sous l'effet d'un stimulus de stress, l'hypothalamus produit une hormone de libération qui provoque la libération de l'ACTH(stimuline) par l'adénohypophyse. Lorsqu'elle atteint le cortex surrénal en passant par la circulation sanguine, l'ACTH agit sur les cellules endocrines qui synthétisent et sécrètent une famille d'hormones stéroïdes appelées corticostéroïdes. Les concentrations élevées de corticostéroïdes dans le sang arrêtent la sécrétion de d'ACTH, ce qui constitue un autre exemple de retro-inhibition. Chez les mammifères les principaux corticostéroïdes sont les glucocorticoïdes, comme le cortisol, et les *minéralocorticoïdes*, comme l'aldostérone. Il est de plus en plus évidant que les glucocorticoïdes et les minéralocorticoïdes permettent le maintien de l'homéostasie quand l'organisme subit un stress. Les glucocorticoïdes agissent principalement sur la bioénergétique, notamment le métabolisme du glucose. Les glucocorticoïdes augmentent la glycémie. Ils favorisent la synthèse du glucose à partir de sucre qui ne sont pas des glucides, mais qui sont notamment des lipides et des acides aminés. De plus les glucocorticoïdes rendent les cellules adipeuses et

les cellules musculaires au repos résistantes à l'insuline, ce qui empêche le glucose d'être avalé par ces dernières cellules et augmente la réserve de glucose disponible dans le sang pour d'autres types de cellules, comme celle de l'encéphale [45,49,54,60,71,95].

V. 6. Le cortisol

V. 6. 1. Structure biochimique, Synthèse et Rôles biologiques

Le taux de cortisol est utilisé pour évaluer l'activité de l'axe HPA, que cela soit chez l'homme, chez les animaux domestiques ou chez les animaux sauvages. La concentration sanguine en cortisol est utilisée comme une mesure indirecte du stress dans beaucoup d'espèces, comme par exemple chez le mouton, chez le chien, chez les bovins ou chez le cheval [42,92,93,95, 119]. Le cortisol, également appelé hydrocortisone, est un stéroïde, principal représentant du groupe des hormones glucocorticoïdes. Son nom complet est le 4-Pregnène-11 β ,17,21-triol-3,20-dione. Sa masse molaire est égale à 362.46 g/mol [42].

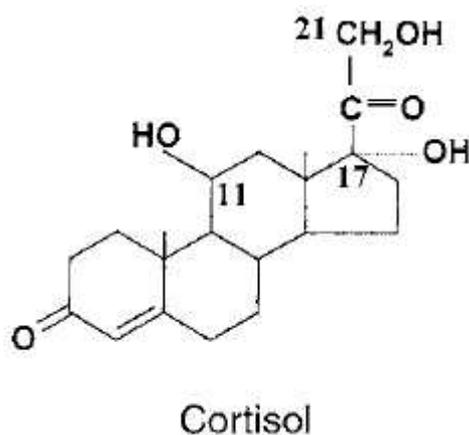


Fig. 38 : Formule développée du cortisol [95].

Dans le sang, la majorité du cortisol sécrété se lie à de larges protéines : l'albumine et la CBG (cortisol binding globuline, aussi appelée transcortine). La liaison aux protéines transporteuses est réversible. La minorité restée libre est celle qui est biologiquement active. La CBG régule la disponibilité du cortisol en l'empêchant de sortir des vaisseaux sanguins. Seul le cortisol non lié aux protéines peut traverser les membranes des vaisseaux sanguins. La CBG permet donc de garder une réserve de cortisol dans le sang. Cette réserve est capable d'être progressivement libérée si la fraction libre disparaît. Les protéines liantes ont donc un

rôle de tampon qui empêche des variations rapides de la concentration d'hormone libre disponible. La concentration totale en cortisol dans le sang est contrôlée non seulement par le taux de production de cortisol mais également par les processus d'élimination et de transport dépendant du taux de saturation de la CBG. En situation normale, la CBG est presque saturée. Ce degré de saturation varie selon les espèces. Lors d'un stress léger, l'augmentation de la concentration en cortisol peut passer inaperçue dans un dosage du cortisol libre, car cette légère augmentation commencera d'abord par saturer la CBG. Cet artéfact est éliminé si on dose le cortisol total. Lors d'un stress important, alors que la quantité de cortisol total doublera, le cortisol libre lui, augmentera de façon plus impressionnante. Chez le cheval domestique, les pourcentages de cortisol libre (10-15%), lié à l'albumine (10-20%) et lié à la CBG (70-80%) ont été estimés par Gayrard et al. (1996). Le cortisol libre, qui peut aisément traverser les membranes biologiques, constitue la fraction biologiquement active agissant sur les tissus et intervenant dans le rétrocontrôle hypothalamo-hypophysaire. En résumé, le cortisol a une activité catabolique (protéolytique et lipolytique) dans les tissus périphériques et une activité anabolique dans le foie, dont la glycogénèse et la synthèse des protéines. Puisque le cortisol réduit l'entrée de glucose dans les cellules, il augmente le glucose sanguin et la sécrétion d'insuline [42,93,95]. les activités métaboliques des glucocorticoïdes sont :

1. augmentation de la glycogénèse dans le foie
2. diminution de l'utilisation périphérique du glucose
3. augmentation de la protéolyse dans les muscles squelettiques
4. augmentation du niveau des acides aminés circulants
5. augmentation de la mobilisation des acides gras libres
6. produit un effet anti-inflammatoire
7. produit un effet antiallergique
8. diminution de la fonctionnement du système immunitaire [71].

V. 6. 2. Les facteurs influençant la sécrétion du cortisol

a) Le rythme nyctéméral

En général, chez les mammifères, la production de cortisol suit un rythme nyctéméral (lié à l'alternance jour / nuit). Chez la plupart de animaux diurnes, les concentrations fluctuent tout au long de la journée : elles sont élevées le matin et faibles le soir. On observe souvent une augmentation importante de la concentration en cortisol sanguin en fin de nuit, juste avant le réveil [42].

b) L'effort physique et l'activité sexuelle :

L'élément stressant n'est pas l'apanage de l'augmentation de la concentration en cortisol. Hormis l'alternance jour/nuit divers autres facteurs peuvent stimuler l'axe HPA. Il faut donc en tenir compte lors des études visant à mesurer un stress. Après un effort physique, la concentration en cortisol augmente. Quelle que soit l'intensité ou la durée de l'effort physique, une augmentation du cortisol plasmatique est observée. Creighton et al. (2004) ont testé le cortisol salivaire avant et après un effort physique. Leurs résultats montrent que le taux de cortisol salivaire est plus élevé 30 min après l'effort. Ils répètent cette expérience en 2006 et obtiennent les mêmes résultats pour une heure d'exercice léger. Cette augmentation en cortisol lors d'un effort physique dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice ainsi que de l'état de santé de l'animal. Des augmentations en cortisol sanguin ont également été observées après une activité sexuelle ou tout simplement lorsqu'un étalon entend d'autres étalons stimulés sexuellement [42].

c) Le rythme saisonnier

Hormis la variation nyctémérale, influencée par l'alternance jour/nuit ou activité/repos, on observe des variations saisonnières du taux de cortisol, chez les juments en gestation, ainsi que chez des poneys et juments saines. D'autres espèces voient leur axe HPA influencé par les changements de saisons. C'est le cas du mouton, chez qui l'on a observé des élévations des taux d'ACTH sanguin chez le bélier en été [42].

d) Les espèces, les races

Les mécanismes d'adaptation et les réponses au stress sont très variables selon les espèces, les races et les individus. Les variations individuelles de l'activité de l'axe HPA sont également d'ordre génétique, comme le montrent des études comparant des familles et des jumeaux chez l'homme, diverses lignées de rongeurs de laboratoire et diverses races d'animaux domestiques. Certaines races seront plus sensibles au stress que d'autres (stress de confinement, stress de changement de température...). Ces études sont importantes pour la sélection de races mieux adaptées à certains types d'élevages. Dans une étude sur le stress induit par la séparation chez des génisses, les scientifiques ont trouvé des augmentations en cortisol plasmatique qui varient selon la race des bovins. Donaldson et al. (2005) ne trouvent pas de différence significative entre le taux d'ACTH et de cortisol chez des poneys ou des chevaux. Cependant, une autre étude a mis en évidence un taux d'ACTH sanguin plus élevé chez les chevaux que chez les poneys. Cette sensibilité au stress peut être génétiquement influencée par des différences de disponibilité du cortisol sanguin. En effet, le polymorphisme

du gène codant pour la CBG, ou l'efficacité des récepteurs cellulaires peuvent influencer la concentration en cortisol sanguin circulant [42].

e) L'individu

Les niveaux de base des paramètres physiologiques des individus varient selon divers facteurs. Il n'est pas rare que la variation inter-individus de ces paramètres physiologiques soit plus importante que la variation perçue chez un individu entre son taux de base et celui lors de l'expérimentation. Les mesures individuelles de cortisol restent cependant très utiles pour évaluer la réponse au stress, à condition de les comparer à des taux de cortisol de contrôles, valeurs de base, servant de référence à l'individu [42].

Selon des données recueillies sur des brebis, montrant que les brebis nerveuses ont une réponse au stress plus forte que les brebis calmes, mesurés par leur agitation et les niveaux de cortisol plasmatique, lorsqu'elles sont exposés à un nouveau stress ou quand elles ont prévu un événement stressant. Ces résultats suggèrent que les brebis nerveuses ont non seulement une différence dans les réponses au stress, mais aussi un niveau différent d'"anxiété". [53]

Une autre étude conclut que l'âge et le niveau d'entraînement diminuent la réponse en cortisol sanguin lors d'un exercice intense. A l'inverse, Cavallone et al. (2002) n'ont pas trouvé de variation selon le sexe et l'âge. Donaldson et al. (2005) trouvent peu d'influence du sexe sur l'activité de l'axe HPA. Le passé des individus est également important. Malheureusement, il est rare de connaître le passé des individus lorsque l'on travaille avec des animaux adultes [42].

L'état physiologique de l'individu influence également l'activité de l'axe HPA (gestation, allaitement, pathologie...). Une étude récente a montré qu'une infection expérimentale par des endotoxines associées aux mammites chez des vaches, que le taux de cortisol est significativement plus élevé chez les vaches souffrant de mammites dans les 24 heures qui suivent l'infection que chez les vaches saines [97].

Aussi l'expérience passée, en effet la confiance repose avant tout sur l'expérience antérieure, où que l'expérience n'a pas été constamment négative pour l'animal. Les expériences négatives induisent également une réponse au stress anticipatoire sur la représentation de la même situation [10].

Deuxième partie :
Etude expérimentale

I. Choix des animaux

Le cheval et le bovin ont été choisis comme espèces modèles pour notre étude car ils constituent deux échantillons d'animaux qui ont un contact très large avec l'homme ; soit pour des soins journaliers dans les deux cas ou bien lors de l'exercice pour les chevaux de sport ou lors de la traite pour les vaches laitières. Ceci exige une bonne connaissance de ces animaux sur les plans anatomique, physiologique et pathologique dans le but évident de tirer le maximum de productivité et de rendement chez ces deux espèces, qui ont un grand intérêt économique. Le cheval présente en outre un intérêt culturel traditionnel. La réaction de ces animaux aux variations du milieu est fortement basée sur leurs aptitudes sensorielles et mentales, qui sont respectivement représentées par les organes de sens (vision, ouïe, toucher et olfaction) d'une part et par le degré de développement et de perfectionnement de l'encéphale d'autre part. Le poids de l'encéphale est un indicateur sur leur développement psychique et est en relation avec le poids corporel ; à noter que pour ces deux espèces le poids corporel est très proche. Le cheval est actuellement un animal de compagnie, il est considéré comme animal de fuite grégaire et a fait l'objet de plusieurs études récentes sur le tempérament et les réactions émotionnelles ; une étude comparative avec une autre espèce animale de la même classe (mammifère) , herbivore domestiqué et utilisé par l'homme, va permettre d'évaluer leurs réactions émotionnelles et endocrines dans une situation de repos et face à un stress aigu.

II. Objectifs

Objectif 1: nous allons noter les différences des réactions comportementales et émotionnelles dans le cas d'un stress provoqué chez le cheval et le bovin et de chercher en parallèle les différences neuroanatomiques et physiologiques qui peuvent nous aider à les expliquer.

Objectif 2 : Mesurer le niveau de stress et de sensibilité aux variations de milieu environnants, en exposant les animaux à des situations de stress aigu créé par l'examineur, comme l'exposition à un être humain, à un nouvel objet, à un cas de soudaineté, manipulations négatives, et de chercher l'effet du stress sur l'axe hypothalamo-hypophyso-corticosurrénal par mesure du taux de cortisol plasmatique avant puis après l'exposition au stress chez le cheval et le bovin.

Objectif 3 : Chercher si ces différences comportementales et émotionnelles ont comme origine le développement de certaines structures encéphaliques centrales, ou d'origine périphériques (organes sensoriels).

III. Travaux effectués sur les pièces anatomiques

Il s'agit essentiellement de travaux de dissection qui sont répartis sur plusieurs séances et ont donc nécessité deux têtes pour chaque espèce animale, lesquelles sont parfois difficiles à obtenir. Si une tête de bovin est facile à obtenir, ceci n'est pas le cas d'une tête de cheval, étant donné la quasi inexistence d'abattoirs équins à l'échelle nationale.

Nous avons eu recours à l'abattoir d'El-Harrach à Alger pour se procurer ces deux têtes de chevaux mais sans que nous n'ayons pu choisir les animaux à exploiter. Les dissections pratiquées sur ces deux organes se sont finalement déroulées sur une période de 3 mois, de mars à mai 2013.

III. 1. Matériel et méthode

III. 1. 1. Matériel utilisé

Une partie du matériel utilisé employé pour la dissection servira à démonter les structures osseuses :

- ✓ Un bistouri, lame 22
- ✓ Une pince anatomique à dents de souris
- ✓ Une paire de ciseaux, droits et courbes
- ✓ Une pince anatomique mousse
- ✓ Pinces hémostatiques
- ✓ Une pince coupante
- ✓ Une scie

III. 1. 2. Protocole de la dissection

Nous avons essayé de procéder aux dissections successives de la façon la plus homogène possible, nous décrirons succinctement ici les étapes successives de la préparation et de la dissection.



Photo.1 : Une partie du matériel utilisé pour la dissection.

III. 1. 3. Préparation des têtes à la dissection

Injection réplétive du système artériel : L'injection du système artériel, faite dans le sens du courant, est facile. Selon la viscosité plus ou moins grande de la masse employée, elle intéressera des ramifications de diamètre plus ou moins petit. Les masses pour injection vasculaire renferment en effet une substance de base destinée à se solidifier dans la lumière vasculaire après évaporation du solvant qui en permet l'introduction et un colorant. Elle permet la conservation et la visualisation des artères, pour cela on doit disposer : d'un récipient contenant une solution formolée à 10 %, mélangée avec la gouache, d'un récipient contenant du plâtre.

Pour l'injection du produit de la préparation on a utilisé une seringue de 4 ml implantée au niveau de l'artère carotide commune. Lorsque l'injection est terminée on a ligaturé le vaisseau à l'aide d'une pince hémostatique pour éviter le retour du produit sous pression.

III. 1. 4. Etapes préliminaires de la dissection

Toutes nos dissections ont commencé par le retrait de la peau de la tête de l'animal. Celles-ci ont été réalisées à l'aide d'un bistouri. Une fois que la peau ait été retirée, nous

mettons en évidence le plan sous-cutané et pour arriver à la boîte crânienne on a dû enlever le maximum de muscles et les tissus conjonctifs avoisinants. Il faut préalablement désarticuler les deux mandibules avant de procéder à l'ouverture de la boîte crânienne, on a coupé enfin, transversalement et perpendiculairement au niveau des volutes de l'ethmoïde, le chanfrein pour accéder in-situ à l'intérieur de la cavité crânienne et procéder à l'extraction de l'encéphale en vue des étapes suivantes. Avant la dissection des encéphales on mesure leurs poids ainsi que le poids des glandes hypophyses, les résultats sont représentés dans le tableau suivant : (**P.Hyp** = poids hypophyse, **P. En** = poids encéphale)

| Animal | Cheval 1 | Cheval 2 | Bovin 1 | Bovin 2 |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Source Et date | abattoir d'El-Harrach 28 mars 2013 | abattoir d'El-Harrach 13. juin 2013 | abattoir de Mila 30 mars 2013 | abattoir de Mila 17 juin 2013 |
| Sexe et âge | Mâle âgé de 6 ans | Mâle âgé de 6 ans | Mâle âgé de 18 mois | Mâle âgé de 21 mois |
| Poids de la carcasse | 213 Kg | 203 Kg | 204 Kg | 240 Kg |
| Poids de l'encéphale | 589.6 g | 565.55 g | 425.26 g | 405.9 g |
| Poids de l'hypophyse | 1.69 g | 1.71 g | 1.67 g | 1.68 g |
| P.En / P. carcasse % | 0.27 | 0.27 | 0.20 | 0.16 |
| P.Hyp /P. En % | 0.28 | 0.30 | 0.38 | 0.41 |

Tableau. 2 :Tableau récapitulatif (poids) des organes utilisés.

Remarque :

Les photos prises lors de la dissection sont traitées à l'aide d'un logiciel *adobe Photoshop CS6* portable pour modifier l'arrière plans sans faire modifier la forme des organes sur les photos réalisées.

III. 2. Dissection des têtes utilisées

Ci-dessous les deux têtes de cheval arabe barbe et deux têtes de bovin montbéliarde



Photo. 2 : Tête de cheval avant sa dissection.



Photo.3 : Tête de bovin avant sa dissection.



Photo. 4 : Tête de cheval disséquée.

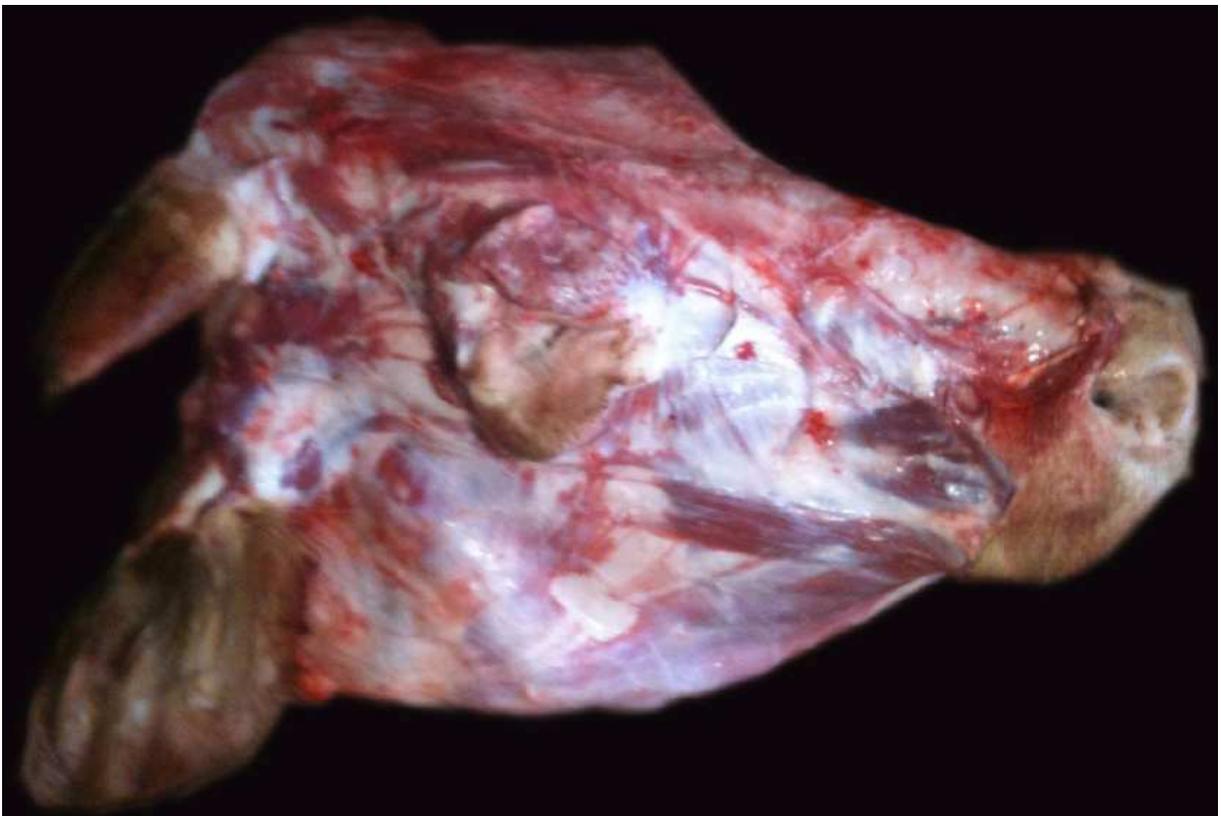


Photo.5 : Tête de bovin dépouillée.



Photo.6 : Tête de cheval après une coupe verticale au niveau du chanfrein, vue de face.

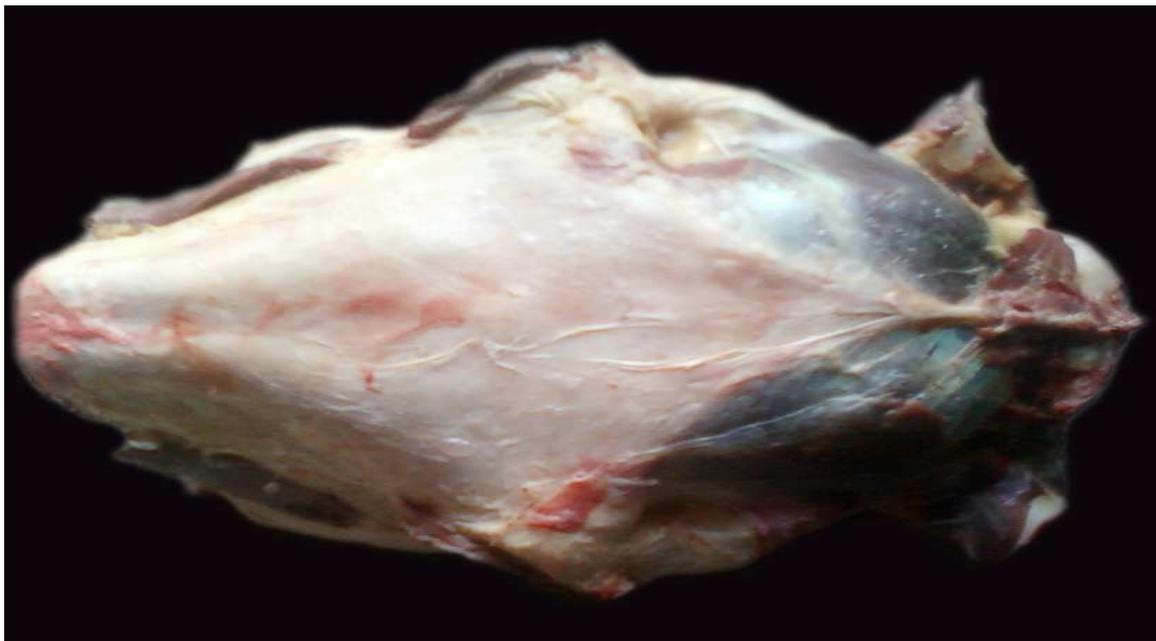


Photo.7 : Tête de cheval après une coupe verticale au niveau du chanfrein : vue dorsale.

III. 3. Résultats et discussion

Dissection de l'encéphale : Le fait que l'encéphale soit un organe très complexe, nous avons pratiqué des coupes longitudinales et des coupes horizontales pour visualiser les structures internes, latérales et médiales de l'encéphale, ce qui permet de bien distinguer les variantes anatomiques et de bien décrire les différences structurelles macroscopiques existantes.

III. 3. 1. Face dorsale de l'encéphale

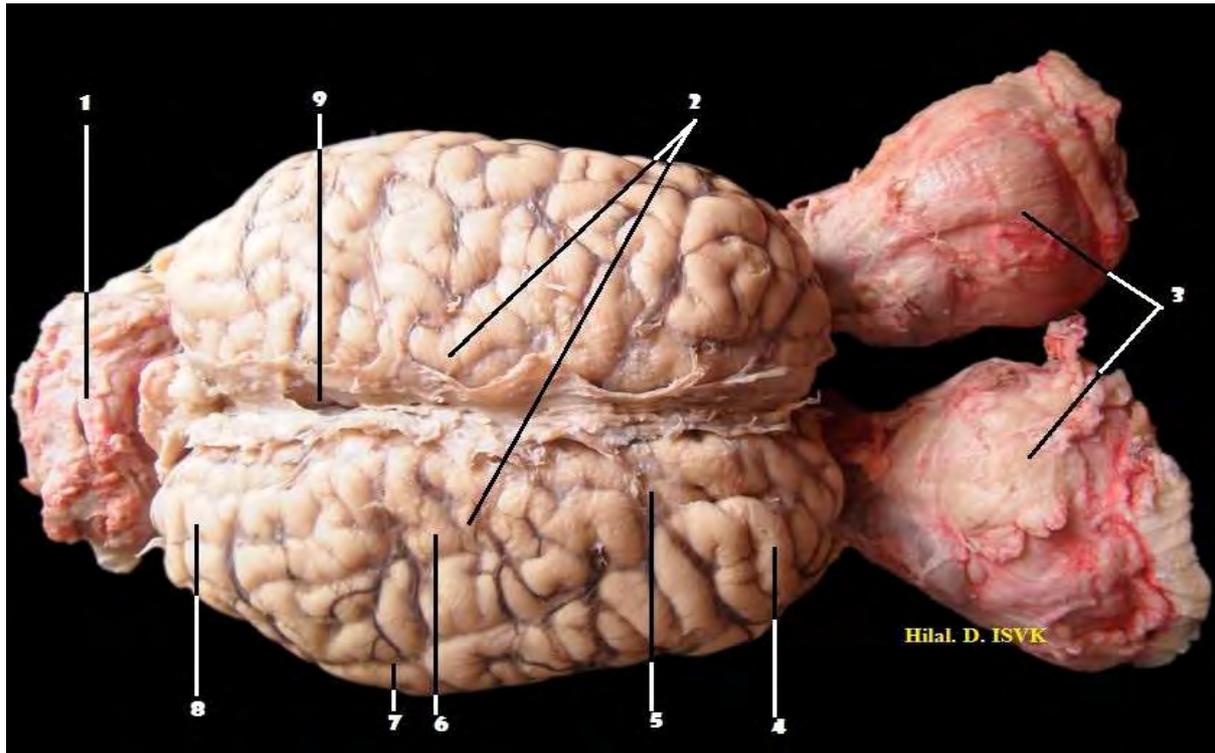


Photo.8 : Encéphale du cheval « vue dorsale ».

1) cervelet, 2) cerveau : hémisphères cérébraux, 3) globes oculaires, 4) lobe frontal, 5) pie-mère, 6) lobe pariétal, 7) lobe temporal, 8) lobe occipital, 9) fissure cérébrale longitudinale inter hémisphérique.

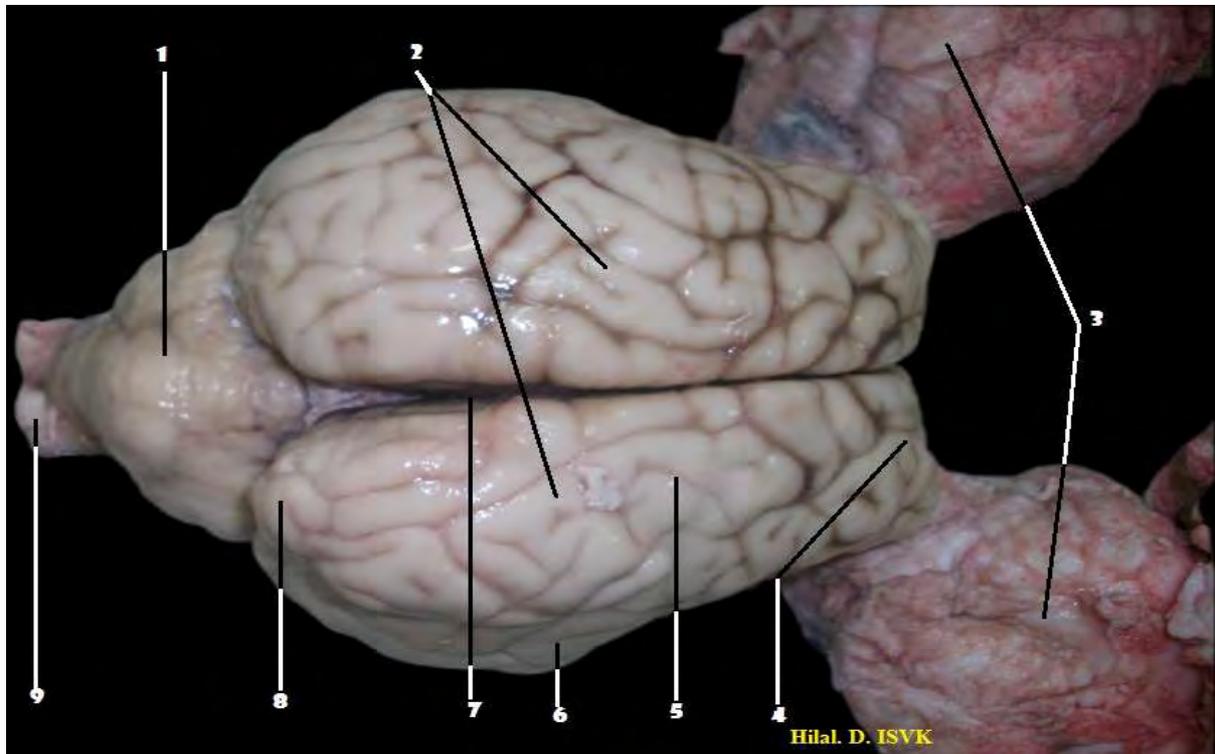


Photo.9 : Encéphale du bovin « vue dorsale ».

1) cervelet, 2) cerveau : hémisphères Cérébraux, 3) globes oculaires, 4) lobe frontal, 5) lobe pariétal, 6) lobe temporal, 7) fissure cérébrale longitudinale inter hémisphérique, 8) lobe occipital, 9) moelle allongée.

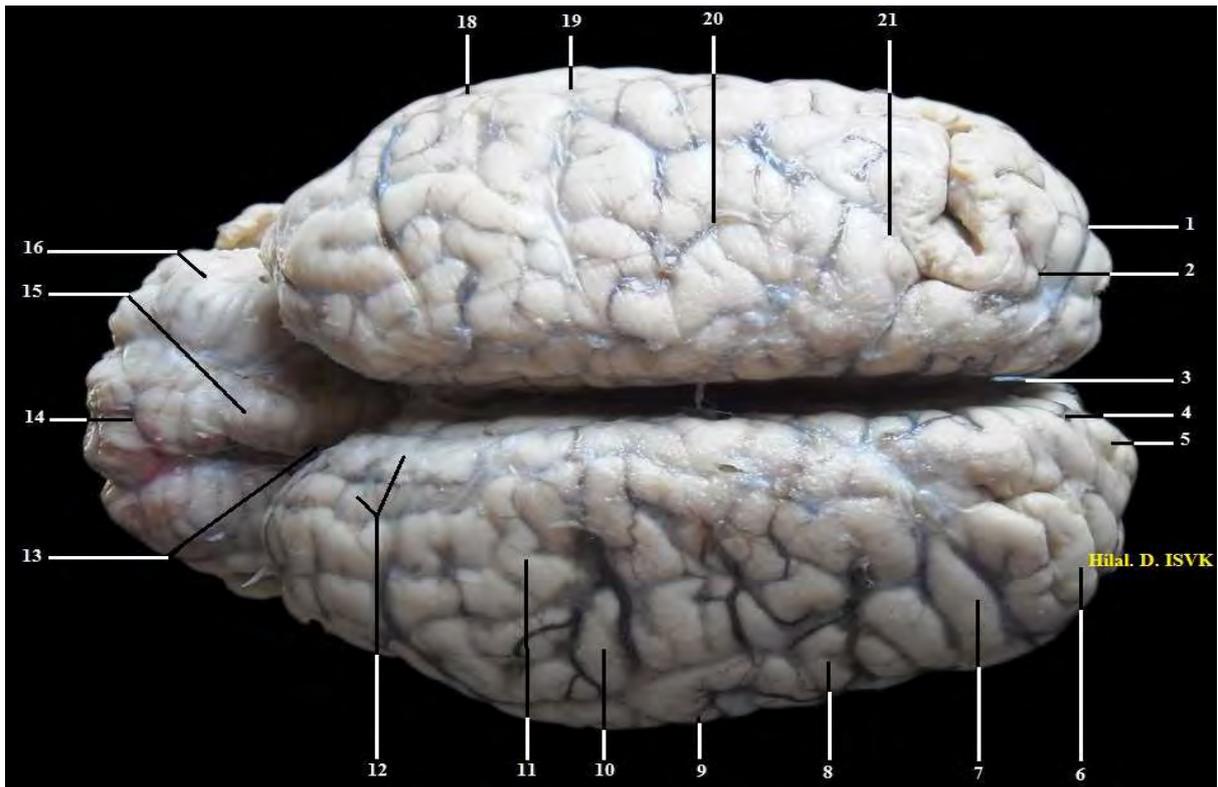


Photo.10 : Encéphale de cheval « vue dorsale ». 1) sillon présylvien 2) sillon coronal 3) fissure longitudinale de cerveau 4) gyrus précentral 5) gyrus proreus 6) gyrus composé rostral 7) gyrus ectosylvien rostral 8) gyrus ectosylvien rostral 9) gyrus ectosylvien caudal 10) partie latérale du gyrus ectomarginal 11) partie médiale du gyrus ectomarginal 12) gyrus marginal ou sagittal 13) fissure transverse du cerveau 14) cervelet (pyramide du vermis) 15) cervelet (vermis) 16) cervelet hémisphère gauche 18) sillon suprasylvien caudal 19) sillon oblique 20) sillon ectomarginal 21) rameau anastomotique du sillon suprasylvien moyen.

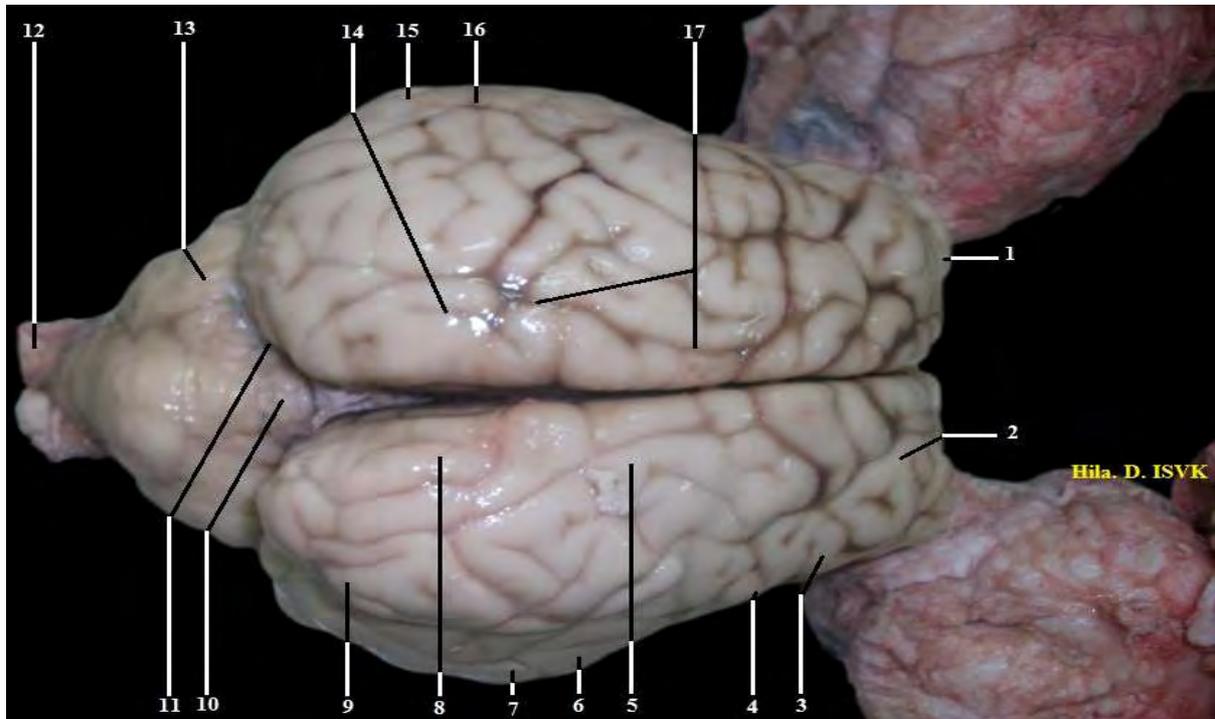


Photo.11 : Encéphale de bovin « vue dorsale ». 1) gyrus proreus 2) gyrus ectomarginal 3) gyrus ectosylvien rostral 4) gyrus oblique rostral 5) gyrus ectomarginal 6) gyrus oblique caudal 7) gyrus ectosylvien caudal 8) gyrus marginal 9) gyrus composé caudal 10) cervelet vermis 11) fissure transverse du cerveau 12) moelle

allongée 13)cervelet hémisphère gauche 14) sillon endomarginal 15) sillon suprasylvien caudal 16) sillon suprasylvien moyen 17) sillon margina ou sagittal.

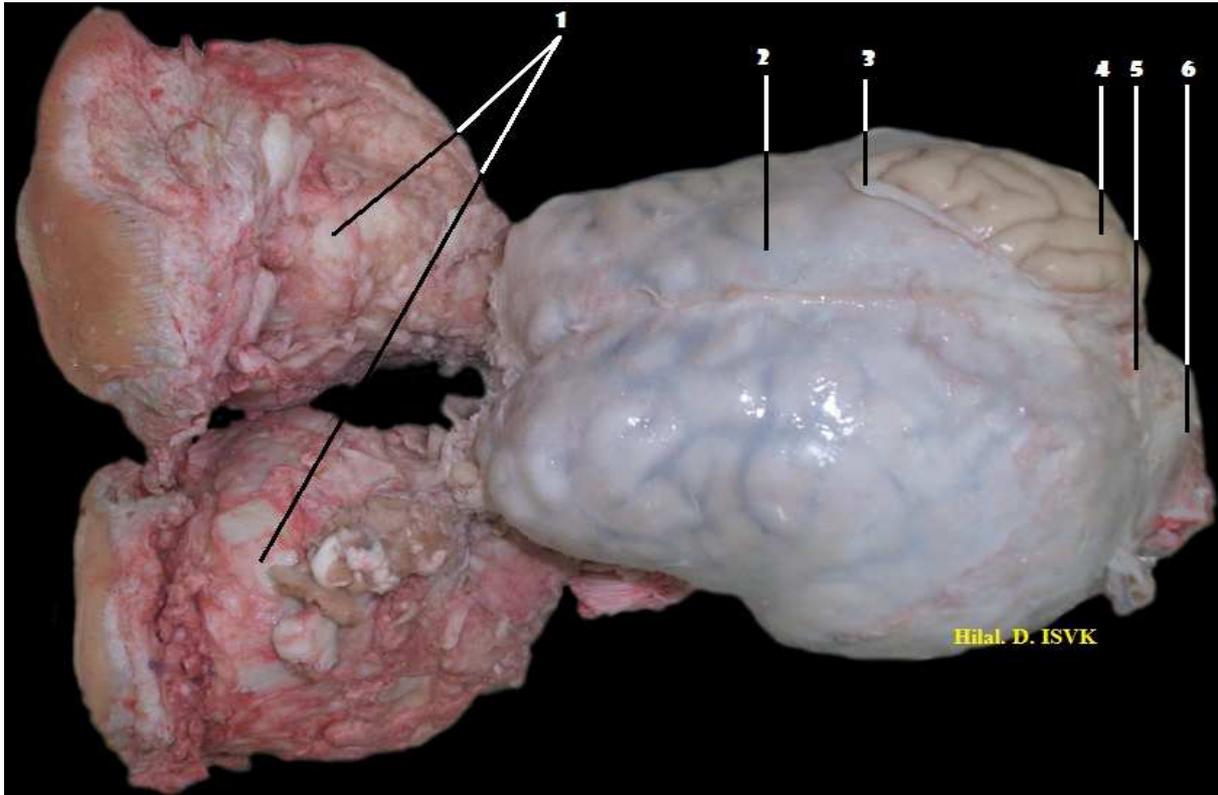


Photo.12 : Encéphale de bovin recouvert par la dure- mère. 1) Globes oculaires, 2) cerveau, 3) dure- mère, 4) lobe occipital, 5) tentorium cérébelleux, 6) cervelet.

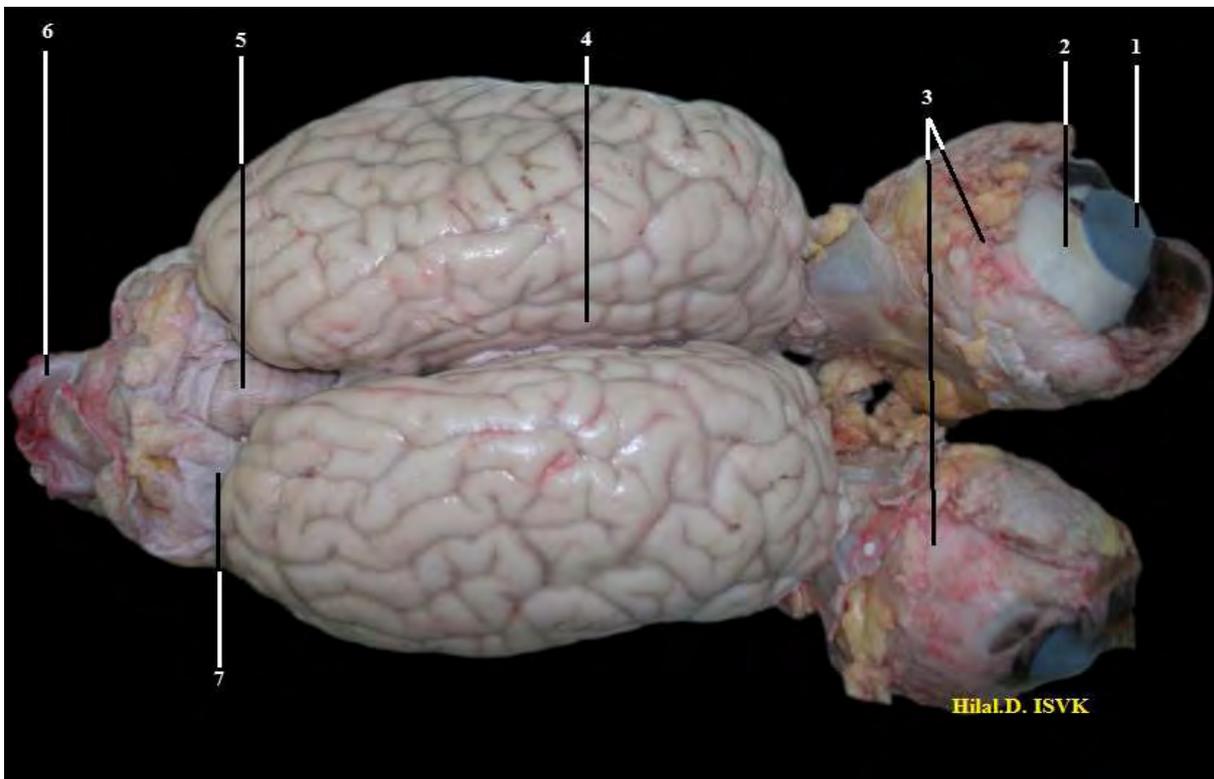


Photo. 13: Encéphale de cheval « vue dorsale ». 1) cornée, 2) sclère, 3) globes oculaires, 4) lobe limbique. 5) vermis du cervelet, 6) dure- mère, 7) fissure transverse de l'encéphale.

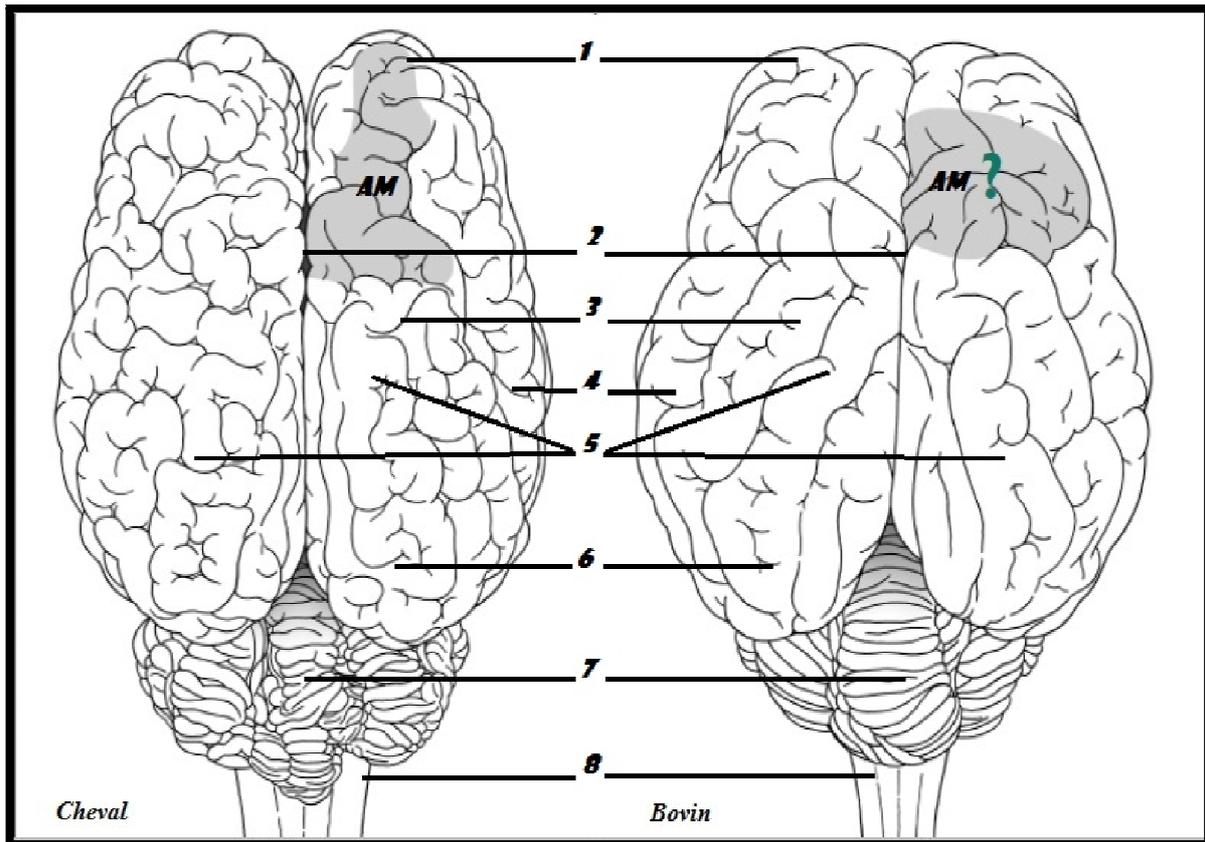


Fig. 39 : illustration schématique de l'aspect dorsal de l'encéphale de cheval et de bovin montrant le cortex moteur (les zones ombrées). La marque d'interrogation qui couvre le cortex moteur du bovin indique que l'illustration est spéculative. AM aires motrices, 1) lobe frontal, 2) fissure cérébrale longitudinale inter-hémisphérique, 3) lobe pariétal, 4) lobe temporal, 5) cerveau : hémisphères cérébraux, 6) lobe occipital, 7) cervelet, 8) moelle allongée [38].

Particularités présentes :

On remarque sur les photos précédentes (face dorsale) que l'encéphale de cheval a une forme plus ovoïde que celui de bovin, en plus les sillons et les gyrus du cortex cérébral sont plus nombreux et serrés chez le cheval que chez le bovin. Par contre l'encéphale de bovin est un peu moins volumineux et moins court que celui de cheval, de forme ovoïde, plus large en proportion sur le pôle caudal, rectangulaire et étroit dans le pôle rostral.

| Hémisphère cérébral (Télocéphale) | longueur | largeur | Profondeur(hauteur) |
|-----------------------------------|----------|---------|---------------------|
| cheval | 125 mm | 50 mm | 78 mm |
| bovin | 105 mm | 47 mm | 62 mm |

Tableau.3 :Dimensions moyennes de chaque hémisphère cérébral des deux cerveaux en millimètres chez le cheval et le bovin.

III. 3. 2. Face ventrale de l'encéphale

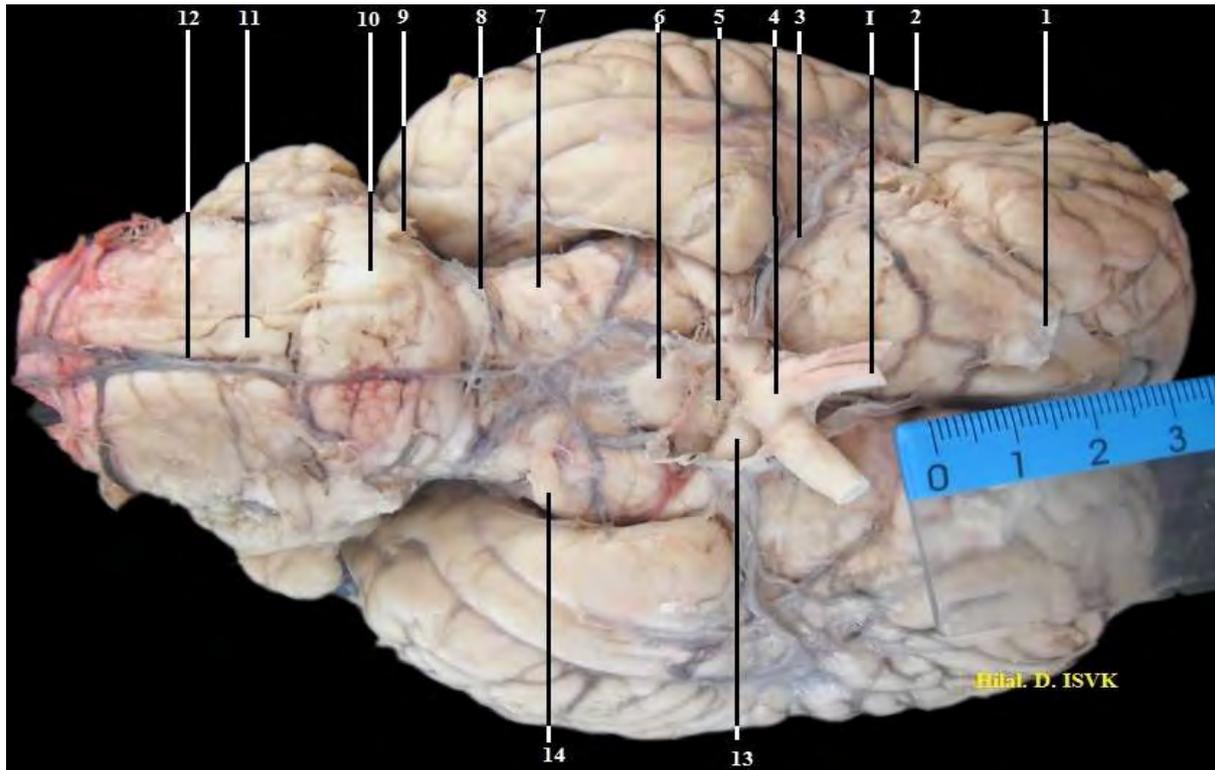


Photo.14 : Encéphale de cheval :vue ventrale. 1) nerf optique, 1) pédoncule olfactif coupé, 2) sillon rhinal latéral,3) artère cérébrale moyenne, 4) chiasma optique, 5) tuber cinereum, 6) corps mamillaire, 7) pédoncule cérébral, 8) artère cérébelleuse rostrale, 9) nerf trijumeau coupé, 10) pont, 11) pyramide, 12) artère basilaire, 13) tractus optique, 14) nerf oculomoteur.

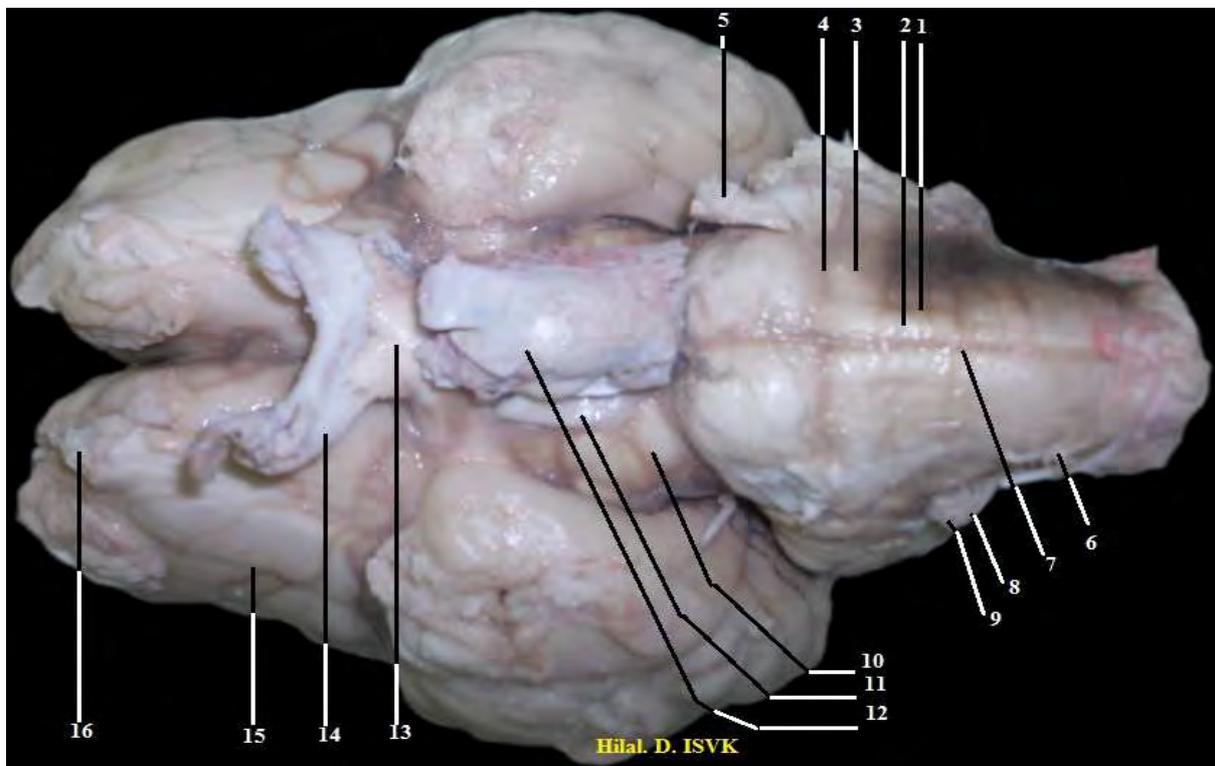


Photo.15 : Encéphale de bovin : vue ventrale. 1) sillon pyramido-olivaire, 2) pyramides, 3) corps trapézoïde , 4) sillon pontique caudal, 5) nerf trijumeau, 6) nerf hypoglosse, 7) fissure médiane ventrale, 8,9) nerfs X, IX 10) tractus optique, 11) chiasma optique, 12) chiasma optique, 13) tractus optique, 14) tractus optique, 15) tractus optique, 16) tractus optique.

pédoncule cérébral, 11) nerf oculomoteur, 12) hypophyse, 13) chiasma optique, 14) nerf optique, 15) sillon rhinal latéral, 16) pédoncule olfactif.

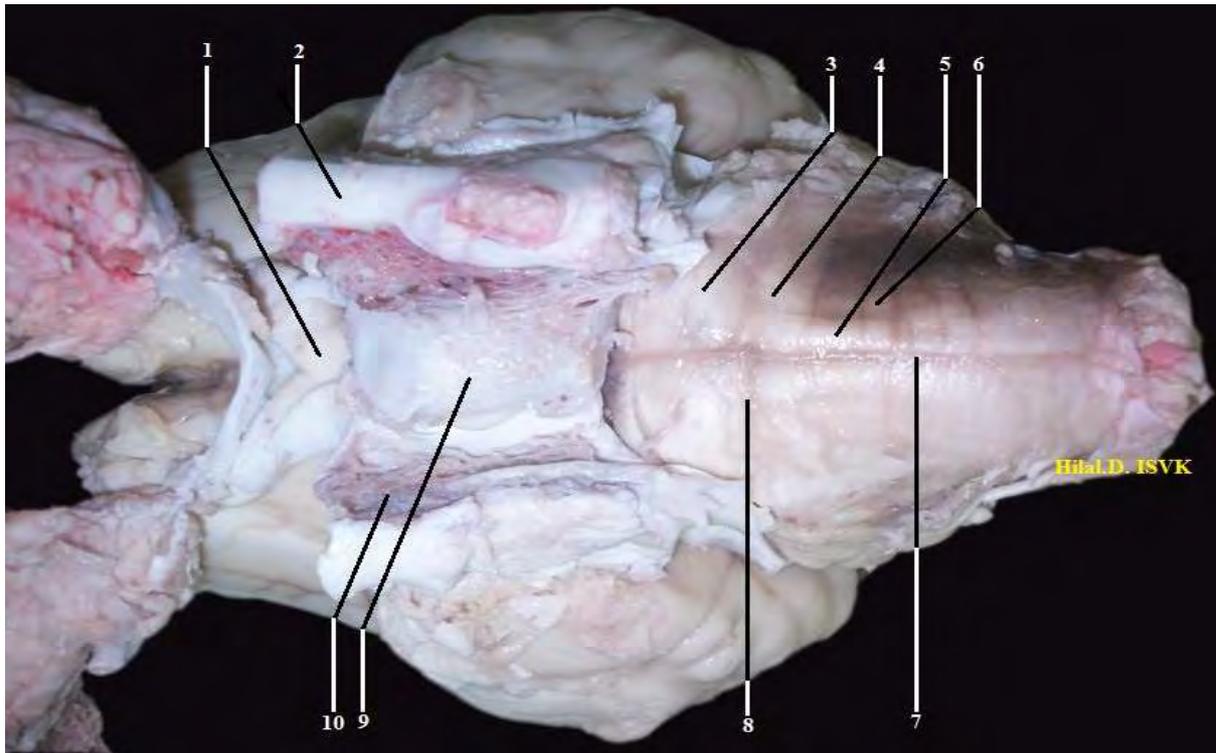


Photo.16 : Encéphale de bovin : vue ventrale. 1) chiasma optique 2) nerf trijumeau 3) pont 4) corps trapézoïde 5) pyramide 6) olive 7) artère basilaire 8) artère cérébelleuse caudale 9) hypophyse 10) réseau admirable chiasmatique.

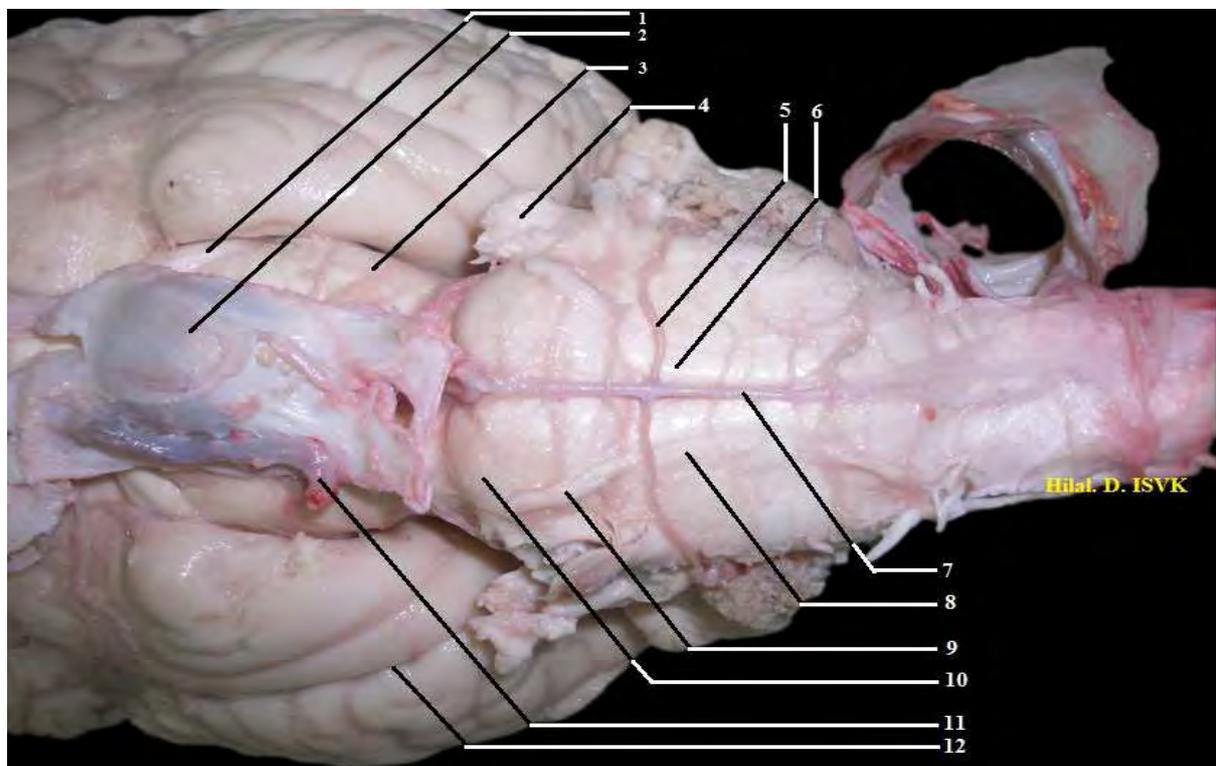


Photo.17 : Encéphale de : cheval vue ventrale. 1) tractus optique 2) hypophyse 3) pédoncule cérébral 4) nerf Trijumeau 5) artère cérébelleuse caudale 6) pyramide 7) artère basilaire 8) olive 9) nerf abducteur 10) pont 11) artère carotide interne 12) sillon rhinal latéral.

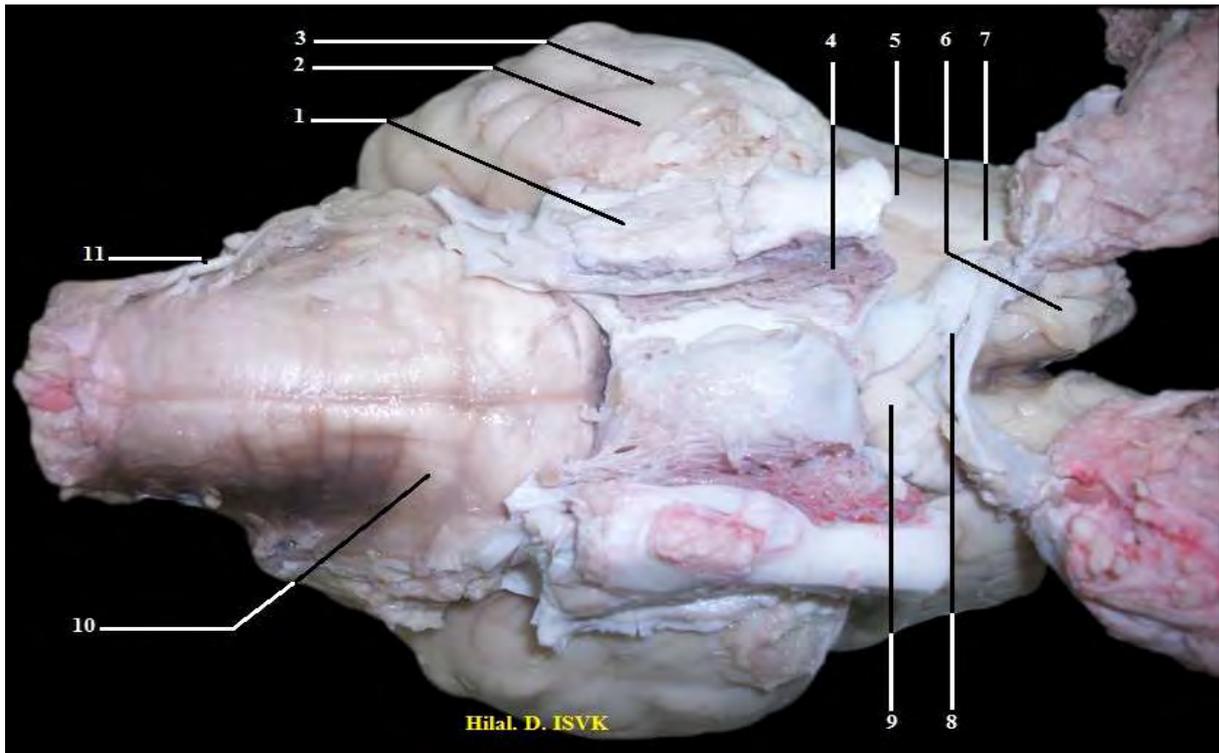


Photo. 18 : Encéphale de bovin : vue ventrale. 1) nerf trijumeau 2) lobe piriforme 3) sillon rhinal latéral 4) réseau admirable chiasmatique 5) tractus olfactif latéral 6) bulbe olfactif 7) pédoncule olfactif 8) nerf optique 9) chiasma optique 10) corps trapézoïde 11) nerf accessoire.

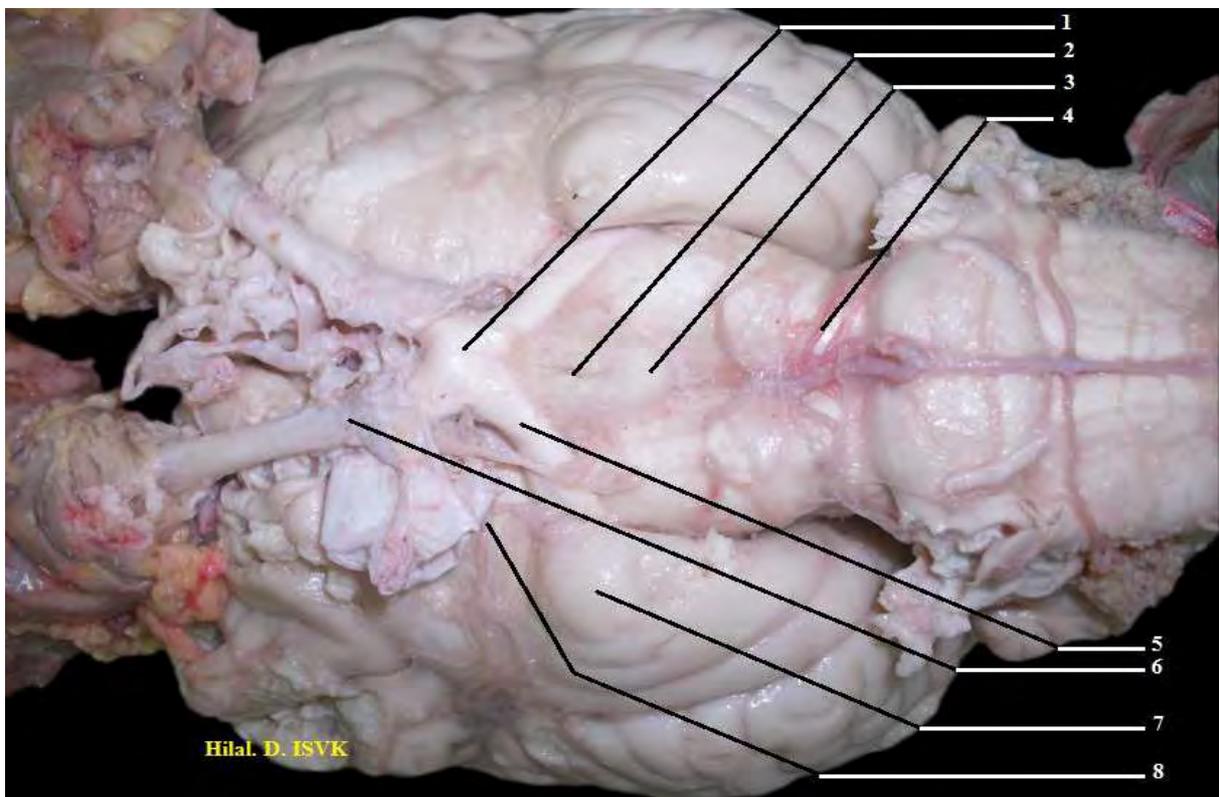


Photo. 19 : Encéphale de cheval : vue ventrale. 1) chiasma optique 2) tuber cinereum 3) corps mamillaire 4) artère Cérébelleuse rostrale 5) tractus optique 6) nerf optique 7) lobe piriforme 8) artère cérébrale moyenne.

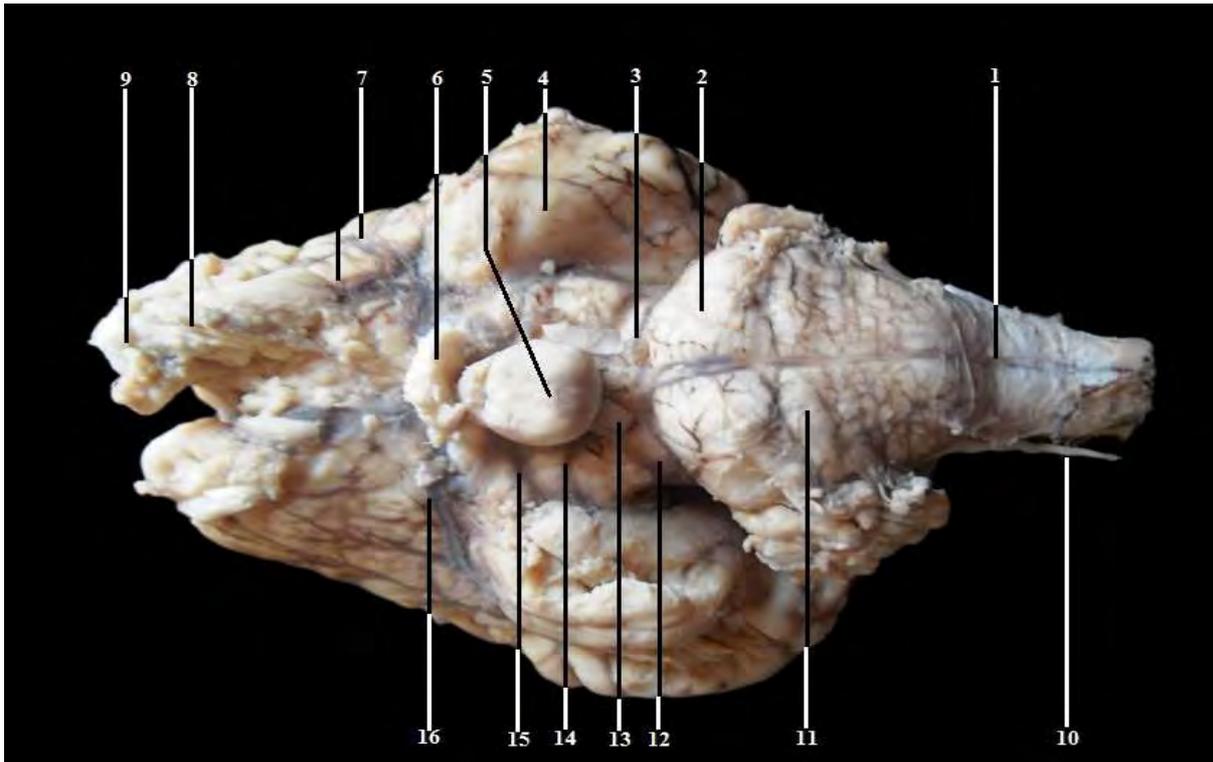


Photo. 20 : Encéphale de bovin : vue ventrale. 1) artère basilaire 2) pont 3) artère cérébelleuse rostrale 4) lobe piriforme 5) hypophyse 6) chiasma optique 7) sillon rhinal latéral 8) pédoncule olfactif 9) bulbe olfactif 10) nerf accessoire 11) corps trapézoïde 12) pédoncule cérébral 13) nerf oculomoteur 14) artère cérébrale caudale 15) artère choroïdienne rostrale 16) artère cérébrale moyenne.

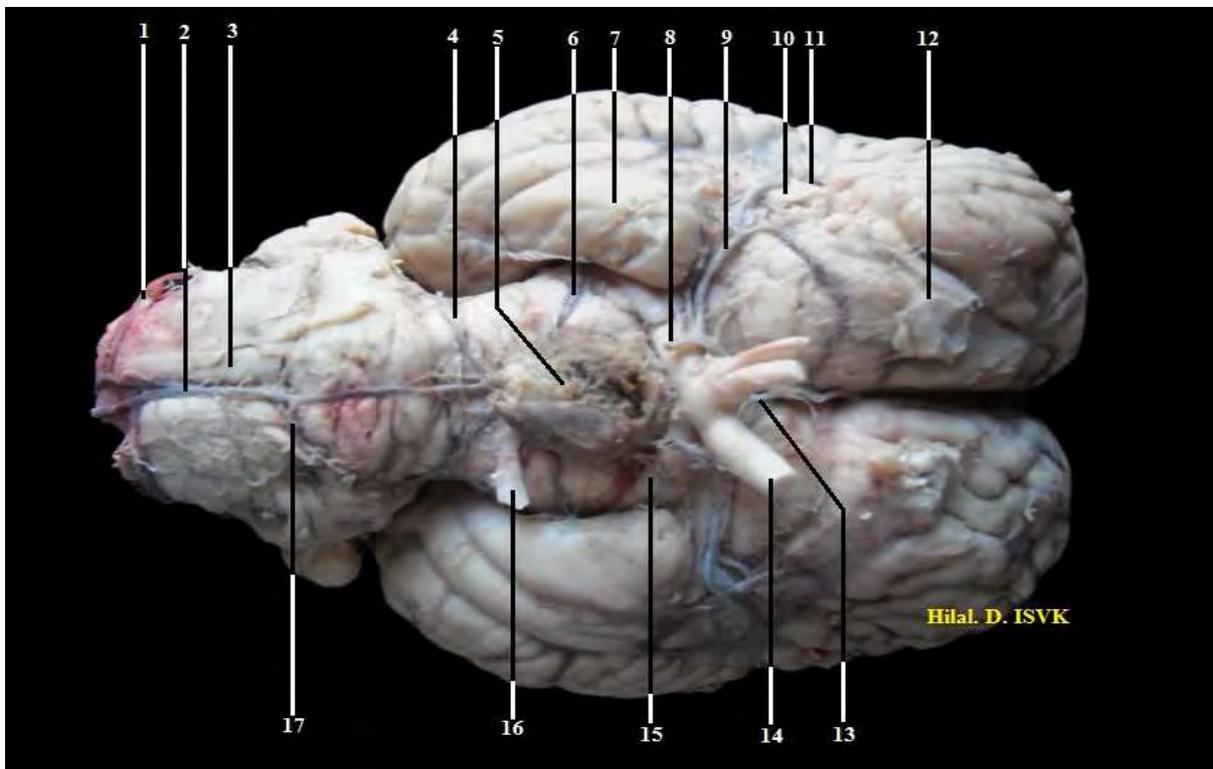


Photo. 21 : Encéphale du cheval : vue ventrale. 1) nerf hypoglosse 2) artère basilaire 3) pyramide 4) artère cérébelleuse rostrale 5) hypophyse 6) artère cérébrale caudale 7) lobe piriforme 8) artère carotide interne 9) artère cérébrale moyenne 10) tractus olfactif 11) sillon rhinal latéral 12) pédoncule olfactif 13) artère cérébrale Rostrale 14) nerf optique 15) tractus optique 16) nerf oculomoteur 17) rameaux pontiques

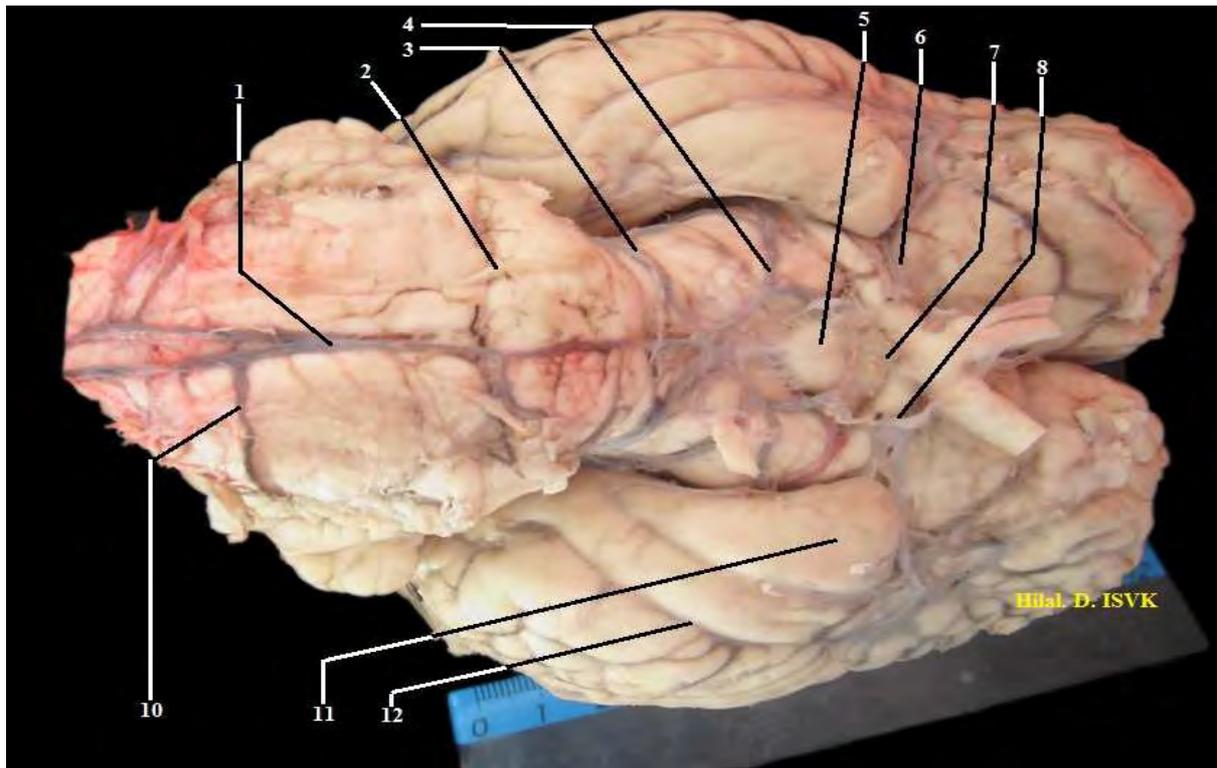


Photo. 22 : Encéphale de cheval : vue ventrale. 1) artère basilaire 2) nerf abducteur 3) artère cérébelleuse rostrale 4) artère cérébrale caudale 5) corps mamillaire 6) artère cérébrale moyenne 7) tuber cinereum 8) artère carotide interne 10) artère cérébelleuse caudale 11) lobe piriforme 12) sillon rhinal latéral.

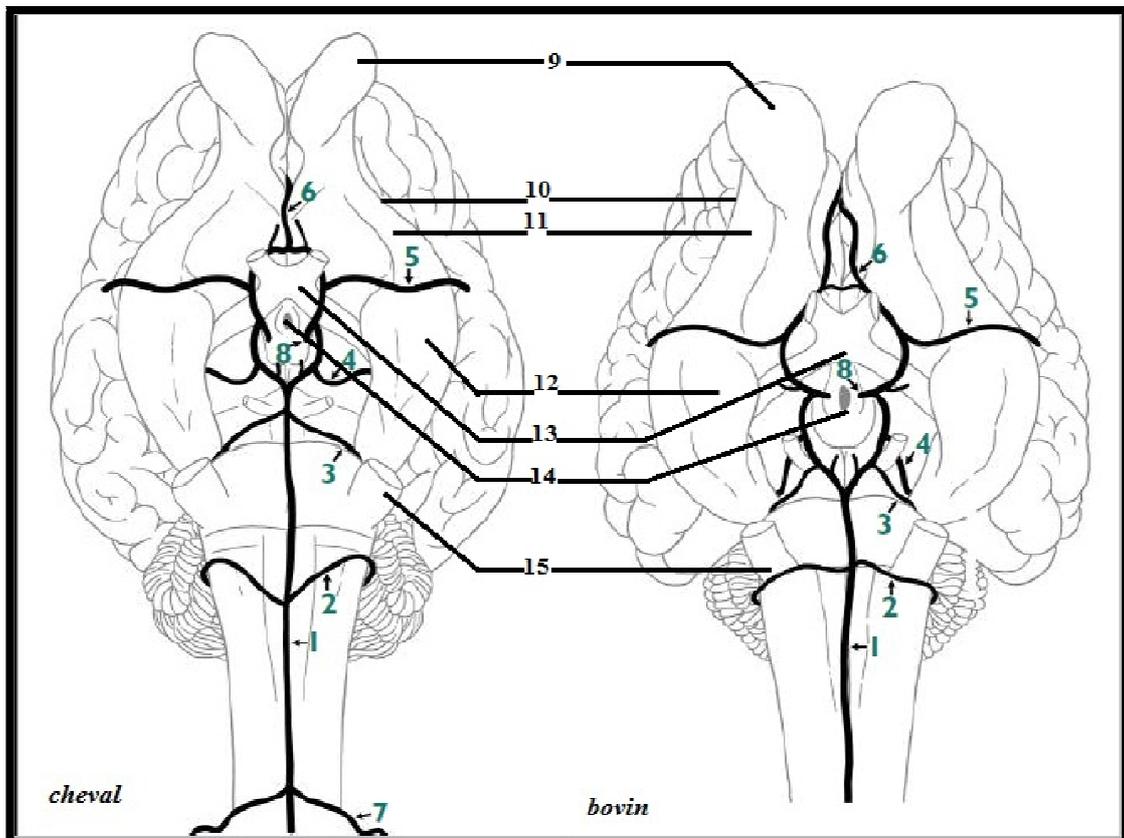


Fig.40 : Illustration schématique des vaisseaux artériels associés à la face ventrale de l'encéphale du cheval et du bovin. 1) artère basilaire, 2) artère cérébelleuse caudale, 3) artère cérébelleuse rostrale, 4) artère cérébrale caudale, 5) artère cérébrale moyenne, 6) artère cérébrale rostrale, 7) artère vertébrale, 8) artère carotide interne,

9) bulbe olfactif, 10) sillon rhinal latéral 11) tractus olfactif latéral 12) lobe piriforme 13) chiasma optique 14) tuber cinereum 15) nerf trijumeau [38].

Particularités présentes :

Concernant la face ventrale de l'encéphale ou rhinencéphale il n'existe pas de grandes différences entre le cheval et le bovin, mis à part quelques différences concernant la taille et la forme du bulbe olfactif qui est difficile à extraire de la cavité crânienne avec l'encéphale parce qu'il adhère à l'os par les filets du nerf olfactif, ce dernier est de forme ovalaire plus long chez le cheval que chez le bovin, de même que le pédoncule olfactif.

La vascularisation de l'encéphale est assurée par trois systèmes disposés en trois étages successifs : le premier est le système d'apport assuré de chaque côté par l'artère carotide interne, artère vertébrale et les terminales des carotides externes. Ce système est diversement développé selon les espèces, il aboutit à un ensemble d'anastomoses beaucoup moins variables, logées dans la face ventrale de l'encéphale, le système basal. Le troisième est le système de distribution dont chaque rameau irrigue un secteur déterminé dans l'encéphale.

Le système basal est le plus visible dans les photos présentées dans notre travail, on va décrire les particularités visibles. La carotide interne, basilaire est la source potentielle de sang pour le cercle artériel chez le cheval et le bovin. L'artère spinale ventrale et les artères vertébrales contribuent à l'artère basilaire. Cinq paires d'artères irriguent directement le cerveau ; l'artère cérébrale rostrale, l'artère cérébrale moyenne, l'artère cérébrale caudale, l'artère cérébelleuse rostrale et l'artère cérébelleuse caudale. Chez le cheval et le bœuf ces paires de vaisseaux, à l'exception de l'artère cérébelleuse caudale, qui a comme origine l'artère basilaire, naissent du cercle artériel. Les modèles de distribution des cinq grandes branches du cercle artériel « anciennement *Polygone de Willis* » sont similaires chez le cheval et chez le bœuf. L'artère cérébrale rostrale chemine dorsalement dans la fissure longitudinale pour irriguer les portions rostro-médiales du cerveau. L'artère cérébrale moyenne se distribue vers les portions rostro-latérales du cerveau. L'artère cérébrale caudale prend une destination dorso-médiale à travers la fissure longitudinale et irrigue les portions caudo-médiales du cerveau. Les artères cérébelleuses (rostrale et caudale) ont des distributions variables pour le cervelet et les pédoncules cérébelleux, avec l'artère cérébelleuse rostrale qui irrigue typiquement le vermis et les sphères rostrales de l'hémisphère cérébelleux.

Chez le cheval ; l'artère carotide interne et l'artère basilaire contribuent significativement dans le cercle ainsi que vers les portions caudales du cerveau. L'artère

maxillaire contribue significativement dans le cercle artériel via le réseau admirable chez le bœuf ; elle n'est pas impliquée dans la circulation sanguine du cerveau chez le cheval mais elle irrigue aussi les méninges.

Chez le bœuf, le cercle artériel reçoit le sang de l'artère carotide interne, artères maxillaire, occipitale et vertébrale, par conséquent, le cerveau reçoit un mélange de sang de sources variées. l'artère basilaire est rattachée au cercle artériel et reçoit un peu de l'irrigation de l'artère occipitale . La carotide interne distale reçoit des branches du réseau admirable qui chemine dans le sinus caverneux vers le cercle artériel.

Le réseau admirable « *rete mirabile* » est un réseau complexe de vaisseaux qui alimentent le cercle artériel chez le bœuf. Chez cette espèce, ce réseau interconnecte les divisions rostrales et caudales qui sont irriguées par l'artère maxillaire et occipitale ou les branches des artères vertébrales. Le réseau admirable rostral peut irriguer directement l'hypophyse et le chiasma optique.

III. 3. 3. Coupes médianes sur l'encéphale

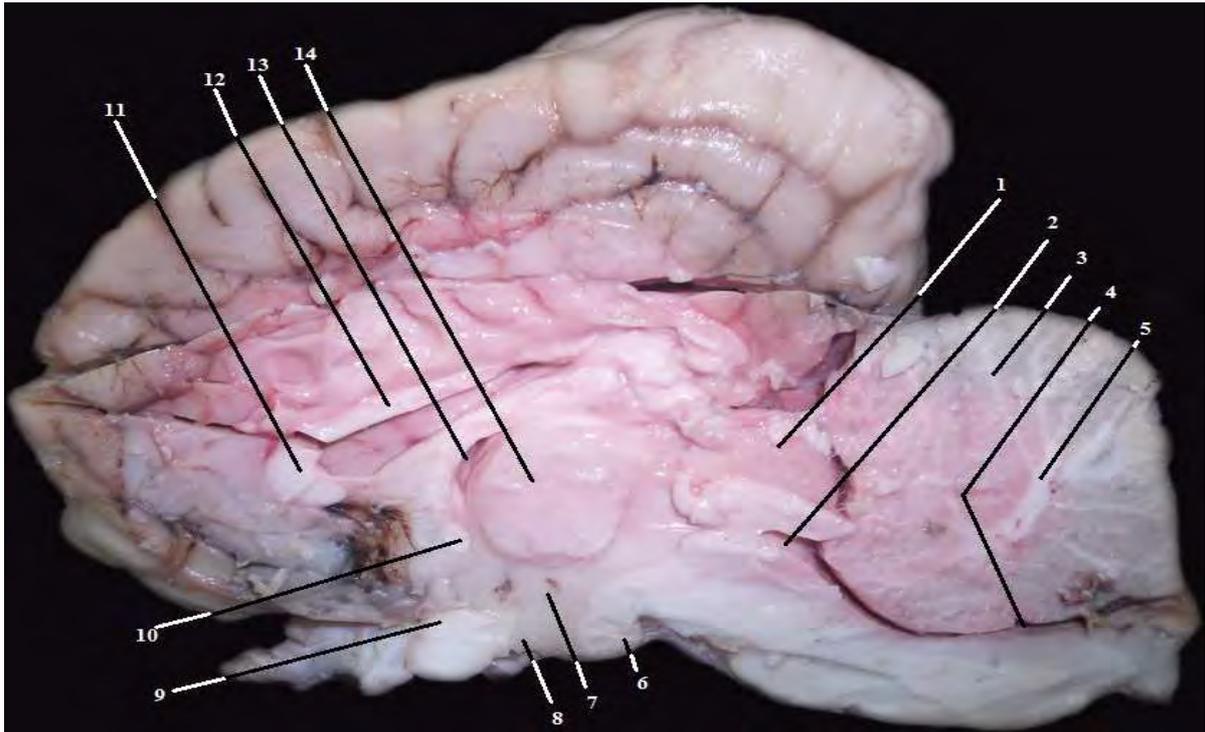


Photo. 23 : Encéphale de bovin coupe médiane. 1) collicule rostral 2) aqueduc de Sylvius 3) arbre de vie du cervelet 4) quatrième ventricule 5) corps médullaire du cervelet 6) corps mamillaire 7) troisième ventricule 8) tuber cinereum 9) chiasma optique 10) commissure rostrale 11) genou du corps calleux 12) tronc du corps calleux 13) foramen interventriculaire 14) adhésion interthalamique.

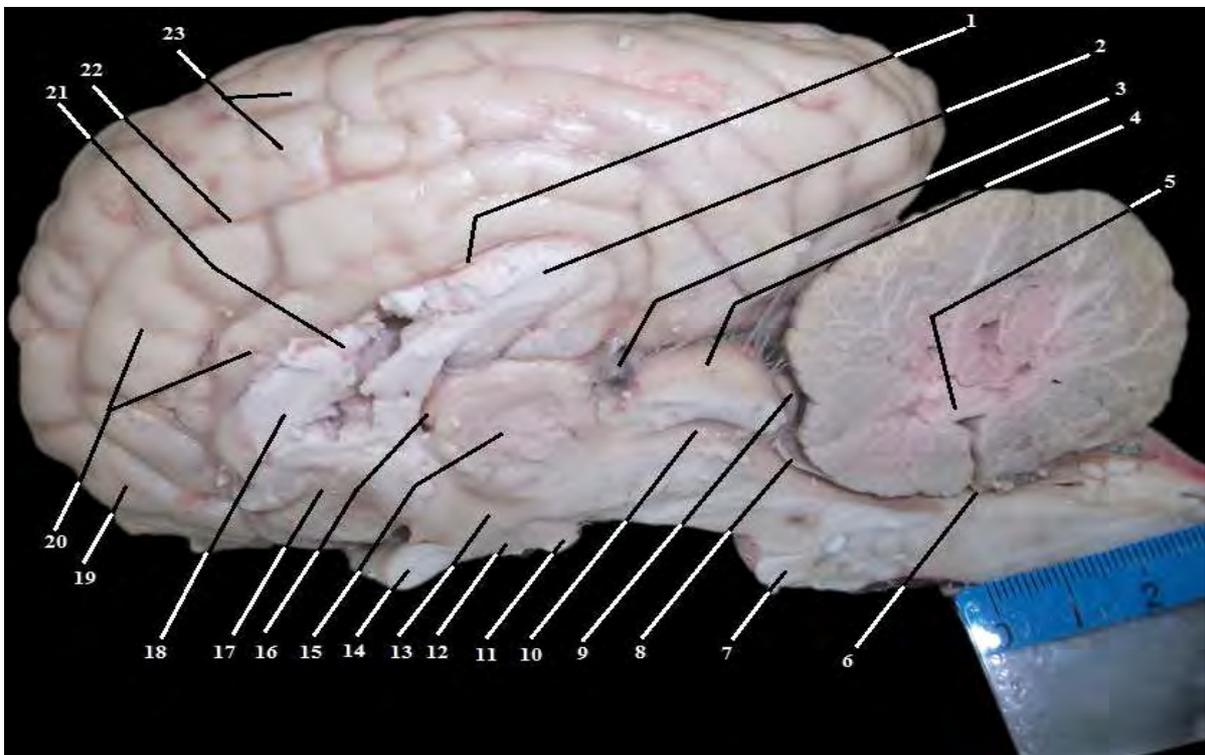


Photo. 24 : Encéphale de cheval, coupe médiane. 1) sillon du corps calleux 2) splénium du corps calleux 3) glande pinéale 4) collicule rostrale 5) arbre de vie du cervelet 6) quatrième ventricule 7) pont 8) voile médullaire rostrale 9) collicule caudale 10) aqueduc de Sylvius 11) corps mamillaire 12) tuber cinereum 13) troisième ventricule 14) chiasma optique 15) adhésion interthalamique 16) foramen interventriculaire 17) area subcallosa

18) genou du corps calleux 19) gyrus proreus 20) gyrus cinguli 21) tronc du corps calleux 22) sillon splénial 23) gyrus marginal.

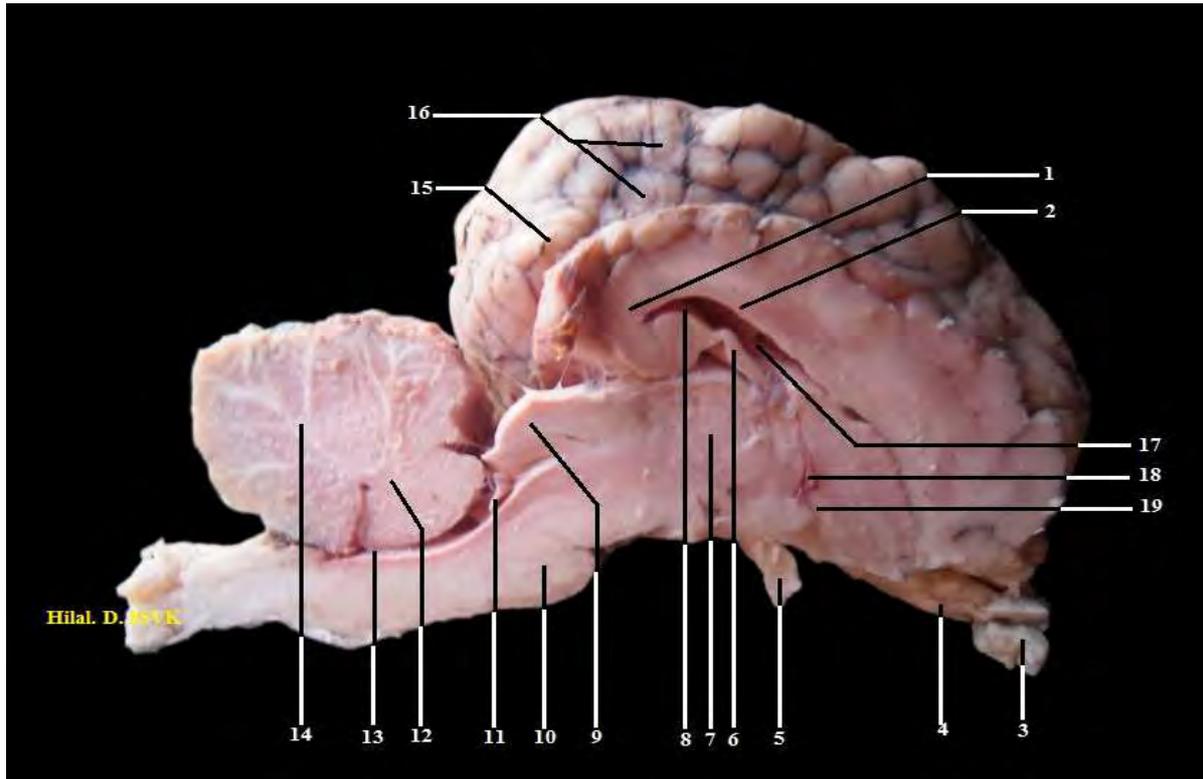


Photo. 25 : Encéphale de bovin : coupe médiane. 1) splénium du corps calleux 2) tronc du corps calleux 3) bulbe olfactif 4) pédoncule olfactif 5) chiasma optique 6) corps du fornix 7) adhésion interthalamique 8) hippocampe 9) collicule rostral 10) pont 11) voile médullaire rostral 12) corps médullaire du cervelet 13) quatrième ventricule 14) arbre de vie du cervelet 15) gyrus occipital 16) gyrus marginal. 17) ventricule latéral 18) commissure rostrale 19) area subcallosa.

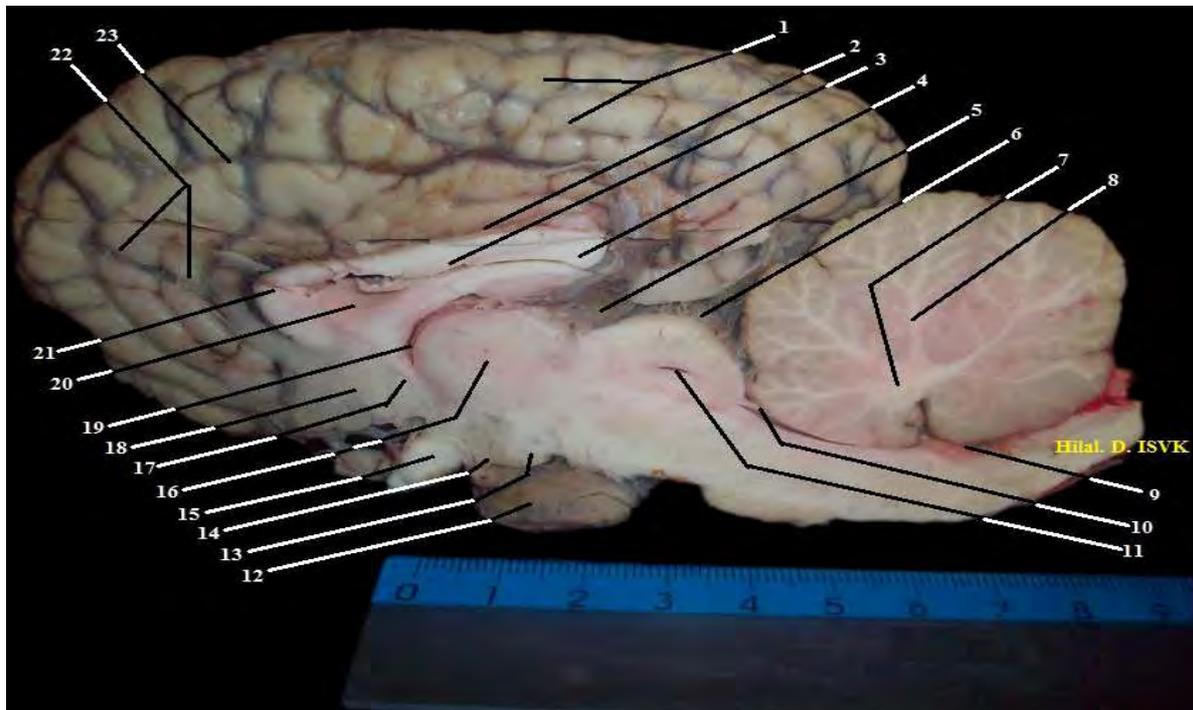


Photo. 26 : Encéphale de cheval : coupe médiane. 1) gyrus marginal 2) sillon du corps calleux 3) tronc du corps calleux 4) splénium du corps calleux 5) glande pinéale 6) collicule rostral 7) corps médullaire du cervelet 8) arbre de vie du cervelet 9) quatrième ventricule 10) voile médullaire rostral 11) aqueduc de Sylvius 12)

hypophyse (glande pituitaire) **13**) corps mamillaire **14**) recessus infundibulaire **15**) chiasma optique **16**) adhésion interthalamique **17**) commissure rostrale **18**) area subcallosa **19**) foramen interventriculaire **20**) septum pellucidum **21**) genou du corps calleux **22**) gyrus cinguli **23**) sillon splénial.

Particularités présentes :

Ces coupes nous ont permis de visualiser les organes inter hémisphériques. On a noté que le gyrus cinguli est plus développé chez le cheval que chez le bovin et ceci relativement avec le volume de l'encéphale, de même que pour le corps calleux qui est plus épais chez le cheval dans le cas des encéphales étudiés.

| | Axe cranio-caudal | Axe dorso-ventral |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
| cheval | 19 mm | 22 mm |
| bovin | 16 mm | 18 mm |

Tableau.4 : Mesure des deux diamètres cranio-caudal et dorso-ventral de l'adhésion interthalamique chez le cheval et le bovin en millimètres.

III. 3. 4. Coupes horizontales

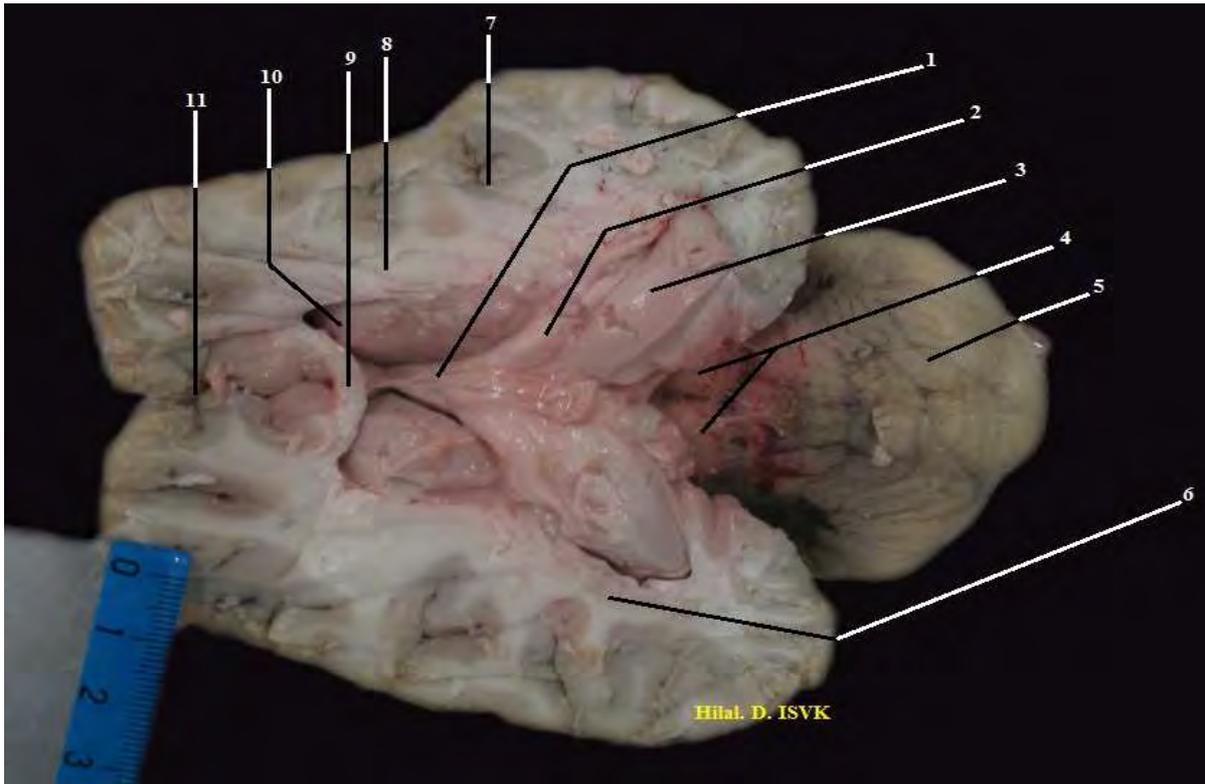


Photo. 27 : Encéphale de bovin : coupe horizontale montrant la conformation interne de l'encéphale. 1) corps du fornix 2) crus du fornix 3) corne d'Ammon ou hippocampe 4) colliculus rostral 5) cervelet 6) bras caudal de la capsule interne 7) insula 8) bras rostral de la capsule interne 9) genou du corps calleux 10) noyau caudé 11) fissure longitudinale du cerveau.

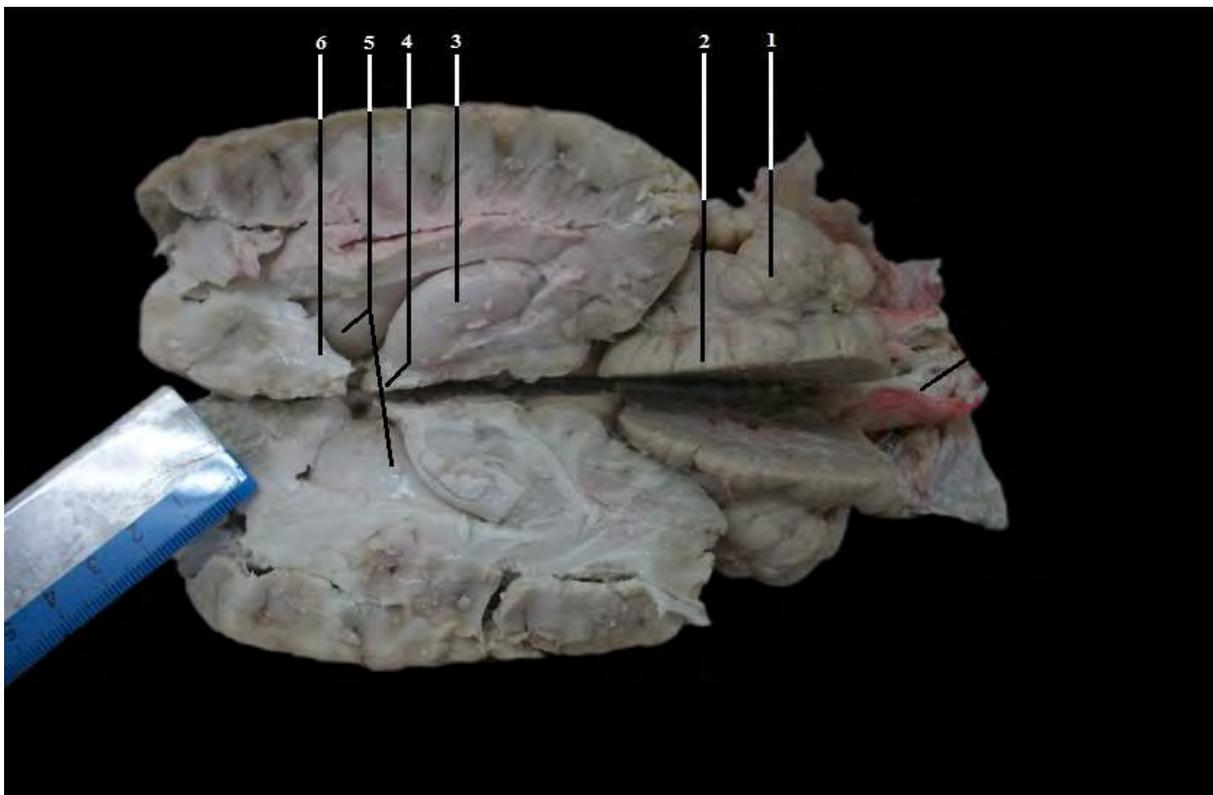


Photo. 28 : Encéphale de cheval : coupe horizontale. 1) hémisphère cérébelleux 2) vermis du cervelet 3) corne d'Ammon 4) corps du fornix 5) noyau caudé 6) genou du corps calleux.

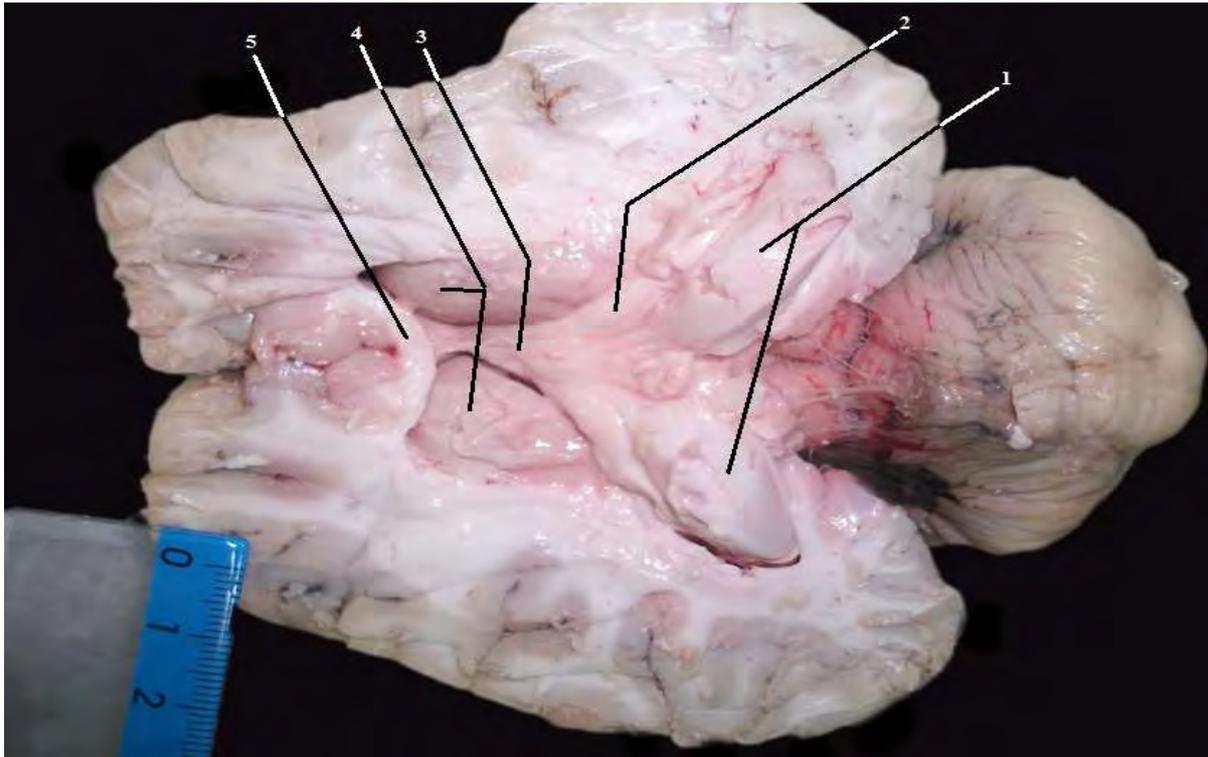


Photo. 29 : Encéphale de bovin : coupe horizontale. 1) corne d'Ammon ou hippocampe 2) crus du fornix 3) corps du fornix 4) noyau caudé 5) genou du corps calleux.

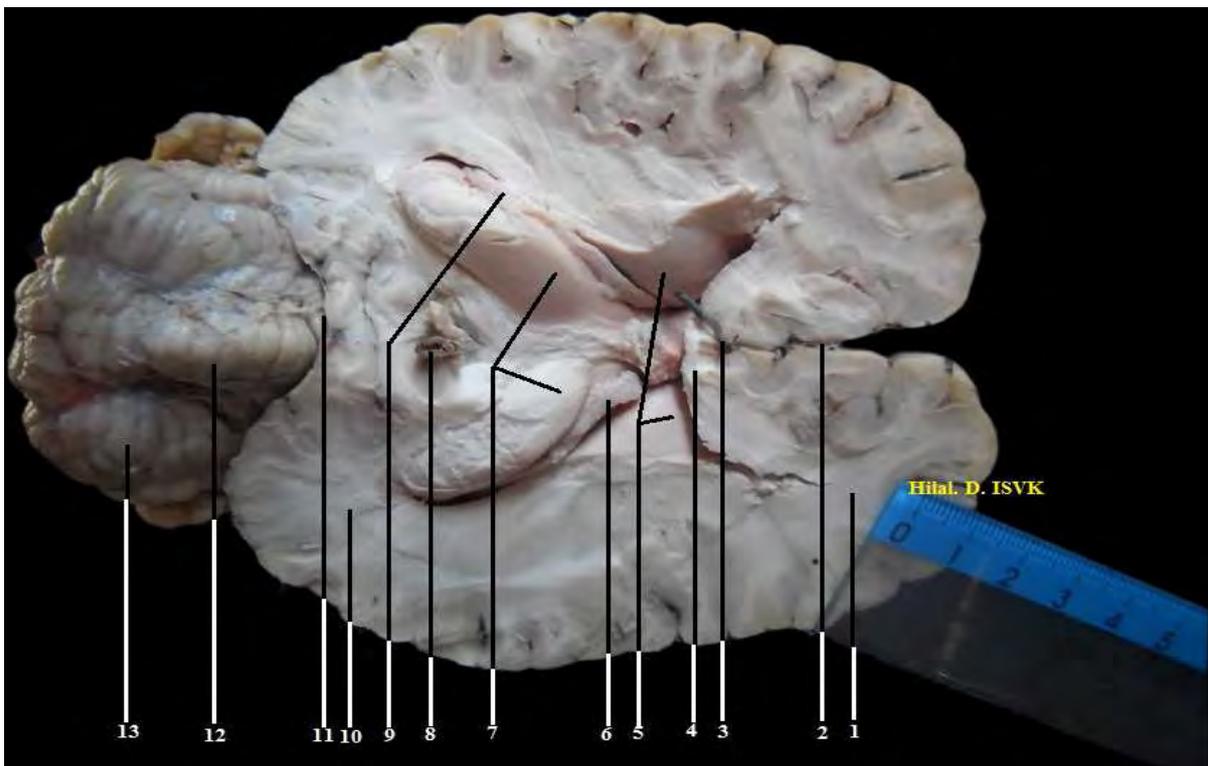


Photo. 30 : Encéphale de cheval : coupe horizontale. 1) centre semiovale (P. rostrale) 2) fissure longitudinale du cerveau 3) artère cérébrale rostrale 4) genou du corps calleux 5) têtes des noyaux caudés 6) plexus choroïde du ventricule latéral 7) corne d'Ammon ou hippocampe 8) recessus supra-pinéale 9) fimbria 10) centre semiovale (partie caudale) 11) fissure transverse du cerveau 12) vermis du cervelet 13) hémisphère cérébelleux.

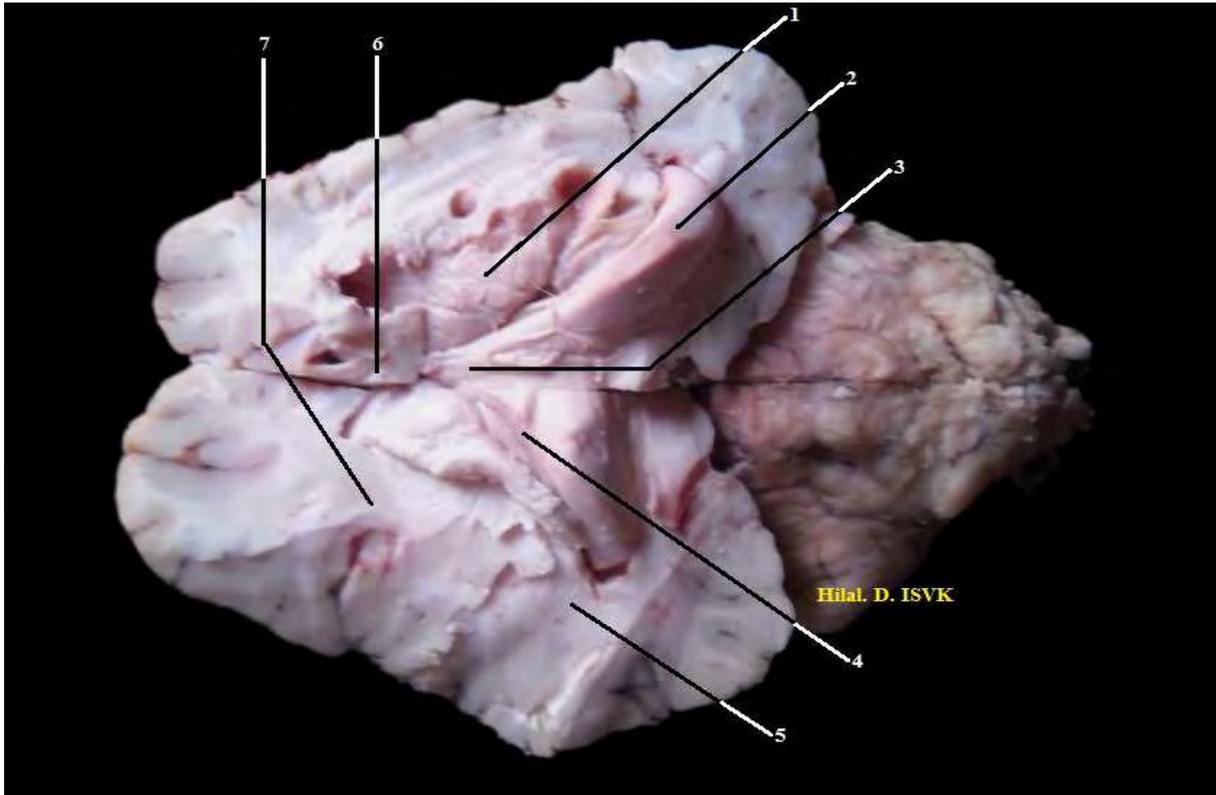


Photo. 31 : Encéphale de bovin : coupe horizontale. 1) tête du noyau caudé 2) corne d'Ammon (hippocampe) 3) corps du fornix 4) fimbria 5) bras caudal de la capsule interne 6) genou du corps calleux 6) bras rostral de la capsule interne.

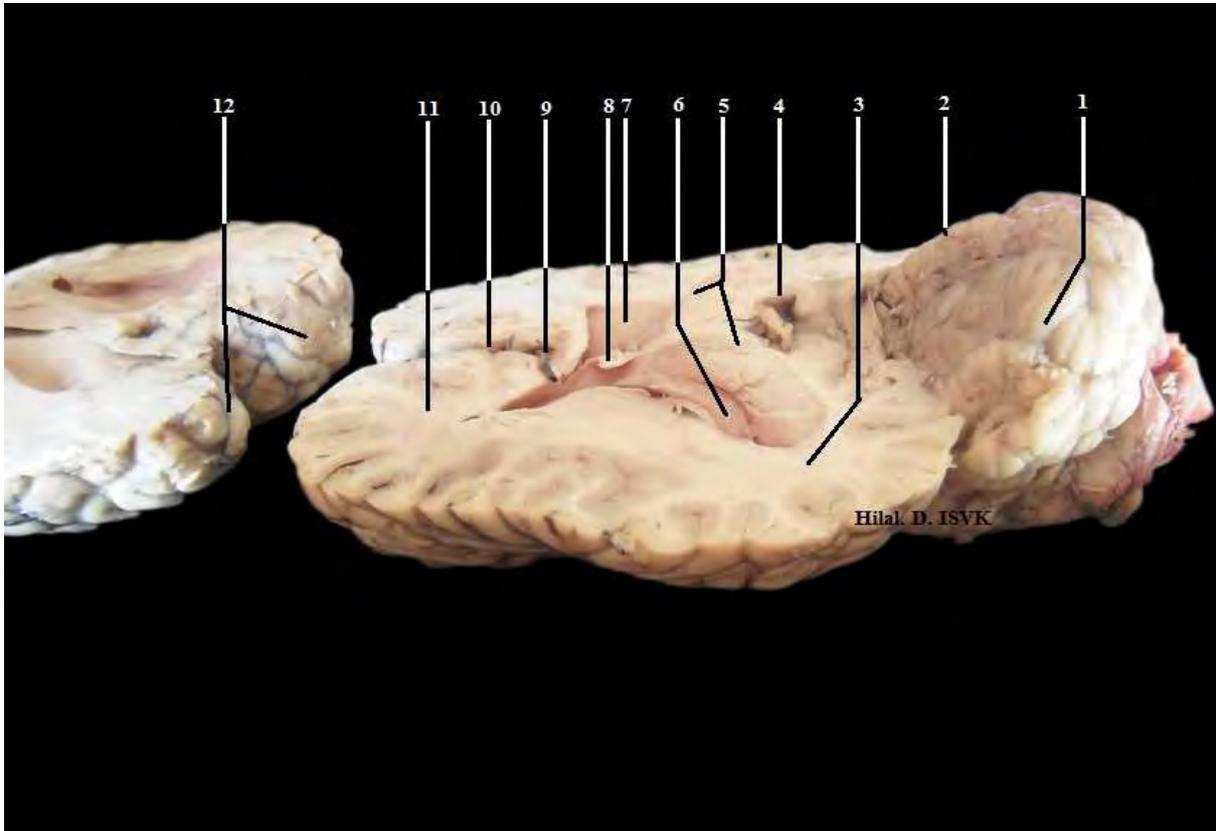


Photo. 32 : Encéphale de cheval : coupe horizontale. 1) hémisphère cérébelleux 2) vermis du cervelet 3) centre semiovale (P. caudale) 4) recessus supra- pinéale 5) corne d'Ammon ou hippocampe 6) fimbria 7) tête du noyau

caudé 8) septum du télencéphale 9) artère cérébrale rostrale 10) fissure longitudinale du cerveau 11) centre semiovale (P. rostrale) 12) hémisphères cérébraux.

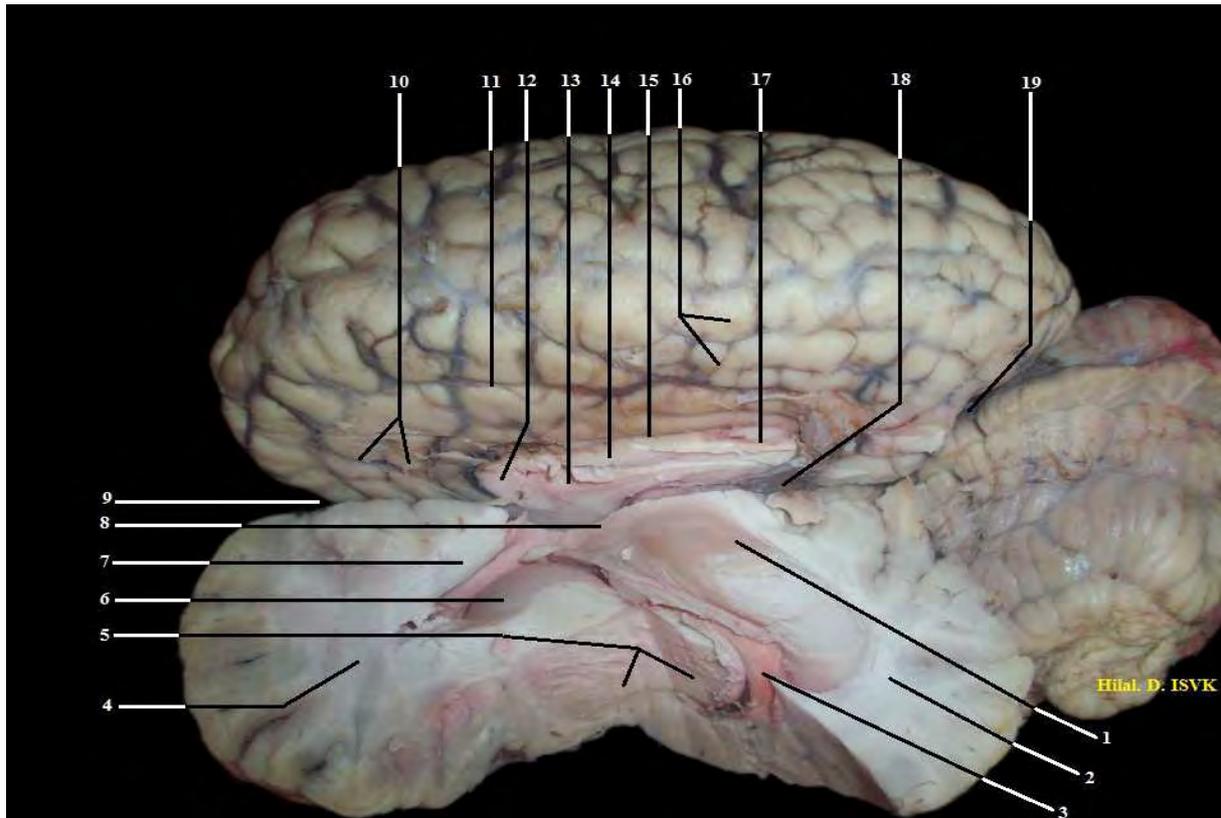


Photo.33 :Encéphale de cheval : coupe horizontale sur l'hémisphère gauche. 1) corne d'Ammon (hippocampe) 2) centre semiovale (partie caudale) 3) fimbria 4) centre semiovale (partie rostrale) 5) thalamus 6) noyau caudé 7) genou du corps calleux 8) corps du fornix 9) fissure longitudinale du cerveau 10) gyrus cinguli 11) sillon splénial 12) genou du corps calleux 13) septum pellucidum 14) tronc du corps calleux 15) sillon du corps calleux 16) gyrus marginal 17) splénium du corps calleux 18) glande pinéale 19) fissure transverse du cerveau.

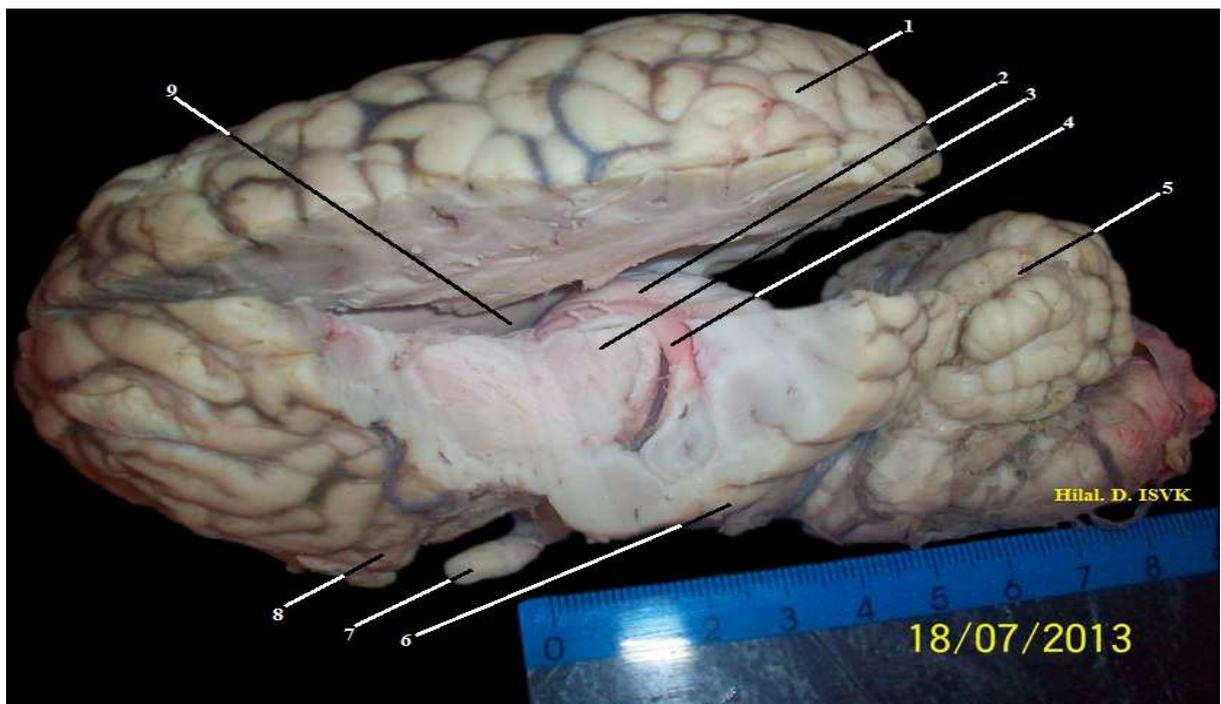


Photo.34 :Encéphale de cheval : vue ventro-latérale . 1) lobe occipital 2) corne d'Ammon (hippocampe) 3) thalamus 4) fimbria 5) hémisphère cérébelleux 6) pédoncule cérébral 7) nerf optique 8) pédoncule olfactif.

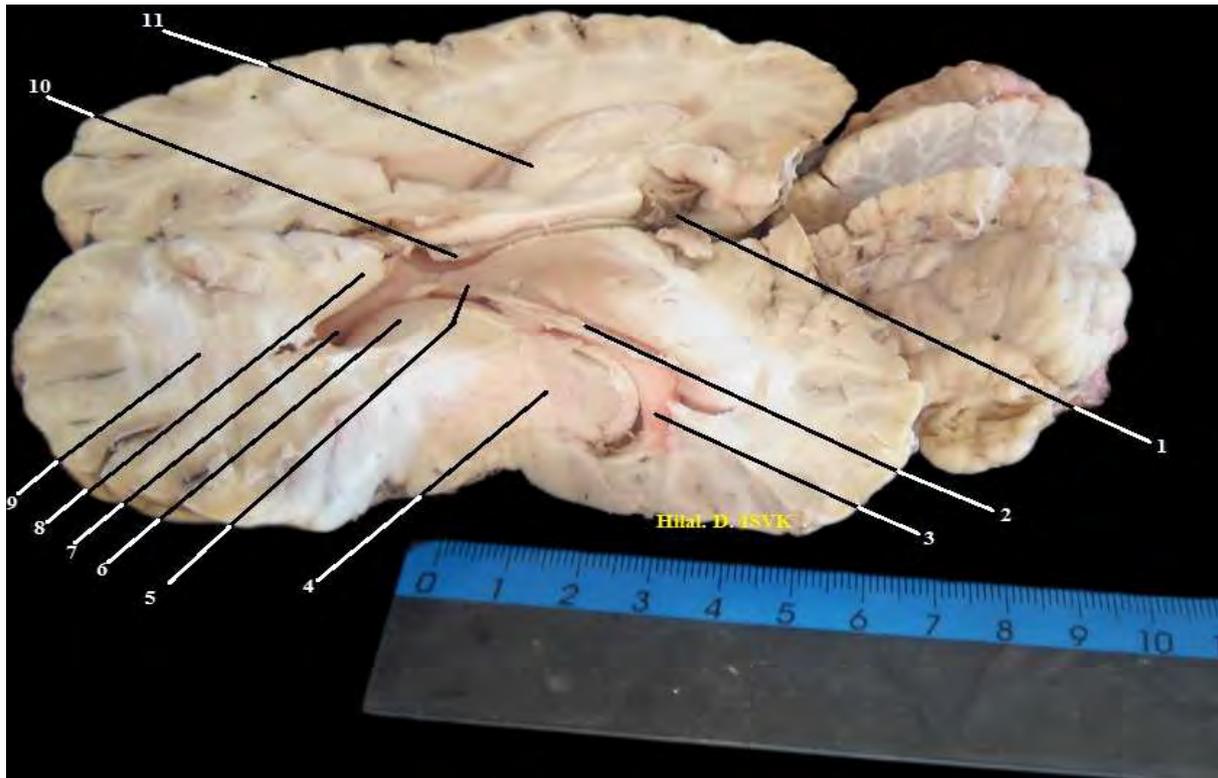


Photo.35 : Encéphale de cheval : coupe horizontale. 1)recessus supra- pinéale 2) crus du fornix 3) fimbria 4) thalamus 5) corps du fornix 6) noyau caudé 7) cavité du ventricule latéral 8) genou du corps calleux 9) centre semi ovale (P. rostrale) 10) septum pellucidum 11) corne d'Ammon (hippocampe).

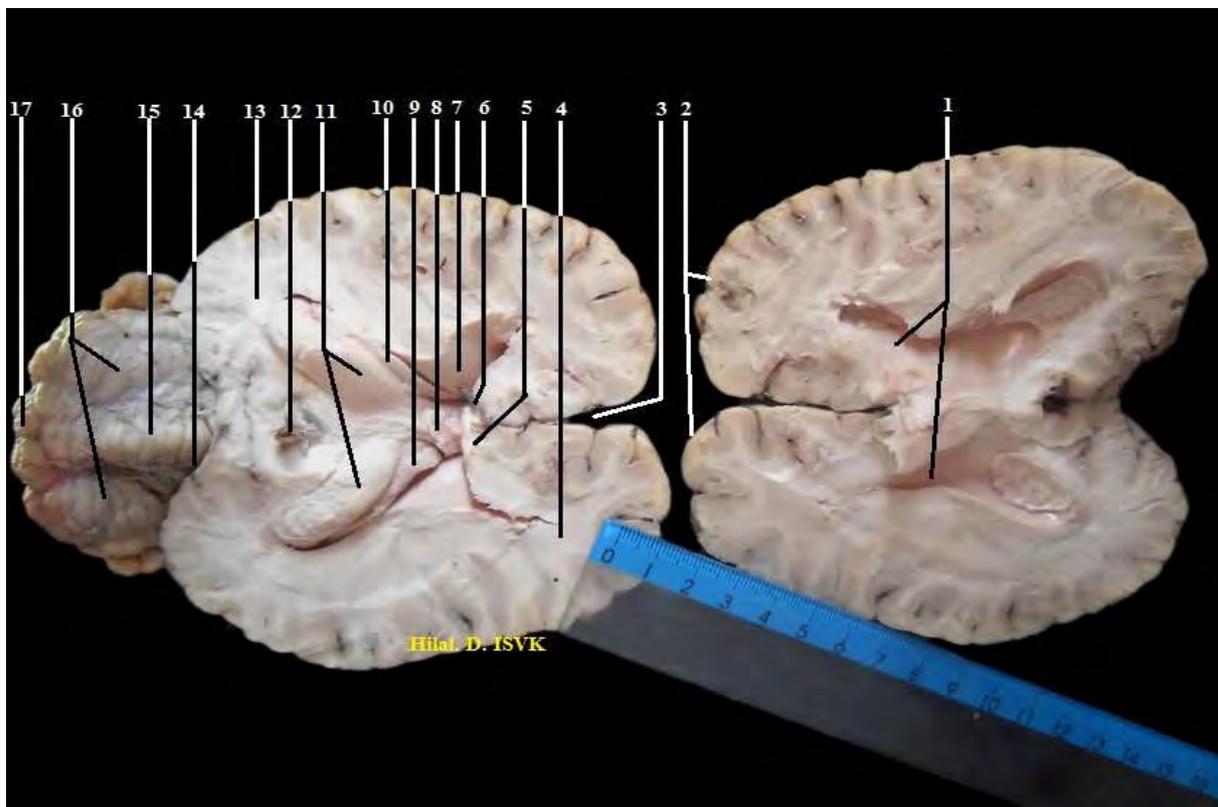


Photo.36 : Encéphale de cheval : coupe horizontale. 1) plafond des ventricules latéraux 2) hémisphères cérébraux 3) fissure longitudinale du cerveau 4) centre semiovale (P. rostrale) 5) genou du corps calleux 6) artère cérébrale

rostrale 7) noyau caudé 8) corps du fornix 9) plexus choroïde du ventricule latéral 10) crus du fornix 11) corne d'Ammon (hippocampe) 12) recessus supra-pinéale 13) centre semiovale caudal 14) fissure transverse du cerveau 15) vermis du cervelet 16) hémisphère cérébelleux 17) pyramide du vermis.

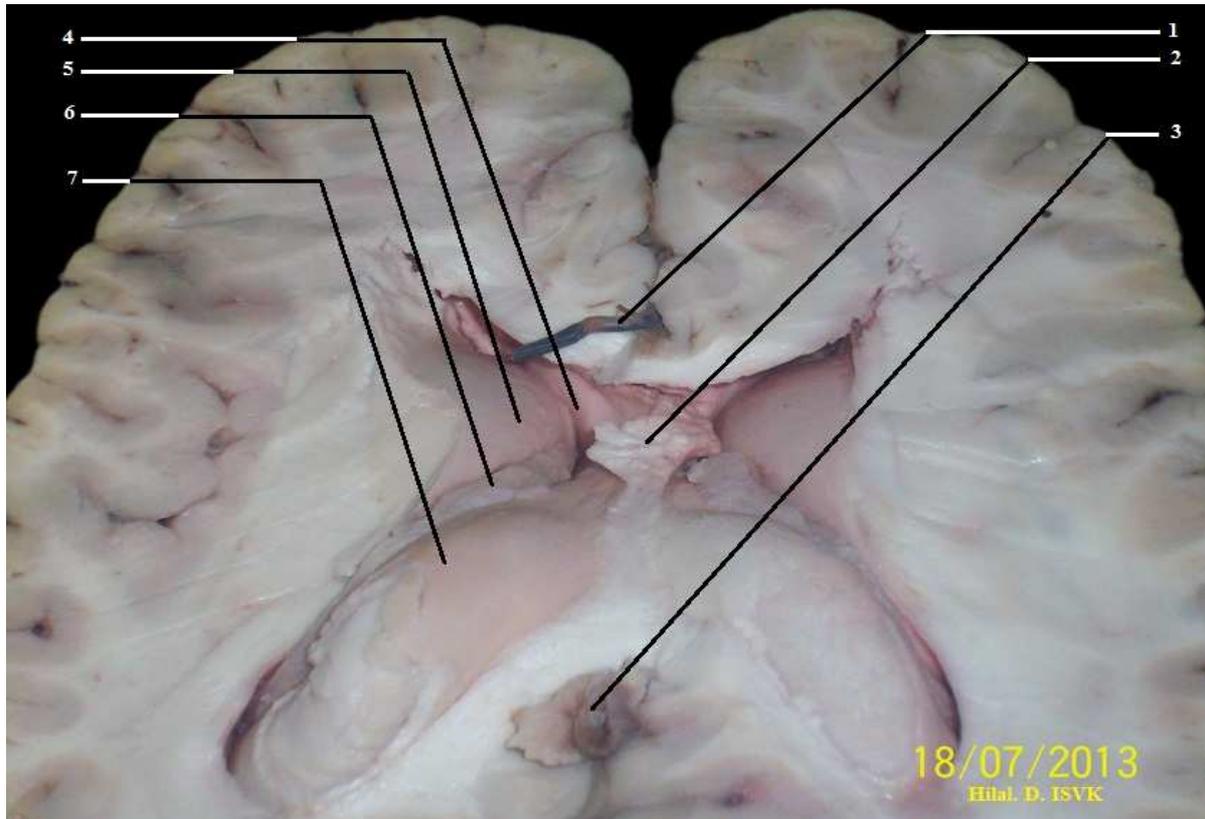


Photo.37 : Encéphale de cheval : coupe horizontale. 1) artère cérébrale rostrale 2) septum du télencéphale 3) recessus supra-pinéale 4) cavité du ventricule latéral 5) noyau caudé 6) plexus choroïde du ventricule latéral 7) hippocampe.

Particularités présentes :

De ces coupes on a noté que la surface de la section est plus importante chez le cheval que chez le bovin et cela est proportionnel au volume de l'encéphale.

La remarque la plus importante qu'on a retenue est que l'hippocampe de cheval est plus épais et présente une symétrie bilatérale des deux cornes d'Ammon dans les deux têtes utilisées dans notre travail. Par contre chez le bovin l'hippocampe est un peu moins épais, asymétrique, la corne droite est plus développée que la corne gauche qui est un peu moins développée, et cela au niveau des deux encéphales de bovin.

III. 3. 5. Coupes au niveau du tronc cérébral

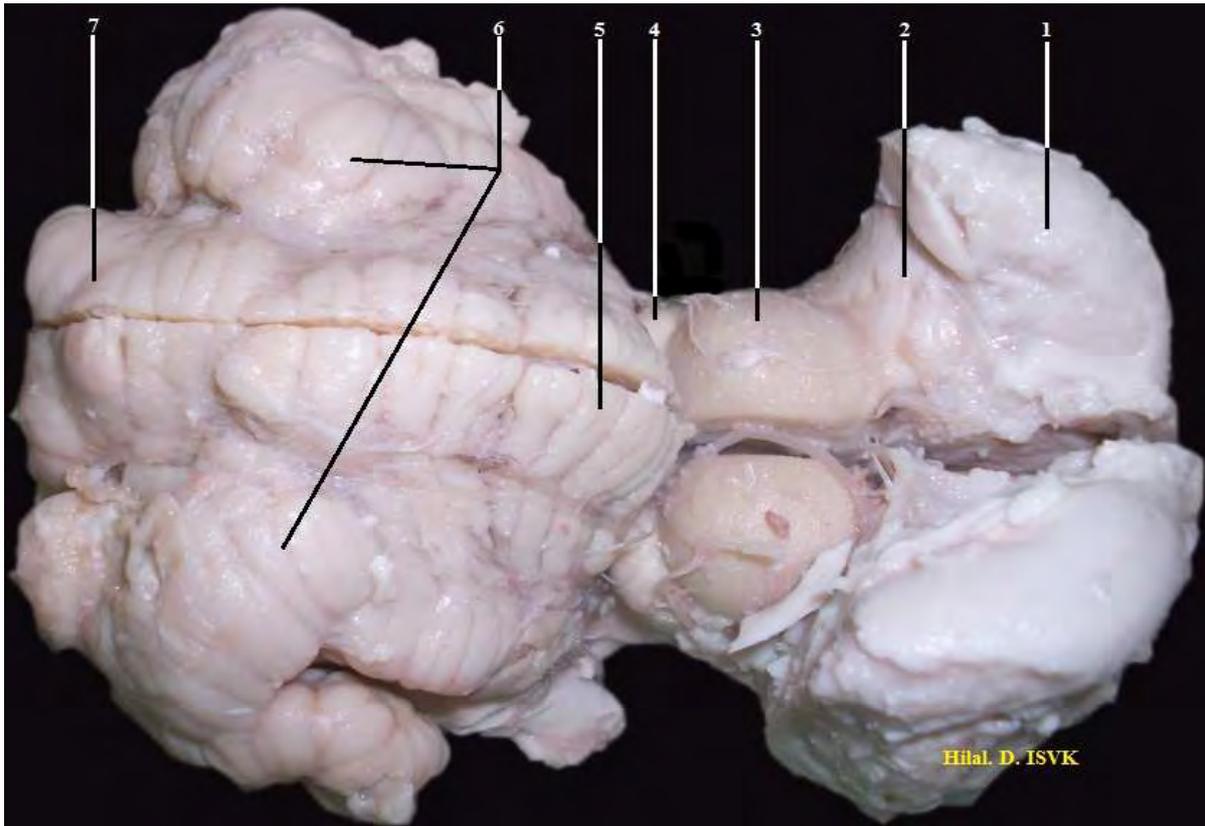


Photo.38 : Tronc cérébral de cheval : vue dorsale. 1) hippocampe 2) thalamus 3) collicule rostral 4) collicule caudal 5) vermis 6) hémisphère cérébelleux 7) pyramide du vermis.

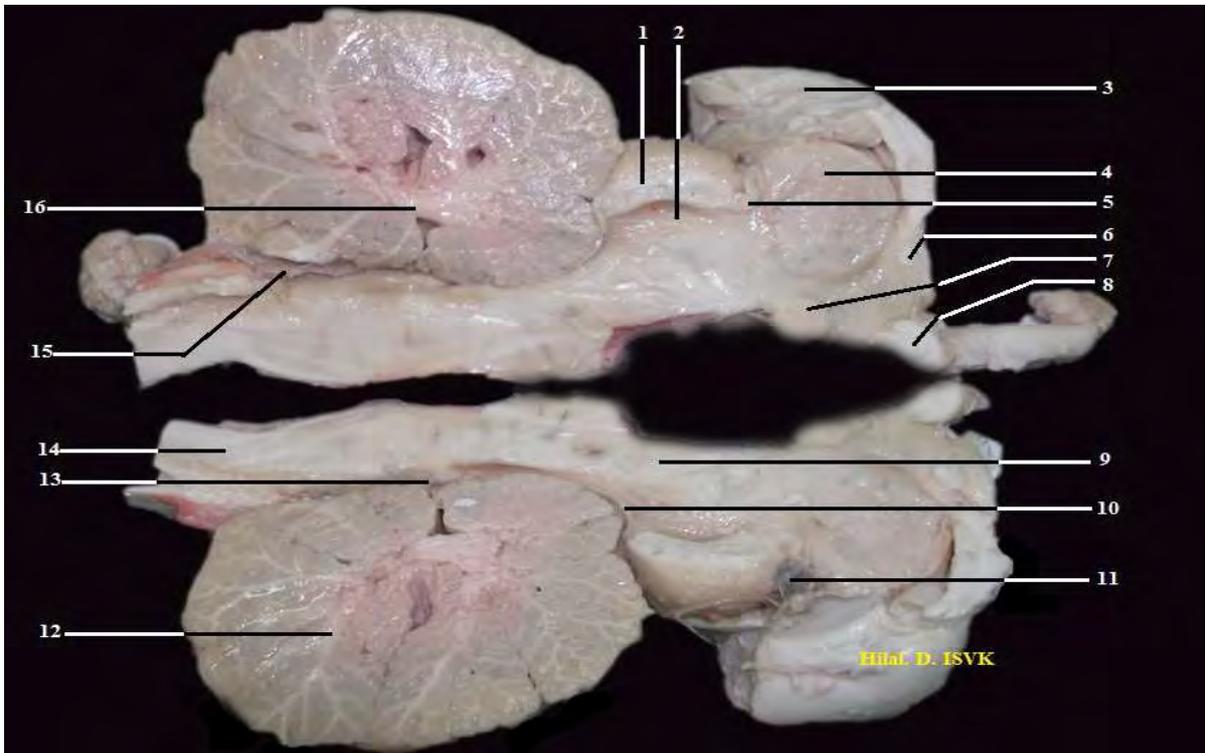


Photo.39 : Tronc cérébral de cheval : coupe médiane. 1) collicule rostral 2) aqueduc de Sylvius 3) hippocampe 4) thalamus 5) commissure caudale 6) commissure rostrale 7) corps mamillaire 8) chiasma optique

9) pédoncule cérébral 10) voile médullaire rostral 11) glande pinéale 12) arbre de vie du cervelet 13) quatrième ventricule 14) moelle allongée 15) voile médullaire caudal 16) corps médullaire du cervelet.

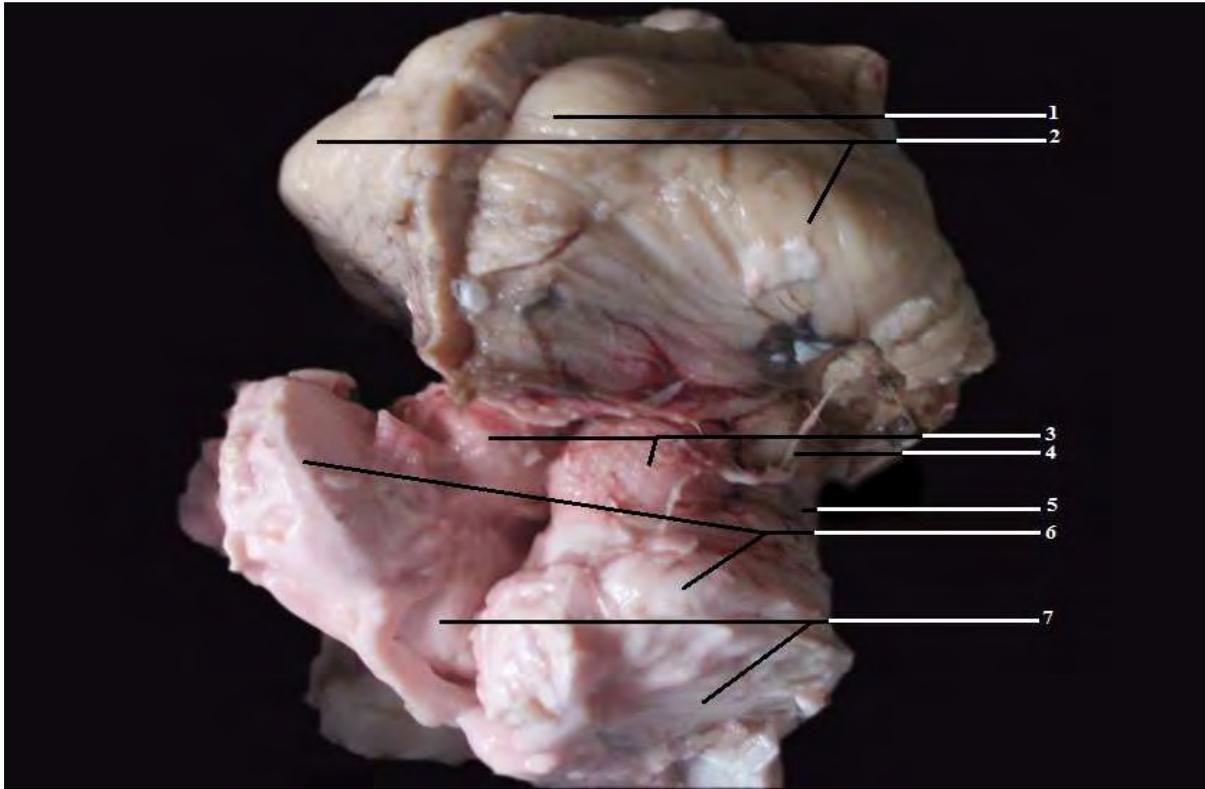


Photo.40 : Tronc cérébral de bovin : vue dorsale. 1) vermis 2) hémisphères cérébraux 3) collicules rostraux 4) collicule caudal 5) pédoncule cérébral 6) corne d'Ammon (hippocampe) 7)thalamus.

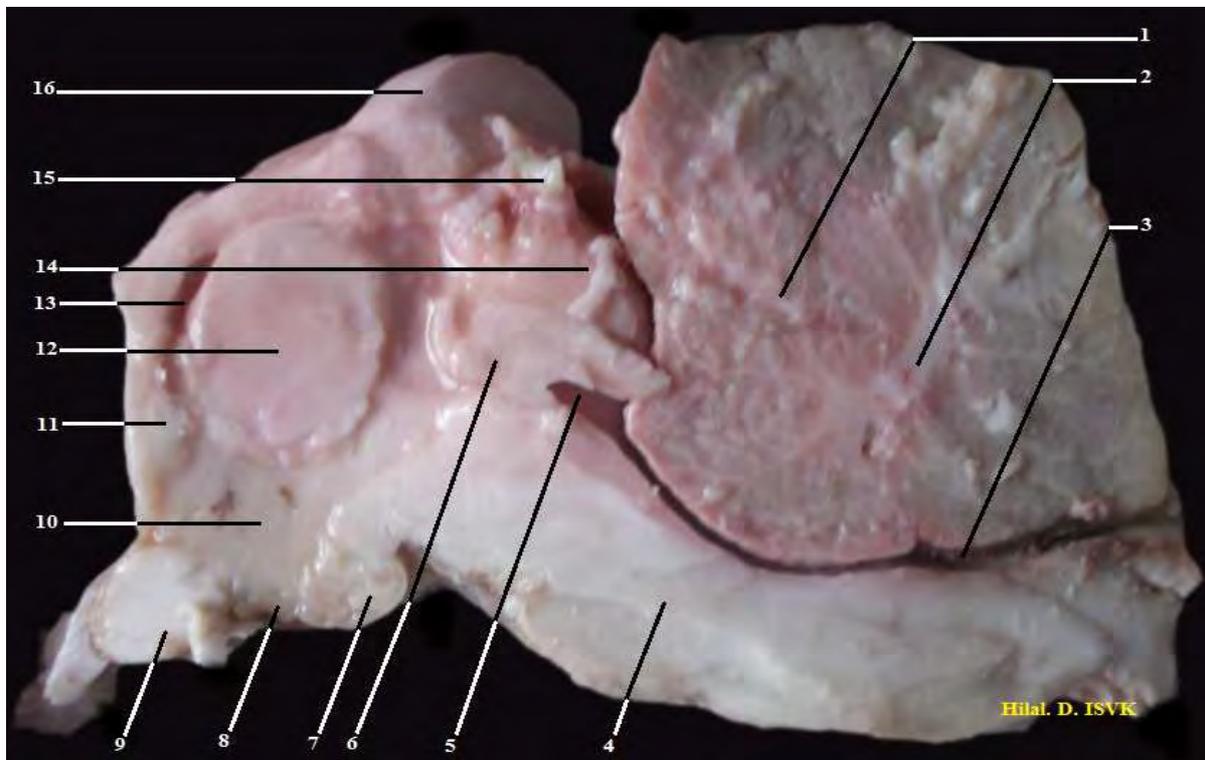


Photo.41 : Tronc cérébral de bovin : coupe médiane. 1) arbre de vie 2) corps médullaire du cervelet 3) quatrième ventricule 4) pédoncule cérébral 5) aqueduc de Sylvius 6) commissure caudale 7) corps mamillaire 8) pédoncule cérébral 9) voile médullaire rostral 10) voile médullaire rostral 11) glande pinéale 12) arbre de vie du cervelet 13) quatrième ventricule 14) moelle allongée 15) voile médullaire caudal 16) corps médullaire du cervelet.

tuber cinereum 9) chiasma optique 10) troisième ventricule 11) commissure rostrale 12) thalamus 13) foramen interventriculaire 14) collicule rostral 15) glande pinéale 16) corne d'Ammon (hippocampe).

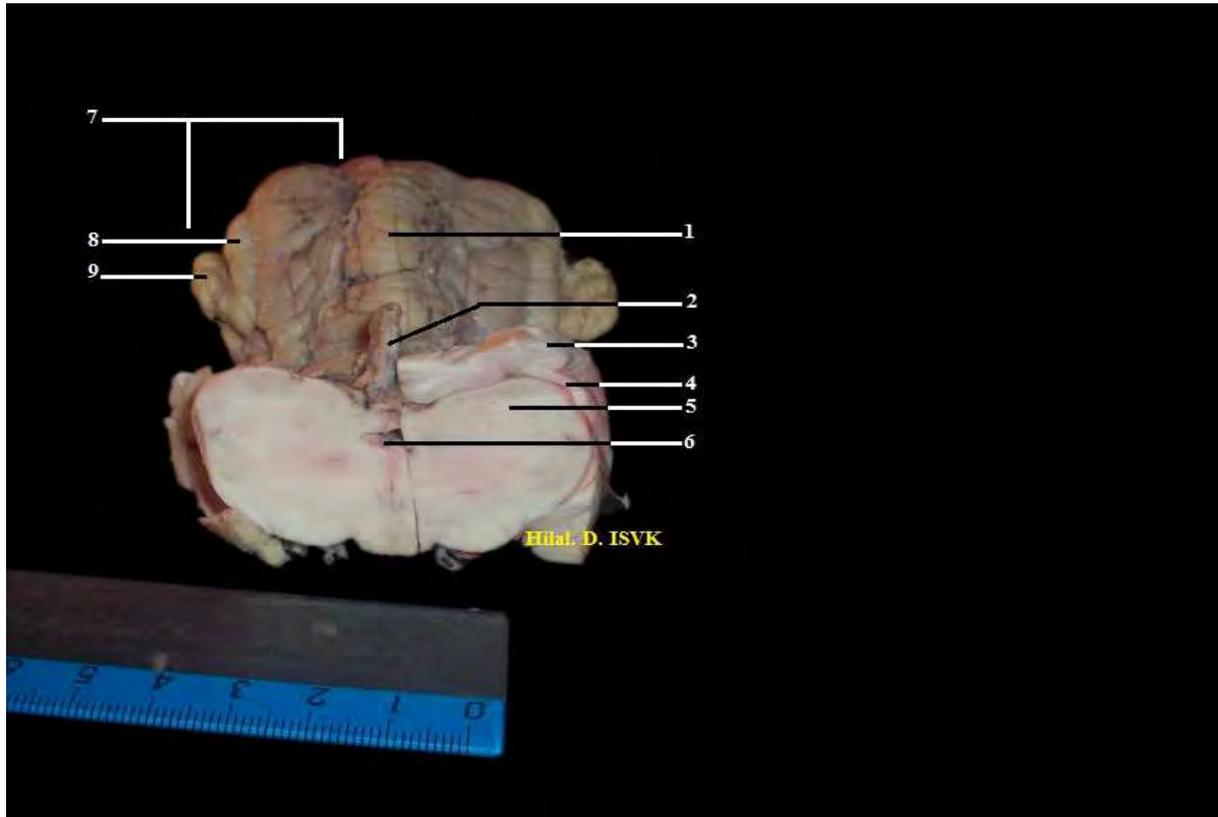


Photo.42 :Tronc cérébral de cheval : vue dorsale. 1) vermis 2) glande pinéale 3) hippocampe 4) crus du fornix 5) thalamus 6) aqueduc de Sylvius 7) hémisphère cérébrale 8) dorsal paraflocculus 9) ventral paraflocculus.

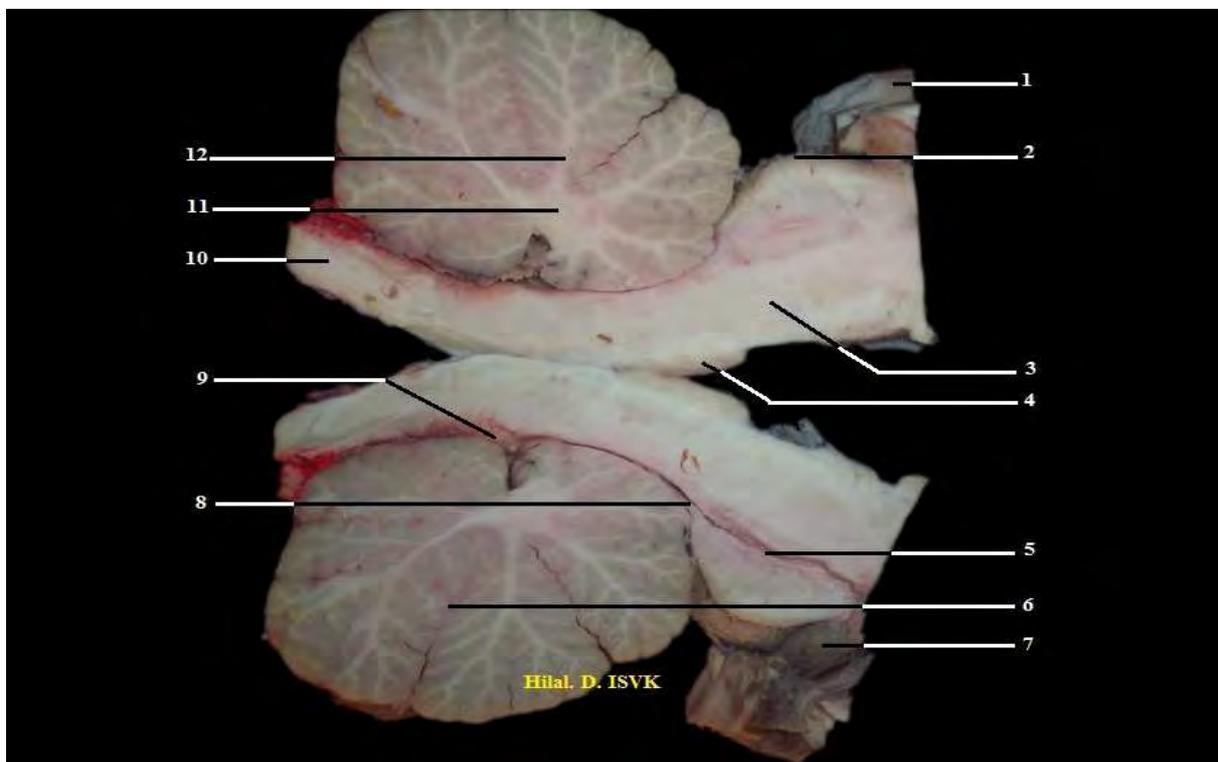


Photo.43 : Tronc cérébral de cheval : coupe médiane. 1) hippocampe 2) collicule rostral 3) pédoncule cérébral 4) pont 5) aqueduc de Sylvius 6) fissure cérébelleuse 7) glande pinéale 8) voile médullaire rostral 9) quatrième ventricule. 10) moelle allongée 11) corps médullaire 12) arbre de vie.

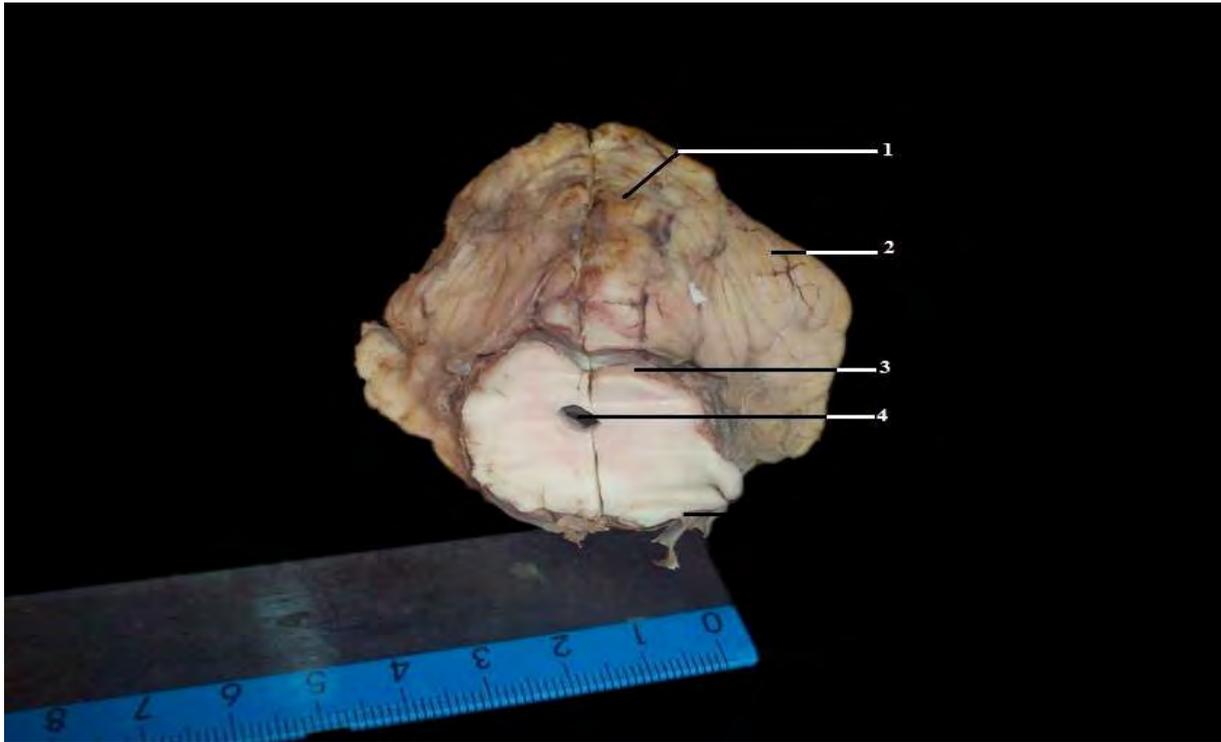


Photo. 44 : Tronc cérébrale de bovin : vue dorsale. 1) vermis 2) hémisphère cérébral 3) collicule rostral 4) aqueduc de Sylvius.

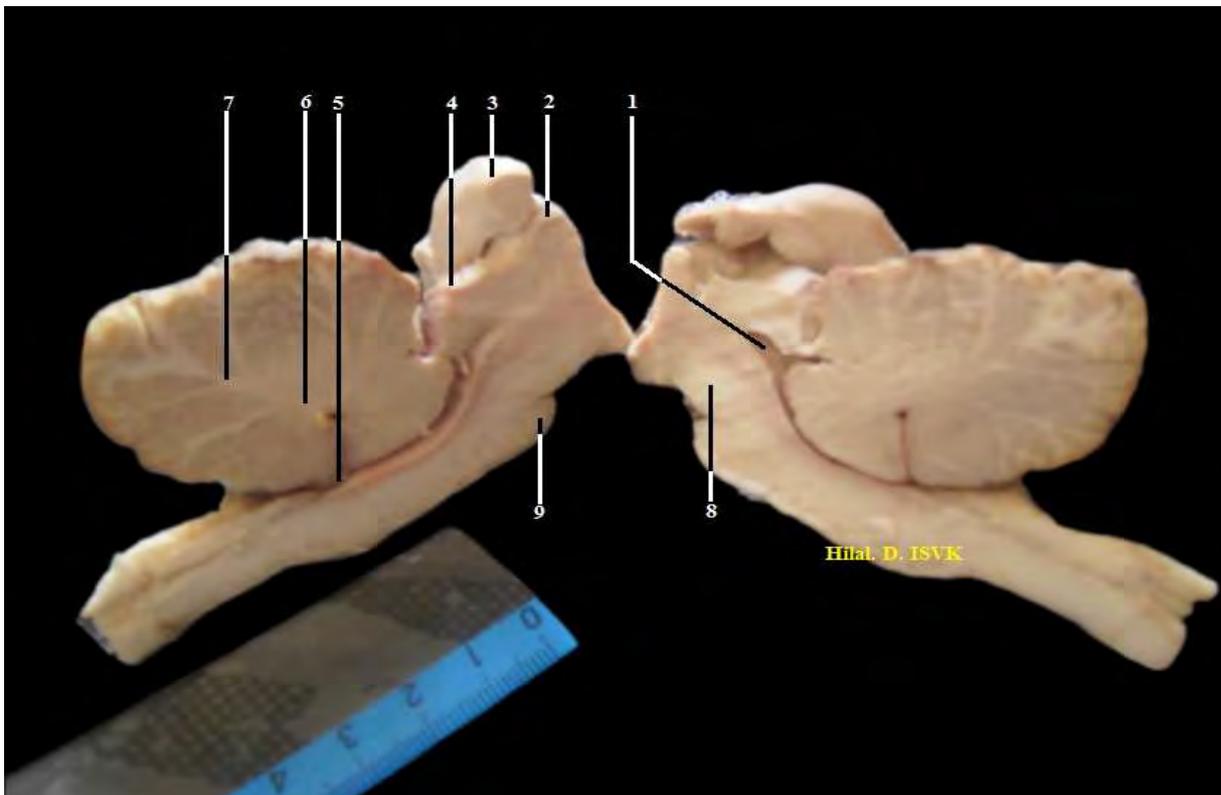


Photo.45 : Tronc cérébral de bovin : coupe médiane. 1) aqueduc de Sylvius 2) thalamus 3) hippocampe 4) collicule rostral 5) quatrième ventricule 6) corps médullaire 7) arbre de vie 8) pédoncule cérébral 9) pont.

Particularités présentes :

Dans cette partie de l'encéphale on a noté que la moelle allongée est plus large dans sa partie rostrale chez le bœuf que chez le cheval de même que les pyramides qui sont plus saillantes chez le bœuf. Le corps trapézoïde est aussi plus large et plus net chez le bœuf que chez le cheval.

Le cervelet est de forme globuleuse chez le cheval et étiré en largeur chez le bovin. Les hémisphères cérébelleux sont plus développés chez le cheval que chez le bovin. Les lobes paraflocculus dorsal et ventral sont nettement séparés par la fissure paraflocculaire chez le cheval. Le vermis est plus éminent chez le bovin mais plus fluctueux dans sa partie caudale chez le cheval.

| | longueur | largeur | profondeur |
|--------|----------|---------|------------|
| cheval | 54 mm | 65 mm | 43 mm |
| bovin | 48 mm | 58 mm | 42 mm |

Tableau.5 : Dimensions moyennes mesurées sur les cervelets des encéphales disséqués en millimètre.

On a aussi noté que les colliculus rostraux sont plus gros que les caudaux chez le cheval par contre ils sont un peu moins saillants chez le bovin.

III. 3. 6. Dissection de l'hypophyse

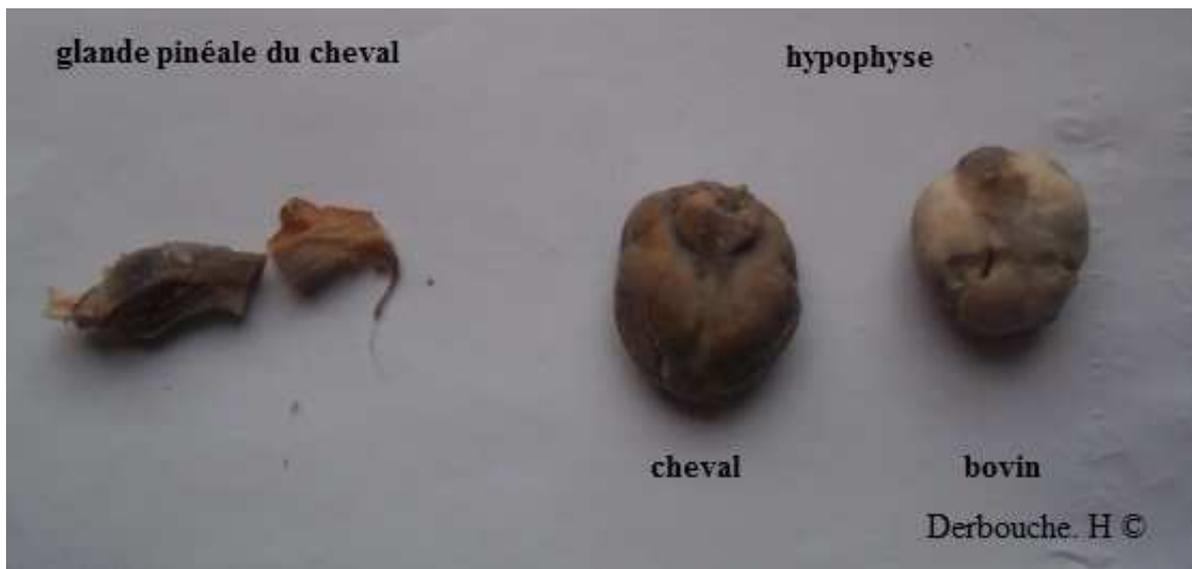


Photo.46 : Face dorsale de la glande pituitaire.

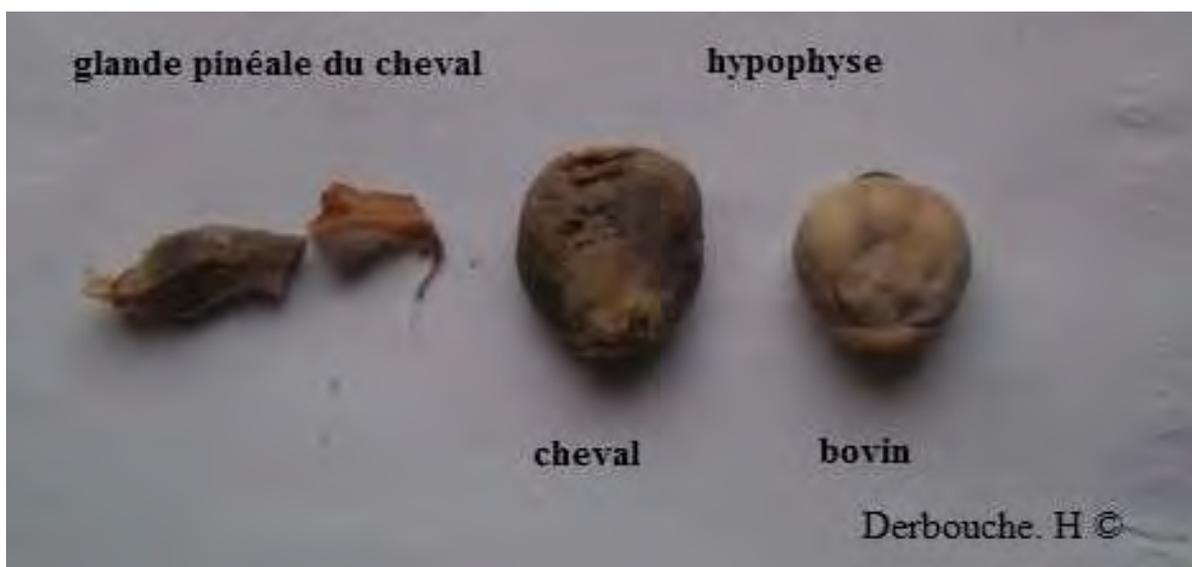


Photo.47 : Face ventrale de la glande pituitaire.



Photo.48 : Glandes pituitaires de cheval et de bovin : coupes horizontales.

1) adénohypophyse 2) lobe intermédiaire 3) neurohypophyse.

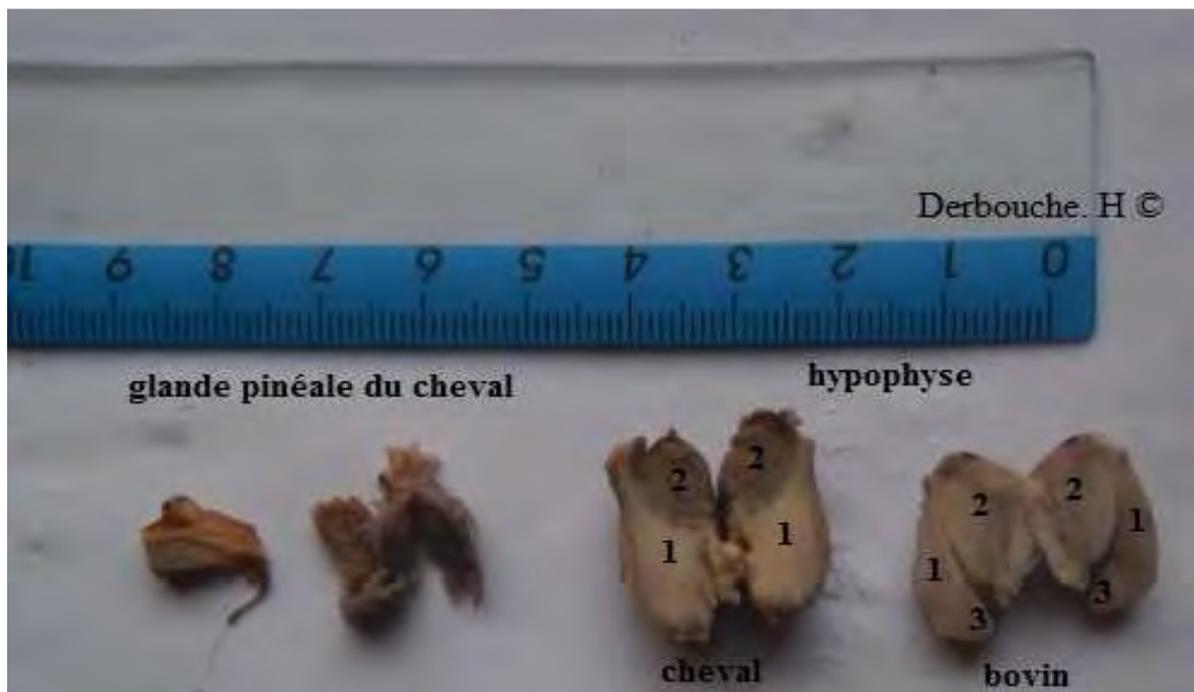


Photo.49 : Glandes pituitaires de cheval et de bovin : coupes médianes. 1) lobe postérieur (neurohypophyse) 2) lobe antérieur (adénohypophyse) 3) lobe intermédiaire.

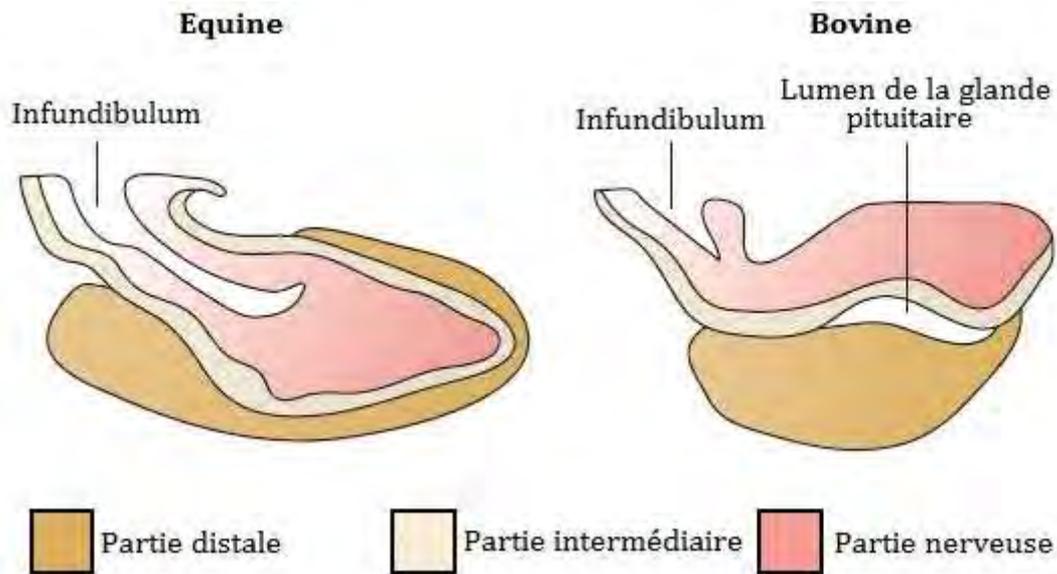


Fig.41 Glande pituitaire équine et bovine [49].

Particularités présentes :

La particularité la plus évidente concernant la glande pituitaire réside dans l'organisation de celle-ci. D'après les coupes réalisées sur cette glande et indiquées dans les photos précédentes ainsi que sur la représentation schématique, on note que chez le bovin la glande pituitaire est organisée en trois couches superposées : la couche supérieure est la partie nerveuse ou neurohypophyse ; la couche intermédiaire et la couche inférieure ou partie distale ou adénohypophyse. Chez le cheval cette disposition est modifiée avec la neurohypophyse enfermée dans l'adénohypophyse et entre les deux se trouve la partie intermédiaire.

Concernant le poids, les mesures prises sont mentionnées précédemment et on remarque que cette glande a presque le même poids chez les deux espèces, dans notre travail nous avons obtenu les poids moyens suivants ; (**1,67 g**) chez le bovin et (**1,70 g**) chez le cheval.

III. 3. 7. Dissection de l'œil

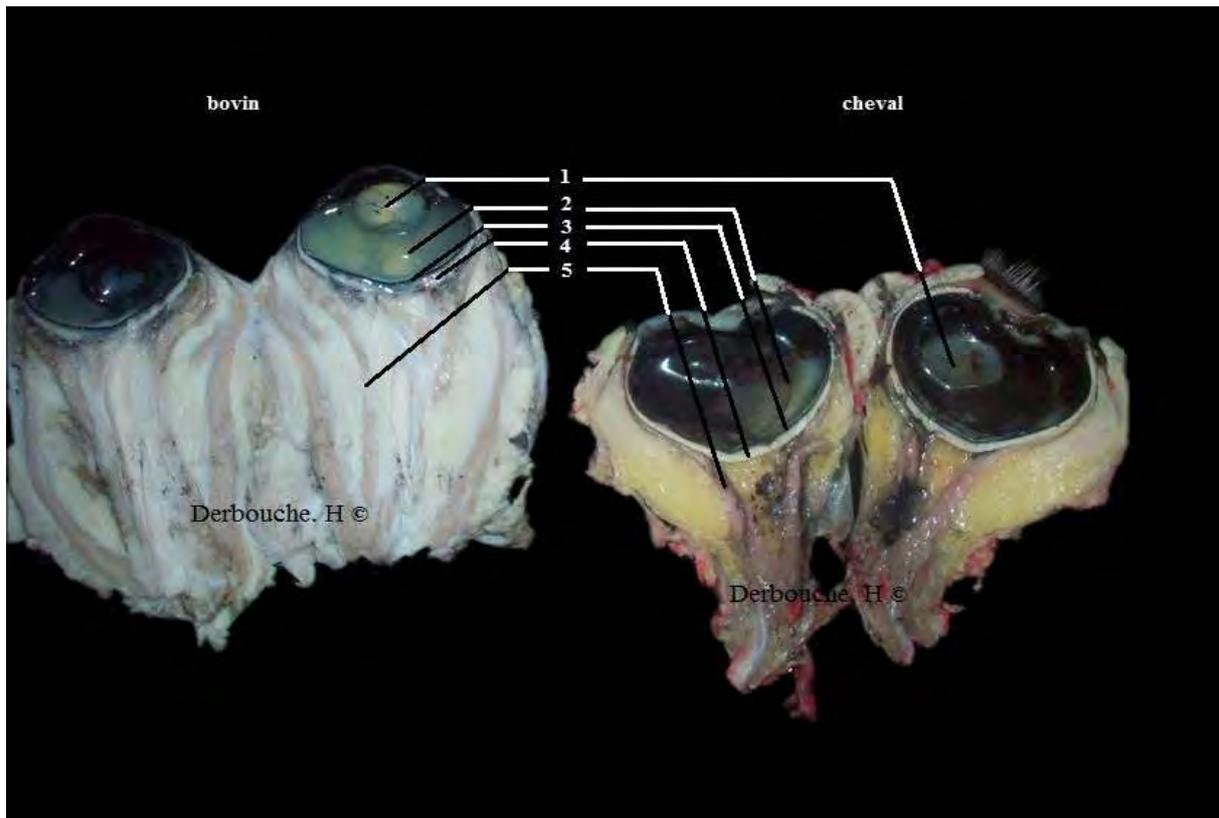


Photo.50 : Coupes longitudinales de l'œil de bovin et de cheval. 1) cristallin 2) humeur vitrée 3) rétine 4) sclère 5) muscle droit.



Photo.51 : Cristallins de cheval et de bovin.

Particularités présentes :

Les particularités les plus visibles de l'œil de cheval et de bovin sont principalement représentées par les dimensions du globe oculaire qui sont plus grandes chez le cheval que chez le bovin, une cornée plus épaisse chez le bovin (presque 2mm en moyenne) que chez le

cheval (environ 1mm). Le cristallin est plus large chez le cheval (environ 20 mm de moyenne) que chez le bovin (14mm).

III.4. Discussion et interprétation des résultats

III.4. 1. Télencéphale

(Çağdaş et al. 2009 [69]) a souligné que la forme et le nombre des sillons et circonvolutions sur les hémisphères du cerveau sont différents à la fois chez les animaux de même espèce et aussi au niveau des hémisphères gauche et droit du cerveau. (Jonathan et al. 2008 [38]) A affirmé que le télencéphale varie entre les espèces plus que les autres éléments de l'encéphale, son architecture est encore bien conservée. Le télencéphale de cheval a un diamètre transversal plus grand que celui du bœuf. (Barone. 1969 [3]) a trouvé que les sillons et les gyrus du cortex cérébral sont plus nombreux et plus serrés chez le cheval que chez le bovin. Il a donné des dimensions de cerveaux qui sont très proches des nôtres. De notre présente étude nous avons trouvé des informations très proches que celles trouvés par ces autours.

On a trouvé aussi que le volume, le poids et le rapport poids encéphale / poids carcasse sont supérieurs chez le cheval (données représentés dans le **Tableau.2**). (Proops. L, 2011 [107]) a dit que l'analyse comparative des espèces d'ongulés a révélé que les augmentations évolutionnaire de la taille du cerveau au fil du temps sont en corrélation avec l'augmentation de la socialité. En outre, les chevaux ont vu une encéphalisation considérable au fil du temps, avec seulement les primates et les cétacés subissent de plus grandes augmentations. Plus précisément, le sous-ordre des Hippomorpha qui ne contient qu'une seule famille existante, les équidés, a subi des augmentations particulièrement importantes d' encéphalisation par rapport à d'autres ongulés. La taille de néocortex chez les ongulés est prévu non pas par l'utilisation de l'habitat ou de la taille globale du groupe, mais par la complexité du groupe, ainsi les espèces vivantes principalement en groupes homogènes plus petits, tels que les chevaux, ont une taille de néocortex relatif plus grand que les espèces vivant dans les grandes concentrations non liées. ils ont un comportement de recherche la nourriture relativement simple, mais l'organisation sociale complexe et si les effets des deux peuvent être plus facilement démêlés et évalués. il est probable que toutes adaptations cognitives "avancées" des chevaux vont être poussés par les exigences sociales. L'hypothèse de l'intelligence sociale stipule que les grands cerveaux se développent en réponse aux exigences des grands processus qui surviennent lorsque les individus vivent en groupes sociaux complexes. Par rapport aux autres ongulés et

plusieurs autres taxons, les chevaux possèdent de gros cerveaux et aussi habitent un environnement social difficile qui a de nombreuses similitudes avec celles des espèces de primates sociaux.

De plus on a trouvé que l'hippocampe, qui est un gyrus interne du télencéphale et qui fait partie du système limbique, est asymétrique chez le bovin par contre chez le cheval il est symétrique et plus épais. Si cet aspect de l'hippocampe est une particularité constante chez cette espèce ? ceci reste à confirmer par d'autres études.

Selon (De Lahunta. 2009 [5]), (Maingaud. 2004 [7]), (Bolon.2011 [64]) « cette structure appartient au système limbique, portion du cerveau qui s'occupe de la vie affective et émotionnelle de l'animal. Cela correspond à l'instinct de fuite, de défense, de nutrition, de reproduction, et de protection du petit. Une partie de ce système limbique, appelée hippocampe à cause de son aspect, est le siège de la mémoire récente. Une lésion de cette zone donne des troubles de l'apprentissage ». (Morris, C. L et all [98]) confirme que les êtres vivants ont des systèmes cérébraux (circuits) différents pour les différentes émotions comme la peur et l'agressivité et que l'hippocampe est impliqué dans les processus cognitifs.

En plus le développement du gyrus cingulaire qu'on a observé, cela peut être l'un des différences structurelles probablement à l'origine de l'hyper émotivité du cheval qui le rend un animal de fuite grégaire.

(Boissy, A et all [99]) ont affirmé qu'il y a des preuves solides que les émotions sont basées sur l'activité neurale du système limbique qui assemble le cortex préfrontal, insulaire et cingulaire, l'hippocampe, l'amygdale et les noyaux septaux. Deux systèmes sensoriels ont un accès direct vers le système limbique ; i) les noyaux olfactifs projettent directement dans l'amygdale, ii) des afférents du corps géniculé médial ; les relais thalamique des signaux acoustiques. Chez les mammifères toutes les autres modalités sensorielles gagnent les centres limbiques y compris l'amygdale, après qu'elles procèdent respectivement à leurs aires corticales sensorielles. (Boissy, A et all [99]) ont dit aussi que les systèmes hippocampique et parahippocampique ont été impliqué dans la détection et l'évaluation des nouveaux événements qui sont incorporés dans les relations sémantiques, temporelles ou locales. La détection de la nouveauté exige l'identification perceptive et tente de faire correspondre l'entrée sensorielle réelle aux éléments stockés. Si cette tentative d'adaptation reste un échec, la situation est une nouvelle perception et peut exiger un effort accru. Par conséquent, devant un environnement enrichi ceci nécessite de l'activité et de l'exercice et des environnements favorables à la neurogenèse hippocampique et à la plasticité synaptique. Ce point de vue est

soutenu par l'implication du système hippocampique dans la médiation des réactions de stress, y compris la réponse de sursaut. Quand il n'y a rien de nouveau et exigeant, cependant, l'hippocampe exerce une influence inhibitrice sur l'axe de stress. (Etkin, A [100]) confirme aussi que la partie dorsale de l'hippocampe est impliquée dans le mémoire et d'autres fonctions cognitives : par contre la partie ventrale qui est connectée avec le corps amygdaloïde est impliquée dans l'anxiété. La partie antérieure du gyrus cingulaire (CCA) est impliquée dans l'activation et la stimulation des émotions.

Une autre étude sur la réactivité émotionnelle et les performances cognitives réalisée par (Van der Staay, F. J et all [97]); Ils ont démontré l'influence des émotions, telles que la peur et l'anxiété, sur l'apprentissage et la mémoire à travers l'implication de l'hippocampe (corne d' Ammon) et/ ou l'amygdale ; structures qui modifient les processus émotionnelles et cognitives. Bien qu'il y'ait une contradiction concernant la présence ou l'absence de cette influence : il est clair que ces structure cérébrales sont responsables de l'apprentissage et des émotions.

D'après (Davidson. J, R et all [101]) et (Howland. G, J et all 2010, [111]) la plasticité des circuits centraux des émotions est prise en considération et les expériences passées sont capables d' induire des changements dans l'hippocampe. Papez a théorisé que les fonctions centrales des émotions sont instanciés dans un circuit complexe impliquant l'hypothalamus, le noyau antérieur du thalamus, l'hippocampe et le cortex cingulaire. L'hypothalamus est considéré comme la structure imprégnée par les stimuli entrants ayant une signification émotionnelle, alors que le cortex cingulaire est considéré comme directement impliqué dans l'expérience émotionnelle. Plus récemment, MacLean (1949, 1952) a fait valoir que la formation hippocampique (un terme qui comprenait l'amygdale, une structure importante qui a été figuré en bonne place dans de nombreuses théories modernes de l'émotion) joue un rôle primordial dans l'expérience émotionnelle. Dans d'autres recherches, ils ont constaté que les rats exposés à un fort léchage / toilettage par les mères, présentaient une augmentation permanente des concentrations de récepteurs pour les glucocorticoïdes à la fois dans l'hippocampe et le PFC. Tous ces changements induits par léchage maternel précoce / toilettage et comportements associés impliquent des modifications dans le circuit central de l'émotion qui se traduisent par une diminution de la réceptivité au stress plus tard dans la vie. L'augmentation des récepteurs des glucocorticoïdes dans l'hippocampe et le PFC est susceptible de jouer un rôle important pour augmenter l'efficacité du feedback négatif de l'axe corticosurrénal. Une variété de recherches indique que l'exposition à des niveaux élevés

de glucocorticoïdes peut accélérer la perte des neurones de l'hippocampe et de produire des troubles cognitifs et affectifs. Les données sur l'influence des facteurs environnementaux dans la régulation de la densité des récepteurs des glucocorticoïdes dans l'hippocampe chez les animaux fournissent une base pour comprendre les effets possibles d'un traumatisme sur la structure et la fonction de l'hippocampe. D'autres études ont rapporté l'atrophie de l'hippocampe par IRM chez les patients souffrants de syndrome de stress post-traumatique. En outre, des études récentes ont également prouvé l'atrophie de l'hippocampe chez les patients souffrant de dépression majeure et de l'alcoolisme. En outre, la signification fonctionnelle de la réduction de volume de l'hippocampe n'est pas connue à l'heure actuelle. Néanmoins, ces points de convergence entre les études sur les animaux et la recherche humaine sont essentiels au développement d'une compréhension des événements stressants de la vie qui peuvent influencer le circuit central de l'émotion, qui à son tour façonne les modes de réactivité émotionnelle plus tard dans la vie.

(Davidson. J, R et all [101]) ont dit aussi que les facteurs de stress produisent des élévations du taux de cortisol, qui à son tour entraîner la mort des cellules de l'hippocampe et / ou la diminution de la neurogenèse hippocampique. Le volume de l'hippocampe avec une haute résolution IRM a révélé une atrophie significative. Cette atrophie peut survenir à la suite d'une exposition à des niveaux élevés de cortisol, comme plusieurs auteurs ont émis l'hypothèse. Sur le plan humain, les baisses en volume de l'hippocampe ont été liés à des niveaux élevés de cortisol. Les conséquences de ces changements ont été examinés dans le domaine cognitif, en particulier dans les mesures de la mémoire qui sont censés être à médiation hippocampique.

D'après (Harvey. H, B et all 2003, [123]) Il y a de plus en plus conscience de la possibilité que les troubles de l'humeur sont associés à une réorganisation structurelle neuronale et des dommages éventuellement de neurones et la mort cellulaire. Volumes de l'amygdale plus ou asymétriques ont été rapportés dans des études impliquant la dépression. L'études post-mortem chez des patients déprimés de manière récurrente montrent une atrophie des cellules et la perte de cellules gliales dans les zones corticales cérébrales et dans l'amygdale, ce qui suggère que la dépression à long terme peuvent entraîner une atrophie d'un certain nombre de structures cérébrales. Un petit hippocampe semble également associés à une plus grande durée de vie de la dépression, ce qui suggère que les épisodes dépressifs récurrents peuvent infliger une atrophie de l'hippocampe cumulé et éventuellement des dommages permanents. Ces auteurs ont suggéré que l'activité des glucocorticoïdes excessive pourrait être un facteur dans cette atrophie apparente, compatible avec le travail de Sapolsky

(2000). Cette notion est renforcée par la découverte récente que le volume de l'hippocampe n'est pas inférieur dans le premier épisode de dépression, mais qu'il devient plus petit de façon exponentielle avec des épisodes dépressifs récurrents. « *Dans le même temps, il existe des preuves montrant les contributions génétiques à la taille de l'hippocampe, ce qui indique que des études longitudinales et parallèles sont essentielles pour explorer plus en avant si l'atrophie de l'hippocampe est ainsi, au moins en partie, une cause que d'un effet de dépression* ».

(Sandi1. C et Pinelo-Nava. M, 2007 [122]) ont conclu « En bref, le travail cumulé indique que le stress chronique affecte nettement la morphologie hippocampique. Les niveaux de stress et de haute glucocorticoïdes peuvent supprimer la neurogenèse dans le gyrus denté et la survie des cellules. Dans la région CA3, le stress chronique a été montré pour entraîner des altérations structurales suivantes: (i) l'atrophie dendritique des neurones pyramidaux apicaux, (ii) la perte synaptique des synapses glutamatergiques excitateurs, (iii) une réorganisation au niveau de la microstructure à l'intérieur de la fibre moussue terminaux, (iv) une diminution de la surface spécifique de densités postsynaptiques, et (v) un retrait marqué des excroissances épineuses. Curieusement, des études récentes ont suggéré que les déficits de mémoire spatiale peuvent découler de dérèglement de l'axe HPA suivant les lésions hippocampiques, plutôt que d'être un effet direct de la blessure de l'hippocampe. En ce qui concerne le cortex préfrontal, le remodelage neuronal important se produit dans sa partie médiane comme une conséquence d'un stress chronique ou d'un traitement aux glucocorticoïdes prolongée, y compris l'atrophie dendritique ».

Donc il est possible que l'asymétrie de l'hippocampe que nous avons observé dans le cerveau des bovins est due à un stress prolongé qui provoque une perte importante des neurones et donc atrophie de celui-ci. Le stress peut être provoqué par la séparation ou isolation qui est fortement stressante chez les bovins. En effet les deux bovins utilisés dans notre étude sont des mâles avec un âge de (18 mois, 24 mois) donc ils sont séparés pour l'engraissement ou bien ce stress est provoqué par d'autres facteurs ?.

La photo suivante montre ces variations structurelles observées dans les deux encéphales de cheval et de bovin.

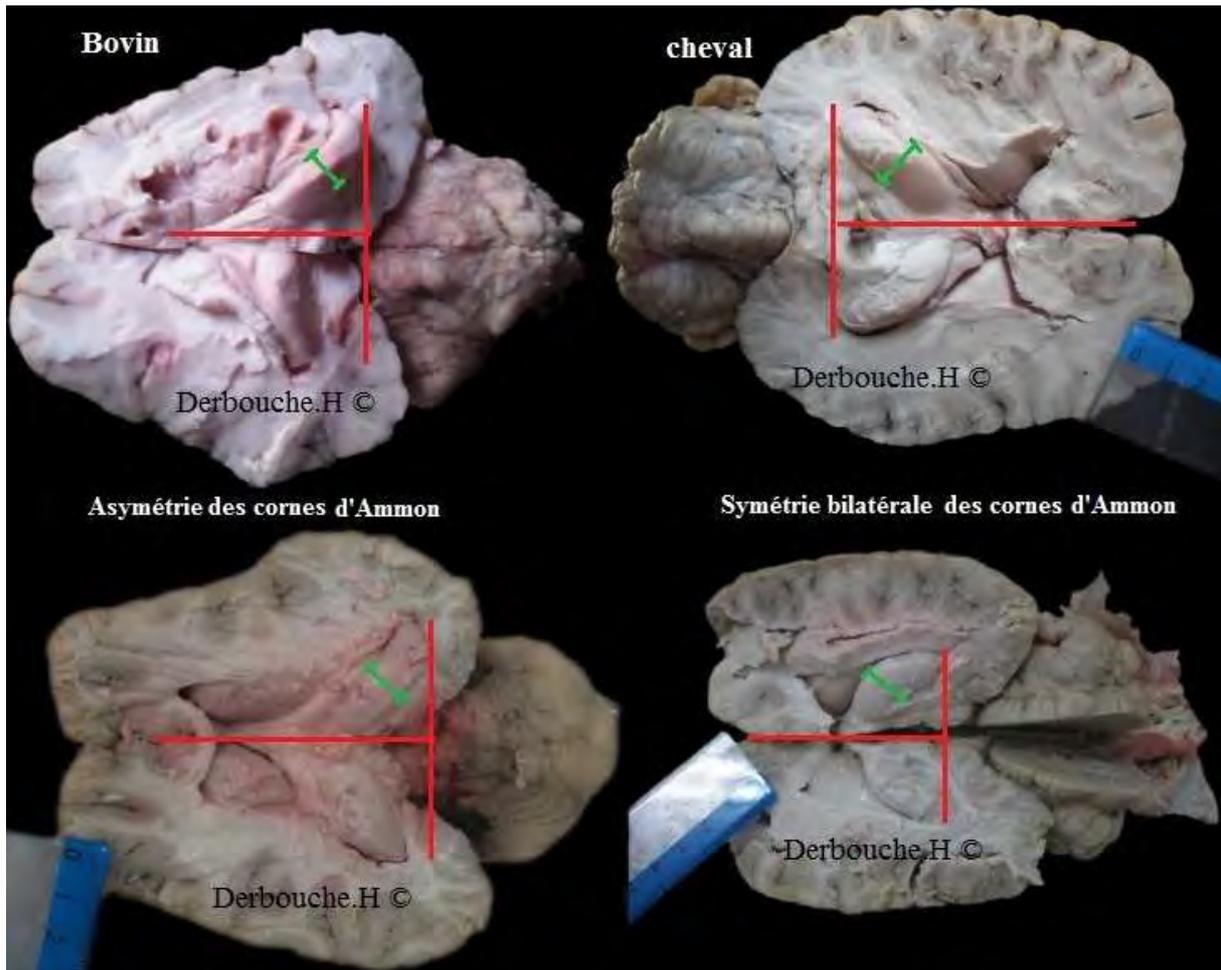


Photo.52 : Coupes horizontales montrant les variations structurelles entre le cheval et le bovin.

III.4. 2. Rhinencéphale

Dans cette région de l'encéphale il y a un développement plus important du bulbe et des pédoncules olfactifs chez le cheval. L'artère carotide interne est relativement plus importante chez le cheval que chez le bœuf. Présence du réseau admirable alimenté par l'artère maxillaire chez le bœuf et qui est absent chez le cheval ; ces résultats sont confirmés par (Jonathan et al. 2008 [38]) et (Barone. 1969 [3]). La vascularisation de l'encéphale est relativement plus développée chez le cheval bien que son organisation reste conservée chez ces deux espèces animales et qui est en rapport avec le volume de l'encéphale.

III.4. 3. Tronc cérébral

Les dimensions du cervelet qu'on a trouvés sont en accord avec celles trouvées par Barone (Barone. R 1969 [3]) et qui sont proportionnelles au volume de l'encéphale. Le développement plus affirmé du colliculus rostral chez le cheval (Barone. R 1969 [3]). La

section de l'adhésion interthalamique est un peu plus grande chez le cheval. Le Corps trapézoïde est nettement plus développé, la moelle allongée est plus large dans sa portion rostrale chez le bœuf, (Barone. R 1969 [3]).

III.4. 4. Hypophyse

L'architecture de cette glande est différente chez le cheval et le bovin, mais le poids de celle-ci est presque le même. Si on prend le rapport poids hypophyse / poids encéphale comme l'a fait (Çağdaş et all. 2009 [69]), ce rapport va être supérieur chez le bovin, mais si on prend le rapport poids hypophyse / poids carcasse ceci va s'inverser pour devenir supérieur chez le cheval. En effet les cellules cibles des hormones hypophysaires se localisent hors de l'encéphale.

III.4. 5. Œil

Le volume du bulbe de l'œil est supérieur chez le cheval ; il en est de même pour le cristallin qui est aussi plus large chez le cheval. Les dimensions trouvées sont en accord avec celles trouvées par (Barone. 1969 [3]), ceci confirme les particularités citées dans le chapitre capacités sensorielles chez le cheval, ces particularités macroscopiques observées dans l'œil du cheval lui donnent probablement davantage de performances que le bovin.

Il est possible que ces particularités soient derrière les aptitudes visuelles chez le cheval. (Proops. L, 2011 [107]) suggère que les chevaux sont des animaux essentiellement visuels et ont une bonne acuité visuelle, environ 20/33 vision, mieux que les chiens et les chats. Les chevaux sont capables de détecter des changements très subtils dans la posture du corps, non seulement dans leur propre espèce, mais aussi chez les humains. Des rapports anecdotiques suggèrent également que les chevaux sont capables de faire la discrimination visuelle entre les individus familiers et inconnus. Lorsque des étalons en liberté ont été réunis avec leurs juments après 1 an, ils ont immédiatement approché leurs anciens camarades dans un grand troupeau.

III.5. Conclusion I

D'après notre présente étude, on a pu conclure que l'architecture et l'anatomie de l'encéphale sont en général proches entre le cheval et le bovin, excepté quelques particularités observées :

- ❖ le volume de l'encéphale du cheval est supérieur à celui du bovin et donc la surface du néocortex est supérieure chez le cheval.
- ❖ Le gyrus cingulaire et l'hippocampe sont plus développés chez le cheval que chez le bovin. L'hippocampe est asymétrique chez le bovin contrairement à celui du cheval qui est symétrique. Cette observation (asymétrie de l'hippocampe) peut être une particularité anatomique chez l'espèce bovine ou bien c'est une atrophie qui résulte d'un stress intense et prolongé selon d'autres études.
- ❖ L'artère carotide interne est développée chez le cheval et réduite chez le bovin. Présence du réseau admirable chez le bovin, par contre il est absent chez le cheval.
- ❖ Les poids des hypophyses de cheval et de bovin sont très proches.
- ❖ Le bulbe de l'œil de cheval est plus grand que celui du bovin, de même que pour le cristallin qui est extrêmement large chez le cheval.

On peut conclure, d'après ce qui précède, que l'encéphale et l'œil de cheval sont relativement plus perfectionnés que ceux du bovin. Ces différences anatomiques observées peuvent avoir des conséquences sur le psychisme et le comportement chez le cheval et le bovin. Mais du fait de la complexité du système nerveux central on doit encore chercher plus pour mieux comprendre le fonctionnement et la physiologie de ce système en utilisant davantage de moyens de la technologie moderne et d'utiliser de multiples tests pour explorer la réactivité émotionnelle chez ces animaux.

IV. Dosage du cortisol

IV.1. Matériels et méthode

Avant de procéder au dosage du cortisol, on doit prélever des échantillons de sang chez les deux espèces animales étudiées. Ces échantillons doivent passer par des étapes de conditionnement, de préparation, et éventuellement une conservation si le dosage n'est pas réalisé le jour même.

IV.1.1. Prélèvements du sang

Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'une seringue de 5 ml, au niveau de la veine jugulaire sur des chevaux mâles et femelles, tenus par un licol, au centre de remonte de Sidi Mabrouk à Constantine ; ainsi que sur des bovins mâles et femelles dans différentes fermes entre 10:00 h et 11 : 00 h du matin.

a) Prélèvements sur les chevaux : réalisés sur cinq (5) chevaux de race "arabe barbe", quatre mâles et une femelle. Pour confirmer les résultats, et avoir une idée sur leur évolution on a refait le dosage une 2eme fois une semaine après.

b) Prélèvements sur les bovins : réalisés sur trois races différentes, cinq (5) bovins pour chaque race, (race FFPN, race Montbéliarde, vaches de la ferme de l'institut) qui vivent dans des milieux sociaux différents, et qui s'exposent à des facteurs de stress différents. Cela nous indique l'effet du facteur de la race et du milieu environnant sur la réponse au stress.



Photo.53 : Prélèvement du sang au niveau de la veine jugulaire chez la jument " Queen "

IV.1.2. Conditionnement, préparation et conservation

-Recueillir le sang dans des tubes secs sans additifs, des tubes héparinés ou contenant de l'EDTA.

- Séparer le sérum ou le plasma par centrifugation.- Les échantillons sériques ou plasmatiques peuvent être conservés à des températures variant de 2-8°C si le dosage est réalisé dans les 24 heures; Si non, il est préférable de les conserver congelés (< - 18°C) et de préférence aliquotés, afin d'éviter les congélations et décongélations successives.



Photo.54 : Conditionnement et transport des prélèvements.

IV.1.3. Facteurs de stress utilisés

Les tests utilisés sont souvent réalisés un par un mais dont certaines études sont combinées [104].

IV.1.3.1. Test du parapluie, *Umbrella Exposure test (UE test)*

Un parapluie coloré est présenté pour la première fois et ouvert brutalement à 1 m de la tête de l'animal pour créer un stress. Ce test a permis d'évaluer les réactions de peur, de mesurer les paramètres physiologiques des animaux et de comparer les valeurs obtenues avant et après l'exposition au test(*UE test*). Au cours du test, les animaux ont été soumis à deux types de stress que sont la confrontation à la nouveauté (*novel object = a closed umbrella*),et la soudaineté (*sudden event = the sudden opening of the umbrella*) [8,9,10,14,52, 92,102, 104,105, 106, 108, 109,110, 113].

IV.1.3.2. Test de l'homme, *human exposure test (HE test)*

La présence de l'homme est un autre facteur de stress pour l'animal [9, 14,52, 92, 104, 108,110].

IV.1.3.3. Manipulations négative

le premier prélèvement est utilisé comme facteur de stress. Les réactions comportementales indicatrices de stress sont également plus fréquentes chez les animaux qui

ont eu une expérience négative de la manipulation. À la fin on a l'accumulation de plusieurs facteurs de stress [42, 46, 51,89, 104, 108, 109, 113].

Après la réalisation du premier prélèvement (repos), le test de parapluie se déroule en deux phases, la 1^{er} phase pendant laquelle le parapluie est fermé, l'examineur prend une position debout devant l'animal à tester, avec le parapluie maintenu fermé pendant 30" secondes, l'animal va fixer le regard sur le parapluie et va essayer d'identifier l'objet. La 2^{eme} phase, avant de lancer l'ouverture du parapluie on doit s'assurer que le regard de l'animal est sur le parapluie, après l'ouverture, le parapluie est maintenu ouvert pendant 30" secondes aussi, pour donner le temps à l'animal d'interagir avec l'ouverture soudaine du parapluie. Cette opération est répétée deux fois pour chaque animal. On doit attendre environ 20' minutes pour faire le premier prélèvement après la réalisation du test [9].

❖ Réalisation du test, 1^{ere} réaction :

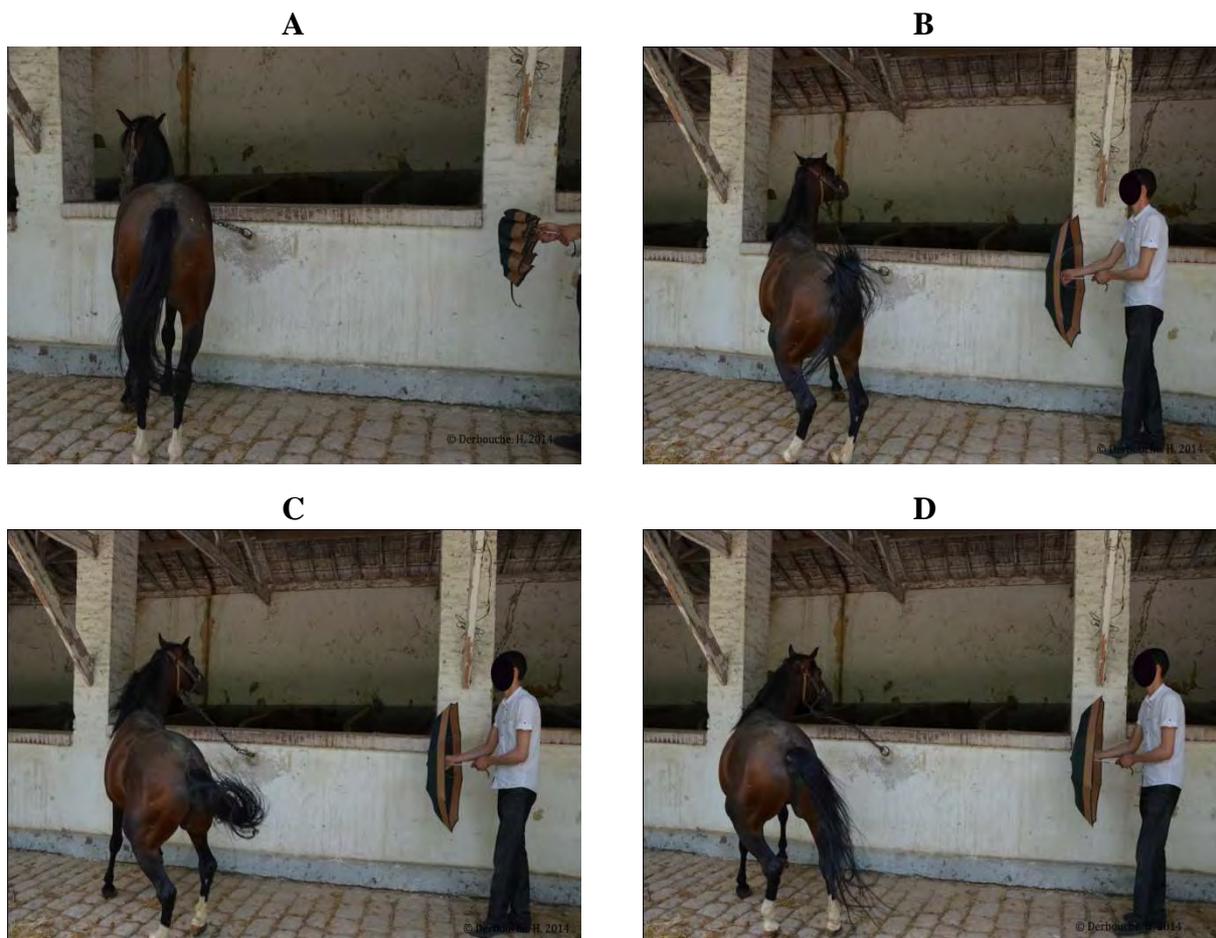


Photo.55 : Test du parapluie avec présence de l'examineur devant un cheval. (A, B, C, D montrent les étapes successives de la réaction de l'animal).

❖ Réalisation du test, 2^{ème} réaction :

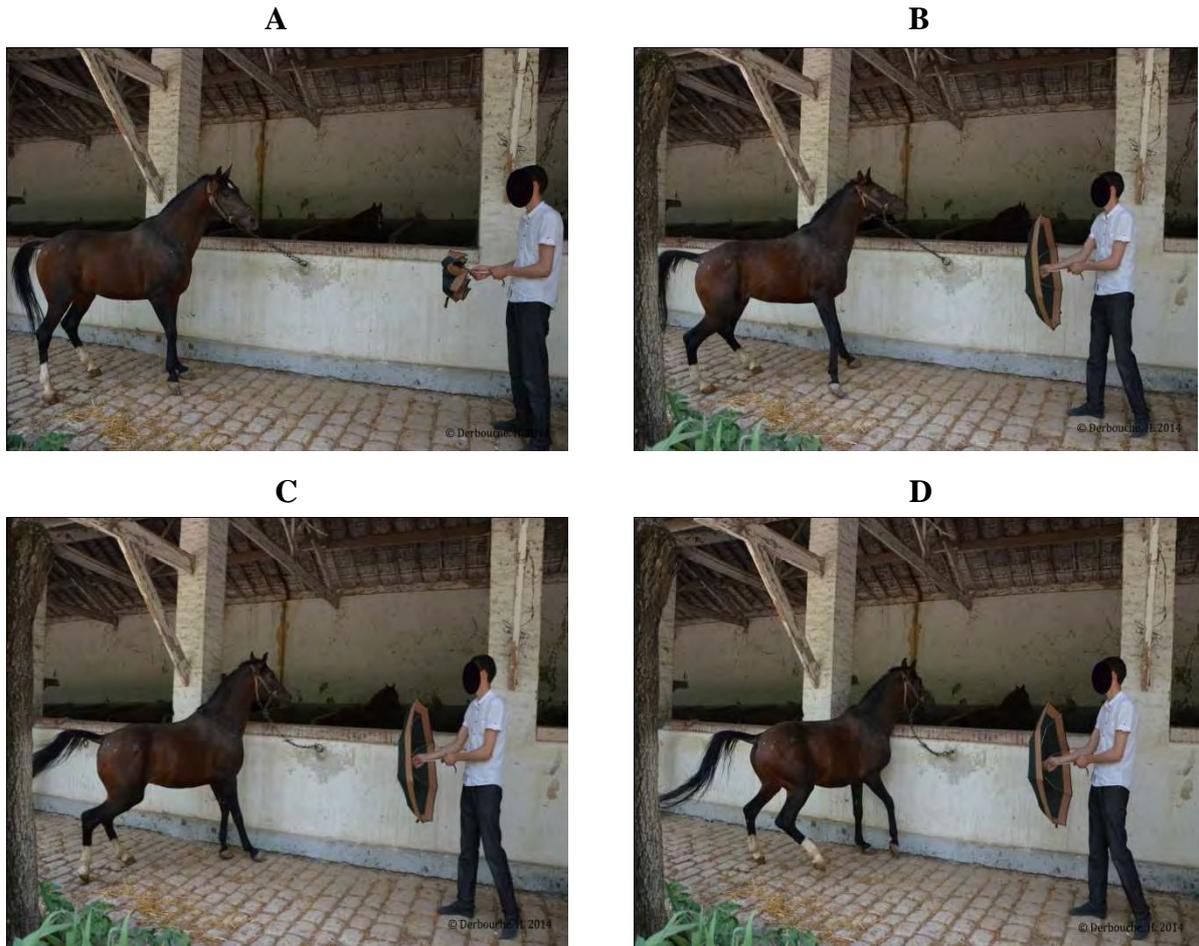


Photo.56 : Test du parapluie avec présence de l'examineur devant un cheval. (A, B, C, D montrent les étapes successives de la réaction de l'animal).

IV.1.4. Dosage

Cortisol *RIA KIT*

IV.1.4.1. Matériel nécessaire pour dosage du cortisol plasmatique

- Micropipette de précision (50 μ l)
- Pipette semi-automatique (500 μ l)
- Mélangeur de type vortex.
- Agitateur à mouvement de va-et-vient horizontal ou à plateau oscillant.
- système d'aspiration.
- compteur gamma calibré pour l'iode 125.

IV.1.4.2. Principes de la méthode

Le dosage radio-immunologique du cortisol est un dosage par compétition. Cette même trousse permet de doser:

- soit directement sur sérum, plasma ou urines;
- soit après extraction des urines au dichlorométhane et évaporation du solvant, sur des extraits remis en solution dans le calibrateur zéro.

Les échantillons sériques, plasmatiques ou urinaires, le contrôle, les extraits urinaires à doser ou les calibrateurs sont incubés dans des tubes recouverts d'anticorps monoclonal avec un traceur cortisol marqué à l'iode 125. Après incubation, le contenu du tube est vidé par aspiration, puis la radioactivité liée est mesurée. Une courbe d'étalonnage est établie. Les valeurs inconnues sont déterminées par interpolation à l'aide de cette courbe.

IV.1.4.3. Réactifs

- Tubes revêtus d'un anticorps monoclonal anti-cortisol
- Traceur cortisol marqué à l'iode 125
- Calibrateur (contiennent entre 0 à 2000 nM de cortisol dans un tampon contenant de l'albumine sérique bovine, de l'azide de sodium)

Plage de mesure : De la sensibilité analytique au calibrateur le plus élevé 10 - 2000 nmol.

IV.2. Résultats et discussion

IV.2.1. Résultats obtenus

IV.2.1.1. Bovin

A) Groupe G1 : Vaches de la ferme de l' ISVK :

| Animal | Bovin 1 | Bovin 2 | Bovin 3 | Bovin 4 | Bovin 5 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Situation | | | | | |
| Repos Cortisol ng/ml | 32.04 | 36.31 | 35.57 | 23.89 | 32.54 |
| Stress Cortisol ng/ml | 36.64 | 40.23 | 26.26 | 27.16 | 24.22 |

Tableau.6 : Résultats d'analyse du groupe 1. Cortisol plasmatique bovine au repos et au stress.

B) Groupe G2 : race *FFPN* :

| Animal | Bovin 1 | Bovin 2 | Bovin 3 | Bovin 4 | Bovin 5 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Situation | | | | | |
| Repos Cortisol ng/ml | 4.54 | 1.99 | 2.32 | 2.79 | 2.65 |
| Stress Cortisol ng/ml | 3.12 | 2.22 | 2.76 | 3.37 | 2.43 |

Tableau.7 : Résultats d'analyse du groupe 2. Cortisol plasmatique bovine au repos et au stress.

C) Groupe 3 : race Montbéliarde :

| Animal | Bovin 1 | Bovin 2 | Bovin 3 | Bovin 4 | Bovin 5 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Situation | | | | | |
| Repos Cortisol ng/ml | 4.63 | 3.18 | 13.34 | 3.86 | 7.44 |
| Stress Cortisol ng/ml | 2.96 | 1.93 | 4.82 | 13.37 | 5.02 |

Tableau.8 : Résultats d'analyse du groupe 3. Cortisol plasmatique bovine au repos et au stress.

IV.2.1.2. Cheval (arabe barbe)

A) Le premier prélèvement :

| Animal | Ouafi | Nectar | Dris | Nansouk | Queen |
|-----------------------------|-------|--------|-------|---------|-------|
| Situation | | | | | |
| Repos Cortisol ng/ml | 10.76 | 7.17 | 25.39 | 7.90 | 5.70 |
| Stress Cortisol ng/ml | 15.88 | 8.02 | 27.20 | 9.31 | 24.90 |

Tableau. 9 : Résultats d'analyse du 1^{er} prélèvement. Cortisol plasmatique équin au repos et au stress.

B) Le deuxième prélèvement :

| animal | Ouafi | Nectar | Dris | Nansouk | Queen |
|-----------------------------|-------|--------|-------|---------|-------|
| situation | | | | | |
| Repos Cortisol ng/ml | 7.45 | 9.99 | 19.64 | 7.69 | 11.98 |
| Stress Cortisol ng/ml | 7.97 | 7.71 | 20.45 | 10.85 | 15.26 |

Tableau.10 : Résultats d'analyse du 2^{ème} prélèvement. Cortisol plasmatique équin au repos et au stress.

IV.2.2. Discussion

IV.2.2.1. Réactions comportementales des animaux devant les tests

Pendant la réalisation des tests nous avons observé des réactions comportementales variées et d'intensités différentes au sein du même groupe animal. Pour tous les animaux exposés au stress la réaction se traduit par un sursaut en essayant d'éviter ces facteurs de stress. Parmi les bovins du groupe 1 (G1) qui font des réactions comportementales fortes et violentes par rapport aux autres groupes, c'est chez le bovin 1 (mâle) et le bovin 2 (femelle) que la réaction comportementale était la plus forte. Ces animaux montrent des réactions de peur et refusent d'être manipulés par les humains, et ne refusent même pas le rapprochement du manipulateur, secoue de la tête, recule vers l'arrière, et essaient d'échapper...ces animaux

montrent aussi des valeurs de cortisol plasmatique les plus élevées par rapport aux autres groupes.

Chez la race FFNP, les individus de ce groupe étaient calmes et les prélèvements sont réalisés en présence de l'éleveur d'une manière facile et douce. Les prélèvements sont réalisés sur quatre femelles et un mâle. La vache 1 était en 14^{ème} jours postpartum et elle présente une cortisolémie légèrement élevée par rapport aux autres individus de ce groupe.

Chez la race Montbéliard qui est connue comme une race nerveuse, les animaux de ce groupe étaient calmes et sociaux entre eux, mais ils ne supportent pas les manipulations douloureuses comme la réalisation de prélèvement au niveau de la veine jugulaire, une vache a refusé même le toucher de sa peau par l'aiguille et a réagi violemment mais enfin nous avons décidé de la remplacer par une autre vache. Dans ce groupe c'est le bovin 4 qui a montré des réactions de peur exagérées avec des vocalisations de peur, secouements de la tête et des mouvements de la queue qui sont des signes d'anxiété extrême et c'est chez cet animal que la valeur de cortisol plasmatique après stress était la plus élevée par rapport aux autres individus de ce groupe (G3).

(Forkman, B et all, [104]) ont fait une étude sur les tests utilisés pour créer un stress chez les bovins, les porcs, les ovins et les chevaux, d'après cette étude ils ont remarqué que les comportements les plus fréquemment enregistrés sont; les comportements éliminatoires (défécation, miction), la posture de corps, les tentatives d'échapper et les vocalisations. (Blache, D et all, [53]) ont aussi parlé du comportement d'évitement et des tentatives d'échapper lors du test de séparation social et le test de contact avec l'homme.

Chez les chevaux les réactions comportementales étaient fortes comme indiquées dans les photos précédentes, certains chevaux considérés comme nerveux, c'est le cas pour « Dris » (c'est le cheval Dris qui apparaît dans les photos montrant le test de parapluie) qui a réagi violemment aux minimales modifications de leur environnement par un sursaut et a essayer de franchir l'obstacle devant lui « le mur ». Comme le montre les photos précédentes la masse musculaire de ce dernier est tendue, l'animal est fortement agité, les oreilles orientées vers la source du bruit, le regard fixé sur le parapluie, émission de souffles de peur et des ronflements, cela se traduit sur le plan endocrine par la valeur la plus élevée de cortisolémie. Ces réactions sont aussi présentes chez les autres chevaux pendant la réalisation des tests, mais à des degrés d'expression différentes. Pour la jument « Queen » elle refuse le rapprochement du manipulateur en tournant son train postérieur contre ce dernier, ce comportement de défense peut être expliqué par une situation de stress et d'anxiété. Ces

comportement sont aussi observés par (Barbier, M et all [102]) sur des chevaux qui font un sursaut et essayent d'échapper, en plus ils ont enregistré une augmentation de la fréquence cardiaque. Selon (Pajor, A, E et all [103]) ils ont pu observer dans une étude réalisée sur le vison américain que cet animal réagit aux stimuli auditifs par la mobilisation de la tête ou du corps vers la source du bruit. Une autre étude réalisée sur les ovins montre que les brebis manipulées par les humains durant les différents tests, se rapprochent moins fréquemment aux humains et vocalisent plus fréquemment durant le test de nouveauté (*novel object*). (Forkman, B et all [104]), (Lansade, L et all [105]), (Górecka, A et all [109]), (Genet, J [110]) ont remarqué que les comportements les plus fréquemment enregistrés chez les chevaux devant ces tests sont; l'activité motrice, sursaut, la position de vigilance, les tentatives d'échapper et les vocalisations.

IV.2.2.2. Analyse statistique des données

Un logiciel MINITAB version 15 est utilisé pour l'analyse des résultats obtenus par le principe ANOVA (analyse of variance) à un facteur. Le résultat est considéré comme significatif si la valeur p est inférieure à 0,005 ($P \leq 0,005$).

A) Comparaison repos / stress :

| animal | bovin | | | | | | cheval | | | |
|-----------------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-----------------------------|--------|------------------------------|--------|
| groupe | G1 | | G2 | | G3 | | 1 ^{er} prélèvement | | 2 ^{ème} prélèvement | |
| situation | repos | stress | repos | stress | repos | stress | repos | stress | repos | stress |
| moyen | 32,07 | 30,90 | 2,84 | 2,78 | 6,49 | 5,62 | 11,38 | 17,06 | 11,35 | 12,44 |
| Ecart type | 4,93 | 7,07 | 0,95 | 0,47 | 4,15 | 4,52 | 8,04 | 8,76 | 4,98 | 5,40 |
| Valeur P | 0,770 | | 0,903 | | 0,760 | | 0,317 | | 0,747 | |
| Significativité | Non significative | | Non significative | | Non significative | | Non significative | | Non significative | |

Tableau.11 : Représentation des données statistiques après analyse par Minitab 15. Comparaison entre les valeurs au repos et les valeurs après stress.

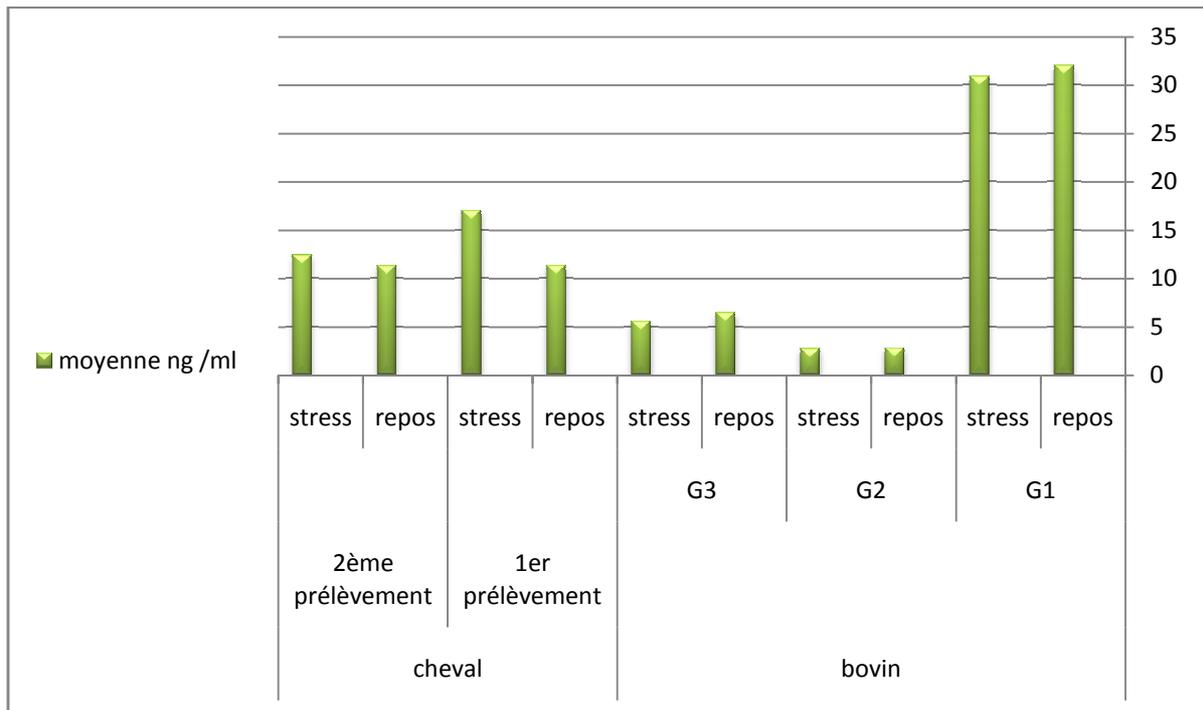


Fig.42 : représentation graphique des moyennes des différents groupes au repos et au stress.

B) Comparaison cheval / bovin :

| Situation | Repos | | | Stress | | |
|-------------------|------------------------------------|----------|----------|------------------------------------|----------|----------|
| | Cheval 1 ^{er} prélèvement | Bovin G3 | Bovin G1 | Cheval 1 ^{er} prélèvement | Bovin G3 | Bovin G1 |
| 1 | 10,76 | 4,63 | 32,04 | 15,88 | 2,96 | 36,64 |
| 2 | 7,17 | 3,18 | 36,31 | 8,02 | 1,93 | 40,23 |
| 3 | 25,39 | 13,34 | 35,57 | 27,20 | 4,82 | 26,26 |
| 4 | 7,90 | 3,86 | 23,89 | 9,31 | 13,37 | 27,16 |
| 5 | 5,70 | 7,44 | 32,54 | 24,90 | 5,02 | 24,22 |
| Moyen | 11,38 | 6,49 | 32,07 | 17,06 | 5,62 | 30,90 |
| Ecart type | 8,04 | 4,15 | 4,93 | 8,76 | 4,52 | 7,07 |

Tableau.12 : Représentation des données statistique de la comparaison cheval / bovin.

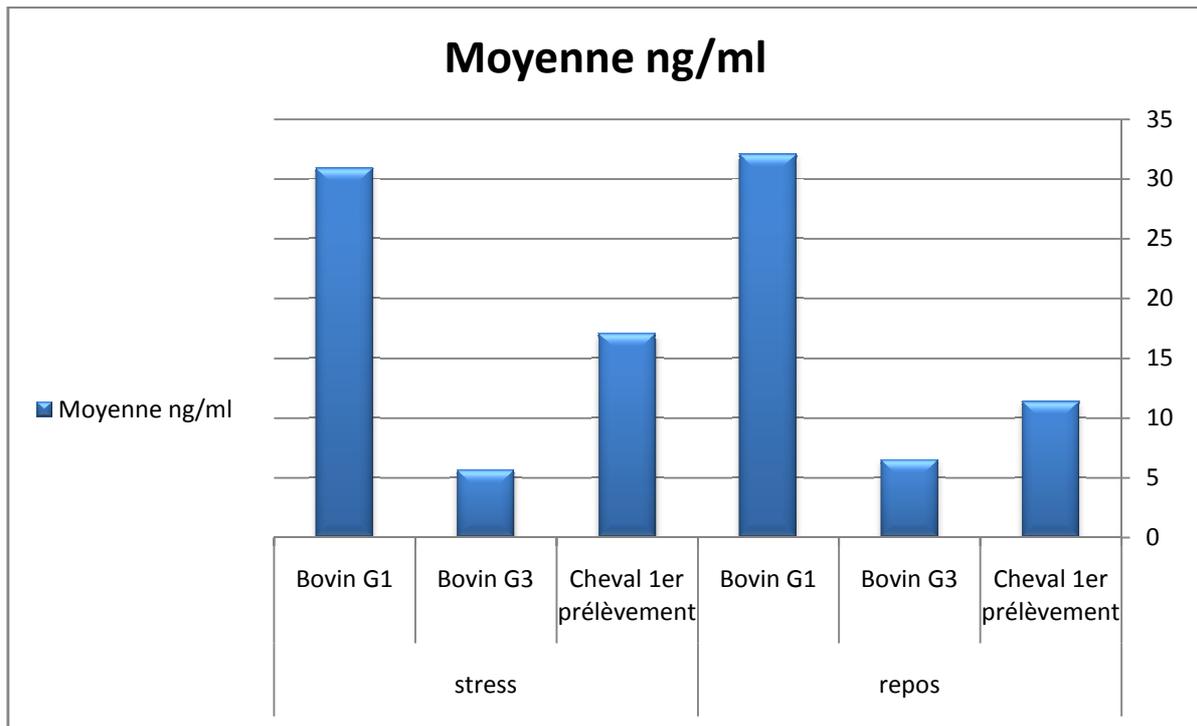


Fig.43 : représentation graphique des moyennes (comparaison cheval / bovin).

IV.2.2.3. Interprétation des résultats

A) Comparaison des valeurs repos / stress:

Cette comparaison nous permet de conclure si les facteurs de stress utilisés ont un effet significatif sur l'axe hypothalamo-hypophysé-surrénalien (*hypothalamo-pituitary-adrenalé HPA*), autrement dit si ces tests ou facteurs de stress utilisés sont capables de stimuler l'axe HPA chez ces animaux. Cette réponse au stress se traduit sur le plan physiologique par une augmentation du taux de cortisol plasmatique.

Les résultats obtenus sont les suivants ; bovin G1 (repos : 32.04 ± 4.93 , stress : 30.90 ± 7.07 ng/ml), bovin G2 (repos : 2.84 ± 0.95 , stress : 2.78 ± 0.47 ng/ml), bovin G3 (repos : 6.49 ± 4.15 , stress : 5.62 ± 4.52 ng/ml), cheval 1^{er} prélèvement (repos : 11.38 ± 8.04 , stress : 17.06 ± 8.76 ng/ml), cheval 2^{ème} prélèvement (repos : 11.35 ± 4.98 , stress : 12.44 ± 5.40 ng/ml). Les valeurs que nous avons obtenues sont en accord avec celles trouvées dans d'autres études. Chez le cheval, (Fureix, C et all 2010, [92]) disent que les concentrations plasmatiques de cortisol (prélèvements sanguins) variaient de 2,5 à 71,9 ng/ml et les concentrations fécales variaient de 1,6 à 24,4 ng/g, révélant pour les deux types de mesures des taux de cortisol particulièrement bas pour certains animaux. (Fureix, C et all, 2012 [114]) ont trouvé que les concentrations plasmatiques chez les chevaux qui font objet de leur étude

varient de 2,5 à 57,9 ng/ml après une journée de travail, et de 3,0 à 35,7 après une journée de repos. Dans d'autres études (Peeters, M 2011 [42]) a trouvé des taux élevés de cortisol plasmatique ($68,34 \pm 18,62$ ng/ml), à savoir que les chevaux réservés pour cette étude sont des chevaux de sport, et sont soumis au stress de compétition, et le but de l'étude était l'évaluation du stress de compétition. (S. L, Alexander et all 1998 [93]) ont trouvé des valeurs proches de celles que nous avons trouvées, ($38,22 \pm 6,66$ ng/ml). D'après leur étude (Andronie, Ioana et all, 2009 [121]) réalisée sur des chevaux soumis au stress de transport, ils ont obtenu une réponse très forte de l'axe HPA par une valeur très élevée de cortisol plasmatique autour de 87 ng/ml d'après la courbe qu'ils ont tracé, cela indique que le transport est un facteur de stress puissant.

Une étude faite par (Rigalma, Ket all 2009 [115]) sur des bovins de race Prim'Holstein soumis à des tensions électriques parasites (< 10 V), la cortisolémie était $2,5 \pm 0,51$ ng/ml pendant la phase d'habituation et de ($4,5 \pm 0,65$ ng/ml) pendant la deuxième semaine chez le lot control, tandis qu'elle était un peu élevée chez les animaux soumis aux tensions électriques de façon permanente ($5,9 \pm 0,59$ ng/ml) ou aléatoire ($4,7 \pm 0,59$ ng/ml). (Enríquez, D et all 2011, [94]), (Lensink, B.J et all 2003, [116]) ont observé une augmentation du taux de cortisol plasmatique chez des veaux sevrés et donc soumis au stress de séparation sociale avec des valeurs différentes de cortisol plasmatique entre les femelles et les mâles ($35,3 \pm 3,4$ vs. $19,6 \pm 2,0$ ng/ml). (Ndibualonji, BB et all 1994, [118]) ont trouvé que le taux basal de cortisol plasmatique chez le bovin est de 2,8 ng/ml. (Matton, P et all 1979, [117]) ont enregistré des taux de cortisol plasmatique de plus de 22 ng/ml lors du vêlage gémellaire contre environ 10 ng/ml dans les vêlages normaux. (Bertoni, G et all 2005 [120]) ont provoqué une hémorragie chez des vaches laitières, les résultats obtenus étaient des valeurs très élevées de cortisolémie environ 35 ng/ml après 20 min et plus de 40 ng/ml après 30 min, des valeurs inférieures sont trouvées chez les vaches entraînées. Un pic de 6 ng/ml lors de la traite contre un pic de 16 ng/ml chez les vaches non entraînées lors des manipulations pour la peser, et 46 ng/ml lors de parage des agnelons, les valeurs sont inférieures chez les vaches entraînées.

Après l'analyse statistique ANOVA à un facteur des résultats que nous avons obtenus, aucune valeur $P \leq 0,005$ n'a été obtenue. Cela veut dire que les facteurs de stress (tests) utilisés dans notre étude n'ont pas pu provoquer une stimulation de l'axe HPA qui se traduit cliniquement par une augmentation du taux de cortisol plasmatique. Cela peut être expliqué par la durée d'exposition au facteur de stress qui est très courte dans les tests de notre étude et qui n'a pas dépassé le maximum de 3 minutes, mais aussi par l'intensité du stress. Par contre les réactions comportementales (fréquence cardiaque, plus l'activité motrice comme la fuite et

le sursaut), qui sont sous le contrôle du système nerveux autonome sont toujours présentes. Ce dernier (SNA) est le premier qui intervient lors d'une situation de stress aigu de courte durée et l'intervention de l'axe HPA par une décharge accrue de l'ACTH n'est présente que lorsque le facteur de stress perdure dans le temps et que le SNA n'arrive pas à rétablir l'homéostasie de l'organisme. Mais il est utile de se baser sur ces tests pour explorer la réactivité émotionnelle et pour comprendre les comportements des animaux à travers les mesures (fréquence cardiaque, et les activités musculaires). En effet c'est le stress aigu et intense ou prolongé qui va induire une réponse nette et significative qui se traduit cliniquement par un taux de cortisol plasmatique élevé de façon nette et évidente. L'exemple de ces stress qui peuvent provoquer une telle situation sont : un transport fatigant de long trajet et de longue durée, une pathologie chronique qui affecte l'homéostasie et le bien-être de l'animal, une activité musculaire de longue durée et exagérée comme c'est le cas pour les chevaux de sport ou les bovins utilisés dans des activités physiques, ou dans les abattoirs...etc. (Bayazit, Vahdettin 2009, [119]) a trouvé une augmentation importante du taux de cortisol plasmatique autour de 38 ng/ml chez des vaches lors de la traite. Il a suggère que uniquement les facteurs de stress sévères ont un effet comparable à ceux obtenus lors d'une injection de l'ACTH (> 40 ng/ml).

Mais certains individus présentent des valeurs de cortisol plasmatique après un stress relativement élevé par rapport aux valeurs de repos ; cela montre des variation individuelles propres à l'individu lui-même. Certains animaux connus comme nerveux, le cas de Dris, ont des valeurs de cortisol au repos plus élevées par rapport aux autres ; et même après stress ces animaux nerveux présentent des valeurs plasmatique en cortisol relativement élevées.

Les animaux du groupe 1 (G1 : bovins de la ferme de race améliorée ont des valeurs de cortisol plasmatiques très élevées, à savoir que ces animaux sont soumis à un stress aigu et de façon intermittente : Les expériences négatives, présence d'un nombre important d'étudiants et les manipulations douloureuses lors des cliniques de la reproduction (fouiller rectal plusieurs fois pendant plus d'une heure de temps), cliniques de pharmacologie et de la chirurgie (injection, contention). Ces périodes de stress sont interrompues par des périodes de repos (weekend, vacances, après la fin de chaque séance clinique...) cela va empêcher une adaptation avec ces situations. En effet (Rigalma, K et all 2009, [115]) ont trouvé que les vaches soumises à une tension électrique de façon aléatoire ont des taux de cortisol plus élevés et prennent de longtemps pour avoir une diminution dans l'amplitude en réponse au même stimulus (facteur de stress). En se basant sur les résultats obtenus (cortisol plasmatique, réactions comportementales) on peut dire que les taux élevés du cortisol plasmatique chez ces

animaux sont dus au stress généré par la perception de l'homme comme une situation fortement stressante, née des expériences passées et mémorisées chez ces animaux. (Hausberger, M et all 2008, [113]) ont fait une étude sur les chevaux et ont trouvé que les mauvais élevages dont les chevaux montrent des réactions émotionnelles fortes sont ceux où les manipulations sont intensives et permanentes, de l'imprégnation à la pose quotidienne du licol, marche en main etc. Selon (Schwartzkopf-Genswein, K et all 2012, [51]) les réactions comportementales indicatrices de stress sont plus fréquentes chez les bovins qui ont eu une expérience négative de la manipulation. La manipulation douce régulière peut compenser ces effets indésirables.

B) Comparaison cheval / bovin :

Cette comparaison est utile pour s'informer sur les différences inter-espèces concernant les paramètres physiologiques, dans ce cas le taux de cortisol. Bovin G1 (repos : 32.04 ± 4.93 ng/ml), bovin G2 (repos : 2.84 ± 0.95 ng/ml), bovin G3 (repos : 6.49 ± 4.15 , ng/ml), cheval 1er prélèvement (repos : 11.38 ± 8.04 ng/ml), on remarque que le taux de cortisol est relativement élevé chez le cheval par rapport au bovin ; mis à part le G1 où on pense que ces valeurs sont dues aux expériences passées, donc ce groupe (G1) est fortement stressé. Les valeurs du groupe G3 sont aussi relativement élevées par rapport au groupe G2, révélant ainsi des différences physiologiques inter espèces et inter raciales.

IV.3. Conclusion 2

D'après notre étude réalisée sur la réponse au stress chez le cheval et le bovin, nous sommes arrivés à la conclusion que les tests utilisés; test de parapluie, présence de l'homme, et les diverses autres manipulations sont des facteurs de stress aigu dûs au fait de la présence des réponses comportementales (sursaut, tentatives d'échapper, et activité musculaire) orchestrées par le système nerveux autonome, mais ils ne sont pas capables de stimuler l'axe HPA cela est fort probablement dû à la courte durée d'exposition à ces facteurs, ainsi qu'à leur faible intensité. Le résultat négatif que nous avons obtenu est en parfait accord que les facteurs de stress d'intensité élevée et de longue durée tel que, la séparation sociale des veaux de leurs mères après tarissement pour l'engraissement, stress de compétitions chez les chevaux de sports, le stress généré par les douleurs comme le parage des onglons ou l'écornage ou les blessures ou d'autres événements perçus comme incontrôlables par l'animal qui peuvent provoquer de fortes élévations de la cortisolémie en réponse à ces facteurs de

stress, ce qui est prouvé par des résultats obtenus dans les études qui ont été faites sur ce thème.

Nous arrivons à la deuxième conclusion que le taux de cortisol plasmatique varie en fonction de l'espèce, de la race, et même de l'individu.

Les bovins du groupe G1 présentent des taux de cortisol très élevés par rapport aux autres races bovines. Ces animaux sont soumis à des manipulations négatives et à des expériences douloureuses de façon intermittente, ces taux élevés sont provoqués par la présence de l'homme et que ces animaux considèrent cette situation (présence de l'homme) comme stressante due aux expériences douloureuses qui ont été mémorisées par ces animaux. Donc les expériences négatives et la mémoire ont un effet sur le comportement et les réactions émotionnelles chez les animaux.

V. Conclusion générale

Les investigations que nous avons faites à la fois sur les encéphales de cheval et de bovin et sur un paramètre physiologique connu comme l'un des indicateurs de stress, nous ont permis de visualiser certaines particularités au niveau de l'encéphale et du système endocrine.

Concernant l'encéphale qui est l'organe responsable des capacités et des aptitudes mentales, on a trouvé que son volume et son poids sont supérieurs chez le cheval, le gyrus cingulaire plus développé chez le cheval, l'artère carotide est plus importante chez le cheval et le réseau mirabile est présent chez le bovin et absent chez le cheval. Des différences anatomiques ont été observées dans l'œil entre le cheval et le bovin ; celles-ci concernent le volume du globe oculaire et le cristallin qui est supérieur chez le cheval.

Concernant le système endocrine, on était intéressé par le cortisol, une hormone biologique connue comme un indicateur de stress et qui accomplit différentes fonctions biologiques. De notre étude on a pu conclure que le taux de cortisol au repos est différent entre le bovin et le cheval et il était supérieur chez le cheval, que la réponse de l'axe HPA est absente ou très faible aux tests utilisés dans notre étude ce qui nous fait penser que ce sont les situations fortement stressantes qui vont induire une réponse de cet axe avec de hauts niveaux de cortisol. On a pu conclure aussi que les expériences négatives ou douloureuses ont un effet sur l'axe HPA de l'animal si il est confronté à la même situation ce qui provoque l'activation de cet axe.

Les différences au niveau des comportements peuvent être expliquées par les différences au niveau des bases anatomiques à la fois au niveau de l'encéphale et des organes sensoriels ainsi qu'au niveau du système endocrine.

VI. Perspectives

Comprendre le comportement des animaux aide à faciliter la communication avec eux et aide à adapter la manière dont nous les traitons, et à améliorer leur bien-être. Cela contribue à augmenter leurs performances mentales, physiques, reproductives et de productions. Bien que les études visant à traiter ce thème soient en cours et plus avancées dans les pays développés ; ce qui n'est pas le cas dans le nôtre.

Il est donc très intéressant de faire des études sur la neurobiologie des comportements et la neuro physiologie des circuits incriminés dans les réactions émotionnelles et le stress, et d'étudier les effets de ce dernier sur les performances des animaux.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Mc Farland, David.:

Le comportement animal psychologie, éthologie et évolution. Traduction de la 3^{ème} édition anglaise par Jacqueline d'Huart, De Boeck, 2001 Paris , 613 pages.

[2] Gartner. P, Leslie., Hiatt. L, James.:

Atlas en couleurs d'histologie, Pradel, 2eme édition française, 2004, 397 pages.

[3] Barone, Robert., Bortolami, Ruggero.:

Anatomie comparée des mammifère domestique, neurologie I, système nerveux central. Edition Vigot, Tome 6 , Paris , 2004 , 652 Pages.

[4] Lorenz. D, Michael., Coates. R, Joan., Kent, Marc.:

Handbook of Veterinary Neurology. Fifth edition (5th ed), Printed in the United States of America, 2011, 545 Pages.

[5] DeLahunta, Alexander., Eric, Glass.:

Veterinary neuroanatomy and clinical neurology. 3rd ed, Printed in China, 2009, 540 Pages.

[6] Furr, Martin., Reed, Stephen.:

Equine Neurology. Blackwell Publishing, USA, 2008,412 pages.

[7] Maingaud Stéphanie, Emilie.:

L'hydrocéphalie canine : étude rétrospective sur 19 cas opérés a l'ENVA. Th.D, Alfort, 2004, 164 Pages.

[8] Lansade, Léa.:

Le tempérament du cheval Etude théorique, Application à la sélection des chevaux destinés à l'équitation. Th.D, Université François Rabelais de Tours, 2005, 298 Pages.

[9] Bourguet, Cecile.:

Stress pendant la période d'abattage chez les bovins , Rôles de la réactivité émotionnelle Et des facteurs environnementaux. Th.D, Université Blaise Pascal, Université d'Auvergne, 2010, 240 Pages.

[10] Mc Bride. D, Sebastian., Mills. S, Daniel.:

Psychological factors affecting equine performance. BMC Veterinary Research, 8:180. 2012, 11 Pages.

[11] House. M, Amanda., Epstein, Kira., Riggs, Laura., Hart. A, Kelsey.:

in

Reeder, Deborah., Miller, Sheri., Wilfong, DeeAnn., Leitch, Midge., Zimmer, Dana.:

AAEVT's Manual for Veterinary Technicians. Wiley-Blackwell, Edition 1st , USA, 2009, 402 Pages.

[12] Butler. B, Ann., Hodos, William.:

Comparative Vertebrate Neuroanatomy Evolution and Adaptation. Wiley-Blackwell, 2nd Edition, USA, 2005, 715 Pages.

[13] Chrisman, Cheryl., Mariani, Christopher., Platt, Simon., Clemmons, Roger.:

Neurology For The Small Animal Practitioner. Teton new media, USA, 2003, 353 Pages.

[14] Destrez, Alexandra.:

Accumulation des émotions et modifications de la sensibilité émotionnelle et de fonctions cognitives chez les ovins. Th.D, Université Blaise Pascal, Université d'Auvergne, 2012, 211 Pages.

[15] Gautier, Michel., Rosat, Olivier.:

Pour réussir son installation de contention Comprendre le comportement des bovins. Cap élevage, N° 26, 2008, Pages 8-11.

[16] Barone, Robert., Simoens, Paul.:

Anatomie comparée des mammifère domestique neurologie II, système nerveux périphérique. Edition vigot, Tome 3, Lyon, 2010, 838 Pages.

[17] Constantinecu. M, Gheorghe., Constantinecu. A, Ileana.:

Clinical dissection guide for large animals. Edition 2nd , Ames , 465 Pages.

[18] Fitzmaurice. N, Susan.:

Small animal neurology. Elsevier, China, 2010,332 Pages.

[19] Meierhenry, Barbara.:

The Equine Eye. The Horse Report , Volume 27, Number 1, California, 2009, 12 Pages.

[20] The Horse.:

15 Fascinating Facts About Equine Eyes. The Horse, 2013, 2 Pages.

[21] Sellnow, Les .:

Anatomy & physiology. The horse, 2006, 53 Pages.

[22] Pickett, H.:

Behaviour Cognition and Welfare. Horses, 2009, 10 Pages.

[23] Gill, Warren., Meadows. G, Doyle., Neel. B, James.:

Understanding Horse Behavior. Agricultural Extension Service, Institute of Agriculture, PB1654. The University of Tennessee, USA, 22 Pages.

[24] Kasbaoui, Naïma.:

Aspects de la cognition chez le cheval (*equus caballus*) : discrimination des couleurs. Th.D, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, 2006, 63 Pages.

[25] Saslow. A, Carol.:

Understanding the perceptual world of horses. Elsevier, Applied animal behavior, PII : S0186-1591 (02) 00092-8, USA, 2002, 209-224 Pages.

[26] Hanggi. B, Evelyn.:

The Thinking Horse Cognition and Perception. In-depth behavior, AAEP proceedings, Vol. 51, 2005, 246-255 Pages.

[27] Matthews. G, Andrew.:

Vision in Horses. AAEP proceedings, USA, 2012, 6-8 Pages.

[28] McGreevy, Paul.:

Equine Behaviour, a guide for veterinarians and equine scientists, Saunders, china, 2004. 369 Pages.

[29] New Horizons Equine Education Center.:

Equine eyesight. Equine Science Series, EQU 101-110, 2008, 15 Pages.

[30] Bouissou. M, F., Boissy, A.:

Le comportement social des bovins et ses conséquences en élevage. INRA prod anim, N°:18, 2005, 87-99 Pages.

[31] Fournier, Alain.:

Dans la peau d'une vache. Le bulletin des agriculteurs, 2005, 45-47 Pages.

[32] DeLaval.:

Guide du confort de la vache DeLaval. 53570527BR-Fr/200607, 2006, 75 Pages.

[33] Stafford. J, Kevin.:

Cattle Handling Skills. think safe work safe, 0-478-11773-6, New Zealand, 2005, 52 Pages.

[34] Burger, D., Baumgartner, M., Bachmann, I., Poncet, P.-A.:

Recherche appliquée sur le comportement du cheval. Revue suisse Agric, Haras national, 40 (3): 109-115, 2008, 109-115 Pages.

[35] Scott, Graham.:

Essential Animal Behavior. Department of Biological Sciences, University of Hull, Blackwell Wiley-Blackwell, UK, 2004, 216 pages.

[36] One Voice.:

Sentience des animaux Émotions et conscience. One Voice, Strasbourg, 2011, 27 Pages.

[37] Allman, Toney.:

Animal Behavior: Animal Life in Groups. InfoBase Publishing, New York, 2009, 124 Pages.

- [38] Levine. M, Jonathan., Levine. J, Gwendolyn., Hoffman. G, Anton., Bratton, Gerald.:**
Comparative Anatomy of the Horse, Ox, and Dog: The Brain and Associated Vessels. Compendium Equine, Texas A&M University, 2008, 153-164 Pages.
- [39] De Boyer des Roches, Alice.:**
Atteintes au bien-être des vaches laitière étude épidémiologique. Th.D, NO D.U : 2245, Université Blaise Pascal, Université D’Auvergne, 2012, 326 Pages.
- [40] De Waal. B. M, Frans.:**
What is an animal emotion. Ann. N.Y. Acad. Sci. ISSN 0077-8923, New York, 2011, Pages 191–206.
- [41] Veissier, I.:**
Expérimentation animale : biologie éthique réglementation. INRA Prod. Anim, 1999, 365-375 Pages.
- [42] Peeters, Marie.:**
Evaluation du niveau de stress du cheval en compétition et en milieu hospitalier Mesures comportementales, physiologiques et appréciation du tempérament. Th.D, université de Liège, Belgique, 2011, 204 Pages.
- [43] Panksepp, Jaak.:**
Affective neuroscience : The Foundations of Human and Animal Emotions. Oxford University Press, United States of America, 2005, 466 Pages.
- [44] Merlot, E.:**
Conséquences du stress sur la fonction immunitaire chez les animaux d’élevage. INRA Prod. Anim, 17 (4), 2004, 255-264 Pages.
- [45] Neil, Campbell., Jane Reece.:**
Biologie. Pearson Education France, 7^{ème} édition, état unis, 2007, 1334 Pages.
- [46] Rushen, Jeffrey., Passillé .B, Anne-Marie.:**
Vos vaches : leurs peurs et votre portefeuille. Symposium sur les bovins laitiers, CPAQ, 1997, Pages 70-75.
- [47] Baumans. V.:**
Science-based assessment of animal welfare laboratory animals. Rev. sci. tech. Off. int. Epiz, Sweden, 24 (2),2005, 503-514 Pages.
- [48] Richardson, Craig.:**
La réponse des bovins au bruit Stress et peur. Bovins du Québec, 2010, Pages 29-31.
- [49] Cochran. E, Phillip.:**
Veterinary Anatomy and Physiology: A Clinical Laboratory Manual. Delmar, edition 2nd, NY , USA, 2011, 380 Pages.

[50] De Passillé, Anne Marie.:

Amélioration de l'efficacité de la traite, de la production de lait, du confort des vaches et de la sécurité des travailleurs via une réduction du stress dû à la peur des humains. Forum Technologique Novalait, 2001, 04 Pages.

[51] Schwartzkopf-Genswein, Karen., Stookey. M, Joseph., Campbell, John., Fenwick, Nicole., et all.:

Code de pratiques applicable aux soins et à la manipulation des bovins de boucherie revue des études scientifiques relatives aux questions prioritaires. Canada, 2012, 71 Pages.

[52] Visser, E. K., Van Reenen, C .G., Hopster, H., Schilder. M. B.H., Knaap. J. H., Barneveled. A., Blokhuis. H. J.:

Quantifying aspects of young horses' temperament: consistency of behavioural variables. Elsevier, Applied Animal Behaviour Science, N°: 74, Netherlands, 2001, 241-258 Pages.

[53] Blache, Dominique., Bickell. L, Samantha.:

Temperament and reproductive biology: emotional reactivity and reproduction in sheep. Revista Brasileira de Zootecnia, 1806-9290, v.39, Australia, 2010, Pages 401-408.

[54] Cunningham. G, James., Klein. G, Bradley.:

Textbook of veterinary physiology. Saunders Elsevier, 4th edition, china, 2007, 700 Pages.

[55] Mescher, L. Anthony.:

Junqueira's Basic Histology. The McGraw-Hill Companies, United States of America, edition 12th, 2010, compiled HTML help file.

[56] Cauzinille, Laurent.:

Neurologie Clinique du chien et du chat. Edition du point vétérinaire, Maisons Alfort, France, 2003, 231 Pages.

[57] Kolb, E.:

Physiologie des animaux domestique. Vigot frères éditeurs, Paris, 1975, 974 Pages.

[58] Ross. H, Michael., Wojciech, Pawlina.:

Histology a Text and Atlas. Lippincott Williams & Wilkins, 6th edition, china, 2011, 974 Pages.

[59] Durand, Charlotte.:

L'éducation du cheval : description de techniques adaptées aux spécificités de son comportement social et de ses capacités d'apprentissage – illustration sur DVD. Th med vet N°05, école nationale vétérinaire de Lyon, 2008, 220 Pages.

[60] Rijnberk, Ad ., Kooistra. S, Hans.:

Clinical Endocrinology of Dogs and Cats An Illustrated Text. Second edition, Schlütersche, Germany, 2010, 338 Pages.

[61] Budras, Klaus-Dieter ., Sack, W.O., Röck, Sabine.:

Anatomy of the Horse. Schlütersche, Fifth Edition, Germany, 2009, 199 Pages.

[62] Budras, Klaus-Dieter ., Habel. E, Robert.:

Bovine Anatomy An Illustrated Text. Schlütersche, First edition, Germany, 2003, 138 Pages.

[63] Evans. E, Howard., de Lahunta, Alexander.:

Guide to the dissection of the dog, Saunders, 7th edition, China, 2010, 303 Pages.

[64] Bolon, Brad., Butt. T, Mark .:

Fundamental neuropathology for pathologists and toxicologists. WILEY, Singapore, 2011, 590 Pages.

[65] Thomson, Christine., Hahn, Caroline.:

Veterinary Neuroanatomy A Clinical Approach. Saunders, China, 2012, 168 Pages.

[66] Jaggy, André., Platt. R, Simon.:

Small Animal Neurology An Illustrated Text. Schlütersche, Germany, 2010, 580 Pages.

[67] Sebastiani. M, Aurora., Fishbeck. W, Dale.:

Mammalian Anatomy The Cat. Morton Publishing Company, 2nd edition, United States of America, 2005, 184 Pages.

[68] Cope, Lee Anne.:

Dissection of the Hippocampus Proper and the Associated Structures in Preserved Horse Brains. The Journal of Undergraduate Neuroscience Education, 9(1):A43-A46, 2010, Pages 43-46.

[69] Çağdaş, Oto., Merih. R, Hazirolu.:

Macro-anatomical investigation of encephalon in donkey. Ankara Üniv Vet Fak Derg, 56, 2009, Pages 159-164.

[70] Smith, C. U. M.:

Elements Of Molecular Neurobiology. 3rd edition, John Wiley, England, 2002, 613 Pages.

[71] Tartaglia, Louise., Waugh, Anne.:

Veterinary physiology and applied anatomy A textbook for veterinary nurses and technicians. Elsevier, Italy, 2005, 209 Pages.

[72] Patestas, A, Maria., Gartner, P, Leslie .:

A Textbook of Neuroanatomy. Blackwell, UK, 2006, 454 Pages.

[73] Barry, Jean-Claude.:

In :

Maupy, Marianne.:

Conférence. les fonctions comportementales chez le cheval et leurs applications à l'équitation. N° 21, E.NE. S.A.D de Quétigny, février 2004, 15 Pages.

[74] Haras nationaux.:

Le cheval au quotidien Le mode de vie du cheval. Haras nationaux, Paris, 2 Pages.

[75] Mounaix, Béatrice., Boivin, Xavier., Brule, Anne., Schmitt, Tiphaine.:

Cattle behaviour and the human-animal relationship: Variation factors and consequences in breeding. INRA, 61 Pages.

[76] Pickett, H.:

Horses: Their Behaviour, Mental Abilities and Welfare. Horses, 2009, 7 Pages.

[77] Epps, Stephanie.:

The Social Behavior of Beef Cattle. Department of Animal Science, Texas A&M University, 11 Pages.

[78] Ferraro, L, Gregory., Meierhenry, Barbara.:

Understanding Equine Behavior Problems: Causes, treatment and Prevention. CEH The Horse Report, volume 25, N°3, California, 2007, 12 Pages.

[79] McDonnell, Sue.:

A Practical Field Guide to Horse Behavior : The Equid Ethogram. The Blood-Horse, 1st Edition, Hong Kong, 2003, 375 Pages.

[80] Ransom, I, Jason., Cade, S, Brian.:

Quantifying Equid Behavior - A Research Ethogram for Free-Roaming Feral Horses. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Virginia USA, 2009, 23 Pages.

[81] Konstanze, Krueger., Jürgen, Heinze.:

Horse sense: social status of horses (*Equus caballus*) affects their likelihood of copying other horses' behavior, Universitat Regensburg, Volume 11, N° 3, 2007, Pages 431-439.

[82] VanDierendonck, M.C., Goodwin, D.:

Social contact in horses: implications for human horse interactions.

In:

De Jonge, F., van den Bos, R.:

The Human-Animal relationship: forever and a day. 2005, Pages 65-82.

[83] Christie. M. Sc, Julie.:

Horse behavior and stable vices. Horse extension, university Minnesota, 08538, Rochester, 2008, 4 Pages.

[84] One Voice.:

Le peuple ovin et bovin. One Voice, Strasbourg, 2011, 20 Pages.

[85] Huxley. N, Jon.:

Cattle Behavior and Implications to Performance and Health. University of Nottingham, School of Veterinary Medicine and Science, 61-67 Pages.

[86] Sowell, B. F., Mosley, J. C., Bowman, J. G. P.:

Social behavior of grazing beef cattle: Implications for management. Proceedings of the American Society of Animal Science, 59717, Montana State University, Bozeman, 1999, 6 Pages.

[87] Wieckert. A, David.:

Social Behavior in Farm Animals. Journal of animal science, vol. 32, no. 6, 2013, Pages 1274-1277.

[89] Blache, Dominique., Bickell. L, Samantha.:

Temperament and reproductive biology: emotional reactivity and reproduction in sheep. Revista Brasileira de Zootecnia, V.39, 2010, Pages 401-408.

[90] Kaewlamun, Winai.:

Effects of heat stress and β -carotene supplementation on postpartum reproductive performance in dairy cows. Th.D, Agro Paris Tech, Chulalongkorn University Thailand, 2010, 145 Pages.

[91] Tarr. B.:

Stress dû au froid chez les vaches. ONTARIO, N° 07-002, 2007, 4 Pages.

[92] Fureix, C., Jago, P., Coste, C., Hausberger, M.:

Indicateurs de bien-être / mal-être chez le cheval: une synthèse. 36^{ème} Journée de la Recherche Equine, Haras nationaux, Rennes, France, 2010, 13 Pages.

[93] S. L, Alexander., C. H. G, Irvine.:

The effect of social stress on adrenal axis activity in horses: the importance of monitoring corticosteroid-binding globulin capacity. Journal of Endocrinology, N° 157, Great Britain, 1998, Pages 425-432.

[94] Enríquez, Daniel., Hötzel. J, Maria., Ungerfeld, Rodolfo.:

Minimising the stress of weaning of beef calves: a review. BioMed Central, Brazil, 2011, 8 Pages.

[95] Squires. E, James.:

Applied Animal Endocrinology. CABI Publishing, UK, 2003, 234 Pages.

[96] Harewood, E. J., McGowan, C. M.:

Behavioral and Physiological Responses to Stabling in Naive Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, Australia, 2005, Pages 164-170.

[97] Van der Staay, F, Josef ., Schuurman, Teun., Van Cornelis. G, Reenen., Korte, S. Mechiel.:

Emotional reactivity and cognitive performance in aversively motivated tasks: a comparison between four rat strains. *Behavioral and Brain Functions*, BioMed Central, Utrecht University, Netherlands, 2009, 27 Pages.

[98] Morris, C. L., Grandin, T., Irlbeck, N. A.:

Environmental enrichment for companion, exotic, and laboratory animals. Companion animals symposium, American Society of Animal Science, Colorado State University, Fort Collins, 2011, Pages 4227-4238.

[99] Boissy, Alain ., Manteuffel, Gerhard ., Bak Jensen, Margit ., Oppermann Moe, Randi., Spruijt, Berry ., Keeling, J, Linda ., Winckler, Christoph ., Forkman, Björn., Dimitrov, Ivan., Langbein, Jan ., Bakken, Morten ., Veissier, Isabelle ., Aubert, Arnaud.:

Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. Elsevier, 2007, Pages 375–397.

[100] Etkin, Amit.:

Functional Neuroanatomy of Anxiety: A Neural Circuit Perspective. *Curr Topics Behav Neurosci*. DOI 10.1007/7854, Berlin, 2009, 27 Pages.

[101] Davidson, J, Richard., Jackson, C, Daren., Kalin, H, Ned.:

Emotion, Plasticity, Context, and Regulation Perspectives From Affective Neuroscience. *the American Psychological Association*, Vol. 126, No. 6, 890-909, University of Wisconsin—Madison, 2000, Pages 890-909.

[102] Barbier, M., Benoit, S ., Lambey, J-L.:

Effect of a complementary horse feed on nervous horse behaviour. *Institut National Supérieur des Sciences Agronomiques de l'Alimentation et de l'Environnement*, France, 7 Pages.

[103] Pajor, A, Edmond., Marchant-Ford, N, Jeremy.:

Proceedings of the 45th congress of the International Society for Applied Ethology (ISAE), scientific evaluation of the behavior, welfare and enrichment. Wageningen academic publishers, USA, 2011, 166 Pages.

[104] Forkman, B., Boissy, A ., Meunier-Salaün, M.-C., Canali, E., Jones, R.B.:

A critical review of fear tests used on cattle, pigs, sheep, poultry and horses. *Elsevier, Physiology & Behavior*, N°: 92, 2007, Pages 340–374.

[105] Lansade, Léa., Bouissou, Marie-France., Erhard. W, Hans.:
Fearfulness in horses: A temperament trait stable across time and situations. Elsevier, Applied Animal Behaviour Science, N°:115, Franc, 2008, Pages 182–200.

[106] Lansade, Léa., Coutureau, Etienne., Marchand, Alain., Baranger, Gersende., Valenchon, Mathilde., Calandreau, Ludovic.:
Dimensions of Temperament Modulate Cue-Controlled Behavior: A Study on Pavlovian to Instrumental Transfer in Horses (*Equus Caballus*). PLOS ONE, Volume 8, France, 2013, 8 Pages.

[107] Proops, Leanne.:
Social cognition in domestic horses (*Equus caballus*). Th.D, University of Sussex, UK, 2011, 260 Pages.

[108] Lansade, Léa., Bertrand, Magali., Boivin, Xavier., Bouissou, Marie-France.:
Effects of handling at weaning on manageability and reactivity of foals. Elsevier, Applied Animal Behaviour Science, N°: 87, France, 2004, Pages 131–149.

[109] Górecka, Aleksandra., Bakuniak, Marta., Chruszczewski. H, Michał., Jezierski. A, Tadeusz.:
A note on the habituation to novelty in horses: handler effect. Institute of Genetics and Animal Breeding, Animal Science Papers and Reports, vol. 25, N°:3, Poland, 2007, Pages 143-152.

[110] Genet, Julie.:
Le comportement du poulain au sevrage : étude bibliographique et approche de terrain. Th.D, École nationale vétérinaire d'Alfort, 2005, 92 Pages.

[111] Howland. G, John ., Czakoff. N, Brittany.:
Effects of acute stress and GluN2B-containing NMDA receptor antagonism on object and object–place recognition memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, Elsevier, 93, 2010, Pages 261–267

[112] Palace, Alexander.:
Proceedings of the 37th international congress of the ISAE. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, Brescia, Italy, 2003, 279 Pages.

[113] Hausberger, Martine., Roche, Hélène., Henry, Séverine., Visser, E. Kathalijne.:
A review of the human-horse relationship. *Applied Animal Behaviour Science*, N° 109, 1-24, 2008. 35 Pages.

[114] Fureix, Carole., Jegou, Patrick., Henry, Séverine., Lansade, Léa., Hausberger, Martine.:
Towards an Ethological Animal Model of Depression? A Study on Horses. PLoS ONE, Volume 7, France, 2012, 9 Pages.

[115] Rigalma, K., Roussel, S., Barrier, A., Charles, C., Carriere, M., Deveaux, L., Deschamps, F., Duvaux-Ponter, C.:

Mid-term effects of stray voltage on stress physiology in dairy cows. Renc. Rech. Ruminants, N°: 16, Paris, 2009, 254-254 Pages.

[116] Lensink, B.J., Veissier, I., Boissy, A.:

In

Palace, Alexander.:

Proceedings of the 37th international congress of the ISAE. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, Brescia, Italy, 2003, 279 Pages.

[117] Matton, P., Adlakoun, V., Dufour, J. J.:

Concentrations de la progestérone, des œstrogènes et du cortisol dans le plasma des vaches ayant donné naissance à des jumeaux ou ayant eu des retentions placentaires. Can. J. Anim. Sci, N°:59, 1979, 481-490 Pages.

[118] Ndibualonji, BB., Dehareng, D., Godeau, JM.:

Étude des profils plasmatiques du cortisol, des acides aminés, du glucose et de l'urée après une injection d'ACTH chez la vache tarie. Elsevier, Ann Zootech, 43, 1994, Page 305.

[119] Bayazit, Vahdettin.:

Evaluation of Cortisol and Stress in Captive Animals. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(2), 2009, 1022-1031 Pages.

[120] Bertoni, G., Trevisi, E., Lombardelli, R., Bionaz M.:

Plasma cortisol variations in dairy cows after some usual or unusual manipulations. ITAL.J.ANIM.SCI. VOL. 4, Italy, 2005, 200-202 Pages.

[121] Andronie, Ioana., Pârvu, Monica., Andronie, V., Ciurea, Adina. :

Effects of transportation stress on some physiological indicators in sport horses. Lucrări științifice Zootehnie și Biotehnologii, vol. 42 (2), Romania, 2009, 379-384 Pages.

[122] Sandi1, Carmen., Pinelo-Nava, M. Teresa.:

Stress and memory: behavioral effects and neurobiological mechanisms. Hindawi Publishing Corporation, 2007, 20 pages

[123] Harvey. H, Brian., McEwen. S, Bruce., Stein. J, Dan.:

Neurobiology of antidepressant withdrawal: implications for the longitudinal outcome of depression. Society of Biological Psychiatry, 54, 2003, Pages 1105–1117.

[124] Lovallo. R, William., Gerin, William.:

Psychophysiological Reactivity: Mechanisms and Pathways to Cardiovascular Disease. American Psychosomatic Society, 2003, Pages 36-45.

Annexes

Résultats minitab

05/11/2013 21:21:04

Bienvenue dans Minitab, appuyez sur F1 pour obtenir de l'aide.

Cheval 2^{ème} prélèvement : ANOVA à un facteur contrôlé : C2 en fonction de C1

| Source | DL | Somme des carrés | CM | F | P |
|--------|----|------------------|------|------|-------|
| C1 | 1 | 3,0 | 3,0 | 0,11 | 0,747 |
| Erreur | 8 | 216,6 | 27,1 | | |
| Total | 9 | 219,6 | | | |

S = 5,203 R carré = 1,37 % R carré (ajust) = 0,00 %

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

| Niveau | N | Moyenne | EcTyp | |
|--------|---|---------|-------|---------------|
| re | 5 | 11,350 | 4,989 | (-----*-----) |
| st | 5 | 12,448 | 5,408 | (-----*-----) |

6,0 9,0 12,0 15,0

Ecart type regroupé = 5,203

Cheval 1^{ère} prélèvement : ANOVA à un facteur contrôlé : C2 en fonction de C1

| Source | DL | Somme des carrés | CM | F | P |
|--------|----|------------------|------|------|-------|
| C1 | 1 | 80,6 | 80,6 | 1,14 | 0,317 |
| Erreur | 8 | 566,2 | 70,8 | | |
| Total | 9 | 646,8 | | | |

S = 8,413 R carré = 12,46 % R carré (ajust) = 1,52 %

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

| Niveau | N | Moyenne | EcTyp | |
|--------|---|---------|-------|---------------|
| re | 5 | 11,384 | 8,043 | (-----*-----) |
| st | 5 | 17,062 | 8,767 | (-----*-----) |

6,0 12,0 18,0 24,0

Ecart type regroupé = 8,413

Bovin G3 : ANOVA à un facteur contrôlé : C2 en fonction de C1

| Source | DL | Somme des carrés | CM | F | P |
|--------|----|------------------|------|------|-------|
| C1 | 1 | 1,9 | 1,9 | 0,10 | 0,760 |
| Erreur | 8 | 150,9 | 18,9 | | |
| Total | 9 | 152,8 | | | |

S = 4,343 R carré = 1,24 % R carré (ajust) = 0,00 %

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la

| | | | | moyenne en fonction de l'écart type regroupé | | | |
|--------|---|---------|-------|--|-----|-----|------|
| Niveau | N | Moyenne | EcTyp | +-----+-----+-----+-----+ | | | |
| re | 5 | 6,490 | 4,158 | (------*-----) | | | |
| st | 5 | 5,620 | 4,521 | (------*-----) | | | |
| | | | | +-----+-----+-----+-----+ | | | |
| | | | | 2,5 | 5,0 | 7,5 | 10,0 |

Ecart type regroupé = 4,343

Bovin G2 : ANOVA à un facteur contrôlé : C2 en fonction de C1

| Source | DL | Somme des carrés | CM | F | P |
|--------|----|------------------|-------|------|-------|
| C1 | 1 | 0,009 | 0,009 | 0,02 | 0,903 |
| Erreur | 8 | 4,524 | 0,565 | | |
| Total | 9 | 4,533 | | | |

S = 0,7520 R carré = 0,20 % R carré (ajust) = 0,00 %

| | | | | Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé | | | |
|--------|---|---------|--------|--|------|------|------|
| Niveau | N | Moyenne | EcTyp | +-----+-----+-----+-----+ | | | |
| re | 5 | 2,8400 | 0,9518 | (------*-----) | | | |
| st | 5 | 2,7800 | 0,4744 | (------*-----) | | | |
| | | | | +-----+-----+-----+-----+ | | | |
| | | | | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 3,50 |

Ecart type regroupé = 0,7520

Bovin G1 : ANOVA à un facteur contrôlé : C2 en fonction de C1

| Source | DL | Somme des carrés | CM | F | P |
|--------|----|------------------|------|------|-------|
| C1 | 1 | 3,4 | 3,4 | 0,09 | 0,770 |
| Erreur | 8 | 297,5 | 37,2 | | |
| Total | 9 | 300,9 | | | |

S = 6,098 R carré = 1,13 % R carré (ajust) = 0,00 %

| | | | | Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé | | | |
|--------|---|---------|-------|--|------|------|------|
| Niveau | N | Moyenne | EcTyp | +-----+-----+-----+-----+ | | | |
| re | 5 | 32,070 | 4,934 | (------*-----) | | | |
| st | 5 | 30,902 | 7,073 | (------*-----) | | | |
| | | | | +-----+-----+-----+-----+ | | | |
| | | | | 24,5 | 28,0 | 31,5 | 35,0 |

Ecart type regroupé = 6,098

Résumé :

Notre étude est divisée en deux parties. La première partie est une synthèse bibliographique autour de quatre principaux axes; contrôle neural de l'organisme et du comportement, neuroanatomie de l'encéphale, comportement social du cheval et du bovin et finalement physiologie du stress. La seconde partie est une étude pratique qui consiste en une dissection de deux encéphales de cheval et deux encéphales de bovin visant à chercher l'existence des différences structurelles macroscopiques, et un dosage de cortisol plasmatique sur des échantillons de sang prélevés de la veine jugulaire sur cinq chevaux de race arabe barbe, ainsi que sur trois groupes de races bovines différentes, cinq bovins par groupe afin de mesurer les réactions et la sensibilité au stress chez eux. Nous avons exposé ces animaux à des tests pour créer un stress aigu. Nous avons trouvé quelques particularités structurelles au niveau des encéphales, représentées principalement par la vascularisation, le poids, le volume et le développement de certaines structures. Nous avons trouvé que le cristallin est très large et le volume du globe oculaire est supérieur chez le cheval par rapport au bovin. La réponse de l'axe-HPA aux tests utilisés était négative, le taux de cortisol plasmatique au repos était élevé chez le cheval par rapport à celui du bovin et il était très élevé chez le groupe de bovins qui ont eu des expériences négatives de manipulation.

Mots clés : Investigation, neuroanatomie, encéphale, réaction émotionnelle, stress, cortisol.

Abstract :

Our study is divided in two parts. The first part is a literature review in which we based on four mains axis, neural control of organism and behavior, neuroanatomy of brain, social behavior in horses and cattle and finally physiology of stress. The second part is a practical study . Our experimental work consist on the dissection of two horse's and two cattle's brains, aims to search the presence of macro-anatomic structural differences, the second part is a measures of plasma Cortisol levels. Blood was sampled via jugular venipuncture from five horses of Arab barb breeds and three groups of different cattle's strains, five animals per group to measure reactions and sensitivity to stress in these two species. We exposed them to tests in order to create an acute stress. We have found some structural particularities in the brain, mainly in the vasculature, weight, volume and some structures well developed. In the other we found some differences in the eye, represented by the big volume of ocular glob and a large lens in horses. The response of the HPA-axis to the used tests was negative. Cortisol levels at rest were elevated in horses and they were the highest ones in cattle's group who had a negative handling experiences.

Keys words: Investigation, neuro-anatomy, brain, emotional reaction, stress, Cortisol.

ملخص:

الدراسة التي أجريتها تنقسم إلى جزأين. الأول تركيب إنشائي مكتبي يدور حول أربع محاور أساسية: التحكم العصبي في العضوية و السلوك، التشريح العصبي للدماغ، السلوك الاجتماعي للحصان و البقر، وأخيرا فيزيولوجيا الإجهاد. الجزء الثاني بحث أو دراسة تطبيقية، عبارة عن عمل يتكون من تشريح دماغي (2) حصان و دماغي (2) بقر للبحث عن وجود اختلافات بنوية ظاهرة، كما أجريتها في الشق الثاني من الدراسة التطبيقية قياسات تحليلية لمستويات الكورتيزول في الدم بعد جمع العينات من الوريد الوداجي لخمسة أحصنة من سلالة العربي البربري، و ثلاثة مجموعات من سلالات مختلفة من البقر كل مجموعة تتكون من خمسة أفراد لقياس الاستجابة و الحساسية للإجهاد في هذين النوعين الحيوانيين من خلال تعريضهم إلى اختبارات لخلق إجهاد حاد. من خلال البحث وجدنا بعض الاختلافات على مستوى الدماغ، تتمثل أساسا في الإمداد بالدم (الأوعية الدموية)، الوزن، الحجم و بعض البنى ذات نمو متقدم. وجدنا أيضا هذه الاختلافات في العين ممثلة في حجم هذه الأخيرة، و قطر العدسة الكبيرين عند الحصان. استجابة المحور "الغدة النخامية-الغدة الكظرية" (HPA-axis) لاختبارات الإجهاد التي استعملناها كانت سالبة. مستوى الكورتيزول عند الراحة مرتفع نسبيا عند الحصان ولكن وجدناه مرتفعا أكثر عند الأبقار التي كان لها تجارب معاملات سلبية مع الإنسان.

كلمات مفتاح : تشريح عصبي، دماغ، استجابة انفعالية، إجهاد ، كورتيزول.