



Institut des Sciences
Vétérinaires- Blida

Université Saad
Dahlab-Blida 1-



Projet de fin d'études en vue de l'obtention du
Diplôme de Docteur Vétérinaire

ECHOGRAPHIE DE L'ENCEPHALE CHEZ LE CHIEN

Présenté par
BENMEHREZ Fatima Dania

Devant le jury :

Président :	YAHIMI A.	MCB	ISVB
Examineur :	DJOUDI M.	MCB	ISVB
Promoteur :	BELALA R.	MCA	ISVB
Copromoteur :	MOUGARI B.	DMV	Cabinet vétérinaire

Année : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Quarante-cinq minutes de route et une chaleur à couper le souffle, un grand parking où mon père m'attend, une vague d'étudiants qui s'affairent autour des amphithéâtres et moi, perdue dans cet océan, demandant sans cesse des informations ; j'avais cependant la très forte conviction que je voulais devenir médecin vétérinaire. Je ne m'étais pas trompée, chaque jour passé à l'ISVB m'a confortée dans cette volonté. Je m'y suis épanouie et développée personnellement et j'ai fait de ma passion une vocation. Comment pourrais-je remercier tous mes enseignants qui m'ont transmis leurs connaissances ? Dire merci, un simple mot, ne suffirait pas à exprimer toute ma reconnaissance.

Ces cinq années se sont achevées par mon projet de fin d'études où le Dr Belala R., mon promoteur, m'a initiée ou plutôt a instillé en moi l'amour de la recherche. Il m'a patiemment guidée cette année malgré la conjoncture difficile due au Covid-19 et je ne saurais le remercier assez. Mon vœu le plus cher a été d'être à la hauteur de ses attentes.

Au Dr Yahimi A., président de jury, j'adresse ma gratitude pour sa gentillesse et sa disponibilité durant toutes ces années.

Quant au Dr Djoudi M., examinateur, quels mots pourraient exprimer ce que je pense ? C'est une référence incontournable pour moi ; il a toujours été présent par ses conseils et restera à jamais lié à mes meilleurs souvenirs à l'ISVB.

A toute l'équipe de la clinique « TAGAST » où j'ai fait mon stage : Dr Toudjine M., Dr Mougari B. (Co promoteur), Dr Kaced O. et Dr Damache S., j'adresse mes remerciements les plus profonds. Ils m'ont appris la pratique de la médecine vétérinaire, m'ont accueilli et ont cru en moi. Ils sont mes « modèles ».

A mes parents Chérif et Ouahiba qui m'ont éduquée et m'ont vue grandir, merci de m'avoir toujours soutenue et d'avoir été de bon conseil. Je vous aime.

Au reste de ma famille, je pourrais les citer un à un, mais ce travail dépasserait les 100 pages, merci pour vos encouragements et votre soutien.

Sans oublier un merci particulier aux Drs Aouar et Ould ahmed, radiologues à l'hôpital Bab El Oued sans qui, la partie expérimentale de ce mémoire serait réduite à peau de chagrin.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents qui m'ont appris à persévérer et donner le meilleur de moi-même dans tous ce que j'entreprends, à mes grands-parents que j'aime profondément ainsi qu'à mes oncles et tantes qui ont toujours pris soin de moi. Et pour finir, aux futurs vétérinaires, j'espère que ce travail permettra d'étendre leurs connaissances.

RESUME :

Ce travail démontre l'utilité de l'échographie dans l'exploration du cerveau canin et ses applications en neurologie. Nous mettons particulièrement en avant une technique fiable, rapide et peu coûteuse, très utilisée en médecine humaine, utilisant une fontanelle bregmatique. Des rappels anatomiques de l'encéphale ainsi que les principes de l'échographie sont abordés pour une meilleure compréhension.

Les différentes fenêtres ultrasonores qu'offre la boîte crânienne sont évoquées et l'aspect normal du cerveau canin à l'échographie transfontanellaire (ETF) chez les jeunes chiens ainsi que chez les adultes est décrit. La connaissance de cette partie est très importante pour différencier l'aspect anormal à l'échographie afin d'évaluer les lésions provoquées en expérimentation ou assurer le diagnostic de certaines pathologies telles que l'hydrocéphalie, les kystes arachnoïdiens, les tumeurs cérébrales.

D'autre part, les diverses techniques d'imagerie (IRM, TDM et ETF) pour le diagnostic des lésions cérébrales sont aussi comparées.

Dans la partie expérimentale, la faisabilité de l'ETF et sa réalisation chez d'autres espèces que les chiens, comme les humains et les chats, sont évaluées. La comparaison de sa praticité chez les espèces humaine et animale (chiens et chats) ainsi que les particularités d'espèces sont soulignées, l'objectif recherché étant de rapporter les pratiques de l'ETF en médecine humaine afin de les extrapoler chez les animaux.

Parmi les individus sélectionnés (un chien, cinq chatons, trois nourrissons prématurés) indemnes de signes neurologiques anormaux, L'ETF a permis d'infirmer la présence d'une ventriculite chez l'un des prématurés ainsi que la découverte fortuite, chez un autre, d'une dilatation ventriculaire et des kystes en rapport avec une hémorragie sous épendymaire de type 1 en période néonatale. Le troisième nourrisson ainsi que les chatons présentaient une ETF normale. La pandémie du covid-19 nous a malheureusement empêchée de réaliser une ETF chez le chien sélectionné et d'étendre nos expérimentations.

Pour conclure, L'ETF s'avère être une technique d'imagerie reproductible, sans danger et d'une grande disponibilité pour les domaines aux ressources limitées comme la médecine vétérinaire.

Mots clés : Echographie transfontanellaire, fontanelle, cerveau, chien, hydrocéphalie, kyste arachnoïdien

ملخص:

يوضح هذا العمل فائدة الموجات فوق الصوتية في استكشاف دماغ الكلاب وتطبيقاتها في علم الأعصاب. نسلط الضوء بشكل خاص على تقنية موثوقة وسريعة وغير مكلفة، تُستخدم على نطاق واسع في الطب البشري، باستخدام اليافوخ الامامي. تتم مناقشة التذكيرات التشريحية للدماغ وكذلك مبادئ الموجات فوق الصوتية من أجل فهم أفضل.

تتم مناقشة نوافذ الموجات فوق الصوتية المختلفة التي توفرها الجمجمة ويتم وصف المظهر الطبيعي لدماغ الكلاب على الموجات فوق الصوتية عبر اليافوخ الامامي (ETF) في الكلاب الصغيرة وكذلك عند البالغين. تعتبر معرفة هذا الجزء مهمة جدًا للتمييز بين المظهر غير الطبيعي على الموجات فوق الصوتية من أجل تقييم الآفات الناتجة عن التجربة أو للتأكد من تشخيص بعض الأمراض مثل استسقاء الرأس، الخراجات العنكبوتية، أورام المخ، إلخ.

من ناحية أخرى، تتم أيضًا مقارنة تقنيات التصوير المختلفة (MRI و CT و ETF) لتشخيص تلف الدماغ.

في الجزء التجريبي، يتم تقييم جدوى ETF وتنفيذه في أنواع أخرى غير الكلاب، مثل البشر والقطط. تم تسليط الضوء على المقارنة بين التطبيق العملي للأنواع البشرية والحيوانية (الكلاب والقطط) بالإضافة إلى خصائص الأنواع، والهدف هو الإبلاغ عن ممارسات الموجات فوق الصوتية عبر اليافوخ الامامي في الطب البشري من أجل استقراءها في الحيوانات.

من بين الأفراد المختارين (كلب، خمس قطط، ثلاثة أطفال مبتسرين) خالية من علامات عصبية غير طبيعية، أتاحت الموجات فوق الصوتية عبر اليافوخ الامامي استبعاد وجود التهاب البطين في أحد الأطفال المبتسرين وكذلك الاكتشاف العرضي في طفل آخر والتوسع البطيني والأكياس المرتبطة بالنزيف تحت البطانة من النوع الأول في فترة الوليد. الرضيع الثالث والقطط كان لديهم ETF عادي. لسوء الحظ، منعنا وباء covid-19 من إجراء ETF في الكلب المختار ومن توسيع تجاربنا.

في الختام، أثبتت ETF أنها تقنية تصوير قابلة للتكرار وأمنة ومتاحة على نطاق واسع للمناطق محدودة الموارد مثل الطب البيطري.

ABSTRACT

This work demonstrates the usefulness of ultrasonography in the exploration of the canine brain and its applications in neurology. We particularly highlight a reliable, fast and inexpensive technique, widely used in human medicine, using a bregmatic fontanelle. Anatomical basics of the brain as well as the principles of ultrasound are recalled for a better understanding.

The different acoustic windows provided by the skull are discussed and the normal appearance of the canine brain using the transfontanellar ultrasonography (TFU) in young dogs as well as in adults is described. Knowledge of this part is very important in order to differentiate abnormal appearance and assess eventual lesions consequent to experimentation or to ensure diagnosis of certain pathologies such as hydrocephalus, arachnoid cysts, brain tumors, etc.

On the other hand, the various imaging techniques (MRI, CT and TFU) for the diagnosis of brain damage are also compared.

In the experimental part, feasibility of TFU and its implementation in other species than dogs, such as humans and cats are assessed. As a matter of fact, comparison of practicality of this technique in human and animal species (dogs and cats) as well as peculiarities of species are emphasized, the objective being to report TFU practices in human medicine in order to extrapolate them in animals.

Among the individuals included in our experiments (a dog, five kittens, three premature infants, all free from abnormal neurological signs), the TFU made it possible to rule out the presence of ventriculitis in one of the premature babies as well as to discover accidentally in another baby, a ventriculomegaly and cysts related to grade-1 subependymal hemorrhage during the neonatal period. The third baby and the kittens had a normal TFU. Unfortunately, the covid-19 pandemic prevented us from performing an TFU in the selected dog and from expanding our experiments. In conclusion, TFU is proving to be a reproducible, safe and widely available imaging technique for resource-limited areas such as veterinary medicine.

Key words: transfontanellar ultrasonography, fontanelle, brain, dog, hydrocephalus, arachnoidian cyst

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
CHAPITRE 1 : RAPPELS ANATOMIQUES DU SYSTÈME NERVEUX DU CHIEN	2
1.1 CONFORMATION INTERNE DE LA BOITE CRANIENNE : LA CAVITE CRANIENNE.....	2
1.2 LES FONTANELLES.....	3
1.3 LES MENINGES.....	4
1.4 L'ENCEPHALE	5
1.5 LE SYSTEME VENTRICULAIRE DU CHIEN	8
1.6 LA VASCULARISATION DU CERVEAU	11
CHAPITRE 2 : RAPPELS D'ECHOGRAPHIE	13
2.1 Principe.....	13
2.2 Terminologie	13
2.3 Choix des sondes et des fréquences	14
2.4 Réglages et qualité d'images.....	15
2.5 Les artéfacts	16
2.6 Les plans de coupe	16
CHAPITRE 3 : APPLICATION DE L'ECHOGRAPHIE DANS L'EXPLORATION DU CERVEAU	18
3.1 Indications et contre-indications	18
3.2 Réalisation pratique de l'examen chez le chien	18
3.3 Interprétation des images échographiques	22
3.3.1 ASPECT NORMAL DU CERVEAU CANIN	22
3.3.2 ASPECT ANORMAL DU CERVEAU CANIN	27
3.4 Le Doppler transcrânien	41
3.5 Chirurgie échoguidée	43
3.6 Imagerie de l'encéphale : comparaison DES TECHNIQUES ETF, TDM et IRM	44
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....	47
CHAPITRE 1 MATERIELS ET METHODES :.....	47
CHAPITRE 2 RESULTATS :.....	51
A. Chez les nourrissons :.....	51
B. Chez les chatons :.....	57
CHAPITRE 3 DISCUSSION	60
a. Qualité des observations :.....	60
b. discussion des cas cliniques :.....	61

c. discussion des particularités des espèces:	63
d. discussion des limites de l'examen :	65
e. bilan DE l'utilisation de l'ETF :	65
CONCLUSION	67
BIBLIOGRAPHIE :	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Indications et contre-indications de l'échographie de l'encéphale chez le chien.....	18
Tableau 2 : Mesures des ventricules latéraux sur le plan transverse [7,31].....	29
Tableau 3: Comparaison entre les différentes techniques d'imagerie de l'encéphale chez le chien: ETF,TDM,IRM.....	45
Tableau 4: Avantages et limites de l'utilisation de l'ETF, IRM et TDM dans l'exploration du cerveau canin.	45
Tableau 5 : Tableau récapitulatif de la population d'étude et résultats de l'ETF.	59
Tableau 6: Système de cotation de l'hémorragie périventriculaire [14].	62

LISTE DES FIGURES

Figure 1: crâne du chien.	3
Figure 2: Sutures crâniennes et fontanelle chez un chien.	3
Figure 3: Emplacement de la molera chez les chihuahuas [9].	4
Figure 4: Méninges cérébrales et villosités arachnoïdiennes [16].	5
Figure 5: Principales subdivisions de l'encéphale [22].	6
Figure 6: Lobes corticaux du cerveau canin (vue latérale) [19,56].	7
Figure 7: Anatomie du système ventriculaire chez le chien [16,22].	10
Figure 8: Représentation schématique de la vascularisation artérielle de l'encéphale chez le chien [59].	11
Figure 9: Relation des méninges et l'espace sous arachnoïdien avec le système ventriculaire [16].	12
Figure 10: Sections sagittale (A) et transverse (B) du cerveau canin [19,56].	12
Figure 11: Echogénéicité tissulaire [2,45 avec modifications].	14
Figure 12: Sondes échographiques avec fréquences variables [45].	15
Figure 13: Artéfacts rencontrés à l'échographie [35].	16
Figure 14: Les plans de coupe utilisés chez le chien [59].	17
Figure 15: Position de la sonde pour l'échographie transfontanellaire [7,28].	19
Figure 16: Position de la sonde pour l'échographie transcrânienne à travers la fenêtre temporale [10].	20
Figure 17: Position de la sonde pour l'échographie à travers le foramen magnum [52].	21
Figure 18: Coupes transverse du cerveau d'un yorkshire terrier âgé d'un mois à travers la fontanelle bregmatique [44].	24
Figure 19: Coupes transverse du cerveau d'un yorkshire terrier âgé d'un mois à travers la fontanelle bregmatique (suite) [44].	24
Figure 20 : Coupe sagittale transverse du cerveau d'un rottweiler croisé âgé de 2semaines [31].	26
Figure 21: Radiographie d'un caniche femelle âgée de 3mois avec un historique de dépression, un strabisme et des crises convulsives occasionnels [5].	27
Figure 22: Images échographiques d'un chihuahua âgé d'un an avec une ventriculoméalie sévère [44].	28
Figure 23: Coupes échographiques sur le plan transverse mettant en évidence une hydrocéphalie modérée (A) et sévère (B) chez des chiens [57]. :	30
Figure 24: coupes échographiques transverse (à gauche) et sagittale (à droite) d'un chihuahua âgé d'un an avec antécédant de quadriparésie aigue [5].	31
Figure 25 : Echographie transfontanellaire d'un chihuahua mâle de 5mois [40].	33
Figure 26: Echographie du cerveau réalisée via la fenêtre temporale (A) et à travers le foramen magnum (B) chez deux chiens différents [50].	34
Figure 27: Images échographiques d'un boston terrier âgé de 5 semaines avec un historique d'ataxie non progressive et tremblements intentionnels [43].	35
Figure 28: Image échographique à travers le foramen magnum de la malformation de type Chiari chez un chien avec une dysplasie occipitale [44].	36
Figure 29: Echographie cérébrale d'un teckel mâle de 6mois avec un historique de crises convulsives durant les 2derniers jours. [5].	36
Figure 30: Hydrancéphalie unilatérale retrouvée chez un caniche toy de 8mois [16].	37
Figure 31: Echographie cérébrale d'un chiot heurté par une voiture dans un état comateux [44].	38
Figure 32: Echographie cérébrale d'un abcès chez un chien (A) et chez un chaton (B) [5,31].	39
Figure 33 : Echographies cérébrales de l'évolution d'un abcès à J4, J15, J22 sur des coupes sagittales chez des chiens [21].	39
Figure 34: Echographie transfontanellaire du Shih-tzu âgé de 2ans [20]. e.	40
Figure 35: Echographie per opératoire des tumeurs cérébrales [3].	41

Figure 36: Echographie transfontanellaire d'un Shih-tzu âgé de 5mois présentant un nanisme et des crises convulsives [3].....	43
Figure 37: Echographie per opératoire [3].....	44
Figure 38: Conformation de la chienne croisée chihuahua-Staff Américain (A et B)..	47
Figure 39: Echographes utilisés dans notre étude.....	48
Figure 40: Sondes échographiques utilisées à la plateforme de Blida.....	49
Figure 41: Position de la sonde pour l'examen à travers la fontanelle bregmatique (à droite) et par la fenêtre temporale (à gauche) chez les chatons.	50
Figure 42 : Position de la sonde pour l'examen à travers la fontanelle bregmatique chez les nourrissons [42]..	50
Figure 43: Coupe au niveau du bulbe olfactif chez la fille..	52
Figure 44: Coupe au niveau des cornes frontales chez la fille..	52
Figure 45: Coupes au niveau des foramens (trou) de Monro et du 3ème ventricule chez les trois nourrissons.....	53
Figure 46: Coupe à travers le troisième ventricule plus superficielle que la figure 45b chez la fille,.....	54
Figure 47: Coupe au niveau des cornes occipitales..	55
Figure 48: coupe au niveau des lobes occipitaux chez la fille.....	55
Figure 49: Coupes sagittales médianes chez la fille et le garçon..	56
Figure 50: Coupe sagittale médiane chez la fille.....	57
Figure 51: Coupes para sagittales chez la fille..	57
Figure 52: Coupe transverse chez un chaton.....	58
Figure 53: Coupe dorsale chez un chaton.....	58
Figure 54 : Vue latérale gauche du crâne d'une nourrisson [42].....	64

LISTE DES ABBREVIATIONS

ETF : échographie transfontanellaire.

LCS : liquide cérébro-spinal.

SNC : système nerveux centrale.

TDM : tomodensitométrie.

IRM : imagerie par résonance magnétique.

VL : ventricule latéral.

INTRODUCTION

L'échographie du système nerveux fut l'une des premières applications dans le domaine médical [39]. Le comportement des ultrasons face aux structures osseuses pourrait constituer une barrière à la visualisation du tissu cérébrale, mais le crâne offre certaines fenêtres acoustiques rendant son exploration possible. Parmi elles, la fontanelle constitue une ouverture naturelle retrouvée chez tous les nouveaux nés.

En pédiatrie humaine, l'échographie transfontanellaire (ETF) est une méthode largement utilisée et d'actualité pour le diagnostic des pathologies cérébrales néonatales et est souvent comparable au scanner [39]. Celle-ci constitue un moyen non invasif, pratique, disponible et peu coûteux dans l'exploration du cerveau.

Chez les chiens et les chats, l'utilisation de l'échographie dans le diagnostic clinique et expérimental des lésions cérébrales est dérivée de la médecine humaine. L'hydrocéphalie en particulier représente l'indication première de l'utilisation de l'ETF chez les animaux (nous pouvons citer aussi les kystes, les hémorragies, les abcès, certaines malformations congénitales...). Toutefois, cette méthode a été abandonnée au profit du scanner et de l'IRM.

Cette étude va traiter les connaissances de base requises en anatomie et en échographie pour l'analyse et l'interprétation des images échographiques du cerveau chez le chien. Ceci nous permettra de nous familiariser à l'Echographie Trans-Fontanellaire (ETF) tout en mettant en exergue ses avantages vis-à-vis de l'IRM et de la TDM. Nous discuterons aussi des pratiques de l'ETF en médecine humaine afin de les extrapoler, non seulement chez le chien mais aussi chez les autres animaux comme le chat par exemple.

CHAPITRE 1 : RAPPELS ANATOMIQUES DU SYSTÈME NERVEUX DU CHIEN

Dans ce chapitre nous aborderons des rappels de l'anatomie des parties les plus importantes de la boîte crânienne afin de permettre l'analyse et l'interprétation des images échographiques de cette partie du corps. Une bonne maîtrise de ce chapitre est indispensable pour la compréhension des chapitres suivants.

1.1 CONFORMATION INTERNE DE LA BOITE CRANIENNE : LA CAVITE CRANIENNE

La boîte crânienne est la partie du crâne où loge l'encéphale [16,18,56].

La cavité crânienne se trouve à l'arrière de la cavité nasale et est délimitée caudalement par le foramen Magnum d'où sort la moelle épinière. Elle comprend deux parties :

La voûte ou calvaria, constituée d'os soudés par des sutures qui jouent un rôle important chez le jeune animal en permettant la croissance de la boîte crânienne (figure1, A) et la base du crâne ou plancher qui est divisée en 3 fosses : la fosse rostrale, la fosse moyenne et la fosse caudale (Figure1, B).

-La fosse rostrale formée des os sphénoïde et ethmoïde contient les bulbes olfactifs et les parties rostrales des hémisphères cérébraux.

-La fosse moyenne est la partie la plus large de la cavité crânienne. Elle contient les lobes pariétal et temporal des hémisphères cérébraux. Son plancher est formé de l'os sphénoïde où se trouve la fosse hypophysaire (selle turcique).

-La fosse caudale s'étend de la limite de la fosse hypophysaire au foramen Magnum qui varie en taille et en forme. Dans cette partie logent le mésencéphale, le pont et la moelle allongée ventralement ainsi que le cervelet dorsalement.

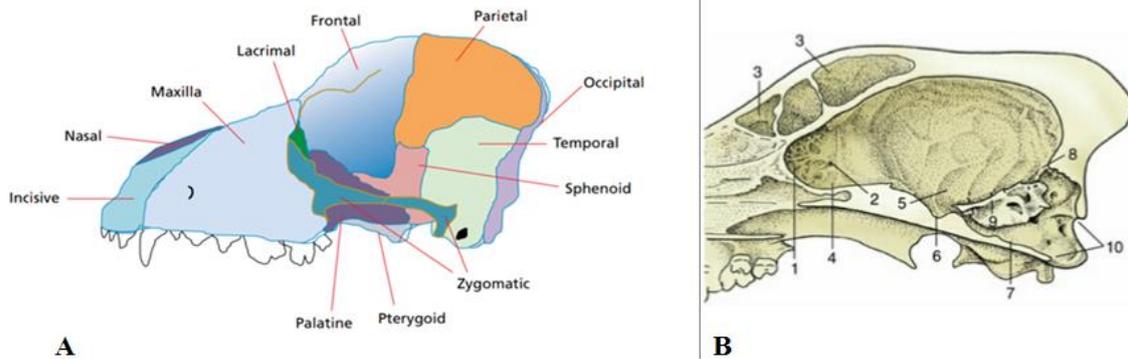


Figure 1: crâne du chien. a: représentation des os du crâne [3]. b : coupe sagittale du crâne [56]. 1-plaque cribriforme; 2-foramen éthmoïdale ; 3-sinus frontal ; 4-fosse rostrale ; 5- fosse moyenne ; 6- fosse hypophysaire ; 7-fosse caudale ; 8-tentorium cérébelleux osseux ; 9-crête pétreuse ; 10- foramen magnum.

1.2 LES FONTANELLES

La fontanelle est l'espace membraneux siégeant à la jonction des os du crâne chez les nouveaux nés ; elles permettent aux os du crâne de bouger lors de la mise-bas, ainsi qu'une poursuite du développement du crâne et de l'encéphale [9,16,28,36,56,57] (Figure 2).

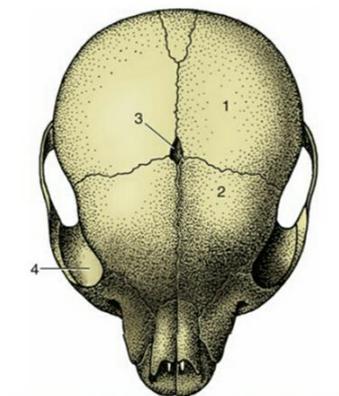


Figure 2: Sutures crâniennes et fontanelle chez un chien [56]. 1-os pariétal; 2-os frontal; 3-fontanelle; 4-orbit.

- **Fermeture des fontanelles :**

Chez les chiens, elles se referment généralement en quelques jours voire en quelques semaines (1mois environs). Cependant certains chiens peuvent avoir une ossification incomplète de la suture fronto-pariétale et donc présenter une fontanelle persistante ou molera, c'est souvent le cas des races de chiens Toy tel que les chihuahuas qui peuvent la garder ouverte jusqu'à l'âge adulte.

- **Persistance de la fontanelle :**

Les fontanelles persistantes sont fréquentes chez plusieurs races de chiens miniatures et brachycéphales, sa présence est très souvent associée à une hydrocéphalie (augmentation du volume du LCS), mais d'après le Dr De Lahunta [9,16], il n'y a aucun fondement pour cela.

Il ne semble exister aucun lien entre la présence, la taille d'une fontanelle et l'hydrocéphalie. Si bien que plusieurs races de chiens Toy cliniquement normaux peuvent avoir une fontanelle sans hydrocéphalie associée [9].

Chez les chihuahuas adultes, la présence d'une petite molera est acceptée comme standard de la race (Figure 3). Donc, la présence d'une fontanelle peut être vue comme une variante de la normale et ne devrait pas être considérée comme un diagnostic d'une hydrocéphalie congénitale.

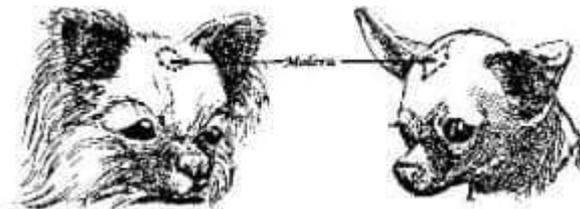


Figure 3: Emplacement de la molera chez les chihuahuas [9].

- **Taille d'une fontanelle :**

La fontanelle peut avoir des formes variées, dans les études de Spaulding, 1990 [57] la taille des fontanelles variait de 1mm à 1cm et était classées comme suit: une petite fontanelle mesurait entre 2-5mm, une fontanelle de taille moyenne était de 5-7,5mm et une fontanelle large était >7.5mm.

1.3 LES MENINGES

Le système nerveux central est recouvert de trois membranes de nature fibreuse appelées méninges : la dure-mère, l'arachnoïde et la pie-mère. Ces deux dernières forment les leptoméninges [16,22,56] (figure 4).

- **La Dure-mère ou (pachyméninge):** c'est la membrane la plus externe. Elle est de nature fibreuse; c'est aussi la plus épaisse et elle adhère pratiquement à l'os. Entre les deux hémisphères, son repli dans le plan médian s'étend ventralement pour former la Faux du

cerveau et contient le sinus sagittal. Le tentorium cérébelleux réalise quant à lui une séparation transversale entre le cerveau et le cervelet.

- **L'Arachnoïde** : cette membrane intermédiaire plus fine que la précédente est séparée de la dure-mère par l'espace subdural et de la pie-mère sur sa face interne par l'espace sous-arachnoïdien. Le LCS circule dans l'espace sous arachnoïdien. Les villosités que l'arachnoïde envoie vers les vaisseaux courants à la surface de la pie-mère permettent sa réabsorption.
- **La Pie-mère** : c'est la membrane la plus interne. Elle est très mince et transparente. C'est une membrane nourricière qui adhère à la surface du SNC et envoie des prolongements vers les deux autres méninges.

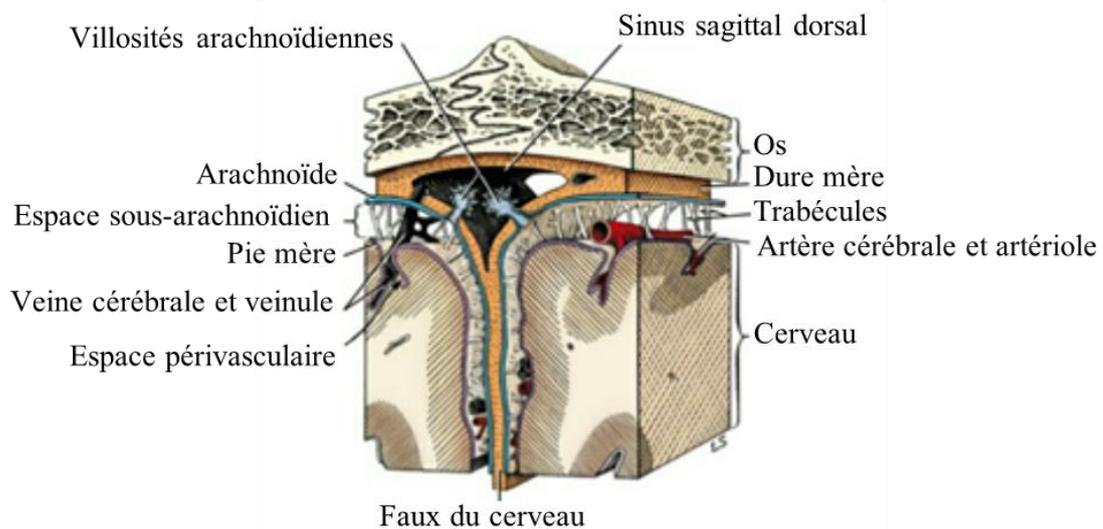


Figure 4: Méninges cérébrales et villosités arachnoïdiennes [16].

1.4 L'ENCEPHALE

L'encéphale est la partie du système nerveux centrale (SNC) logée dans la boîte crânienne où il est protégé. Il est divisé en trois parties majeures : le cerveau, le cervelet et le tronc cérébral. Il peut aussi être divisé en cinq subdivisions [22,38,56,59] (figure 5) :

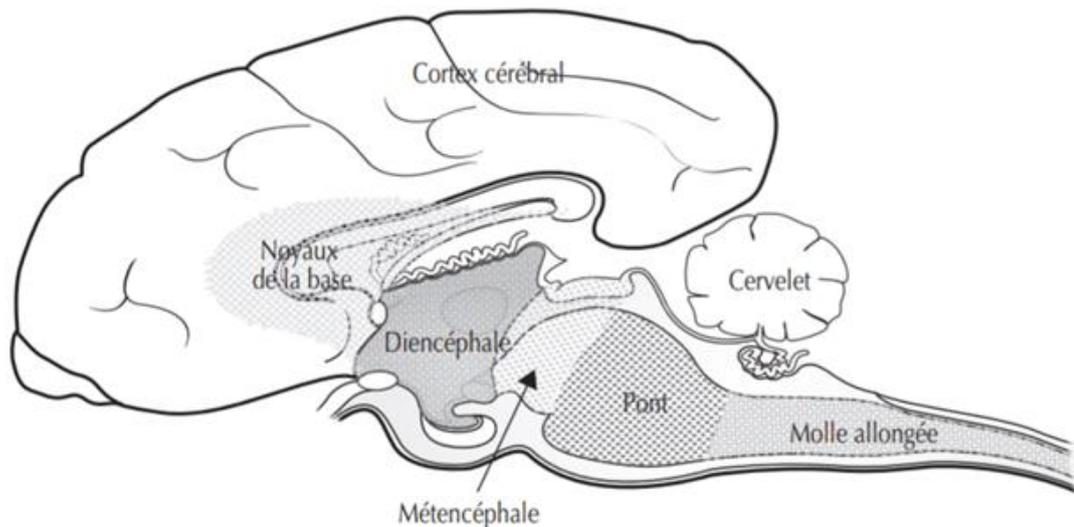


Figure 5: Principales subdivisions de l'encéphale [22].

- **Le télencéphale (cerveau) :**

Le télencéphale est la partie la plus large de l'encéphale. Il est constitué de deux hémisphères cérébraux droit et gauche séparés par la fissure longitudinale ; ces deux hémisphères sont séparés du cervelet par la fissure transverse. Trois sous-unités peuvent être distinguées :

- Le cortex cérébral qui représente un revêtement de substance grise se trouvant à la périphérie de chaque hémisphère. Les circonvolutions (ou gyrus; pluriel :gyri) sont des replis de ce cortex et sont délimités par des sillons profonds (scissures) qui divisent le cortex en lobes frontal, pariétal, temporal et occipital en fonction de la topographie des os du crâne (Figure 6). La surface de l'hémisphère peut être lisse (lissencéphale) ou contenir des circonvolutions (gyrencéphale). Le pallium ou manteau cérébral donne le cortex dorsalement et le rhinencéphale ventralement.

- Les noyaux de la base qui sont une portion de la substance grise située en profondeur près des ventricules latéraux. On y distingue le corps strié (noyaux caudés et lentiformes). Le corps amygdaloïde et les noyaux septaux appartiennent au rhinencéphale mais leur appartenance aux noyaux de la base est contestée.

- La substance blanche qui est formée par les projections issues du cortex. On y retrouve les ventricules latéraux dont le plafond est constitué par le corps calleux.

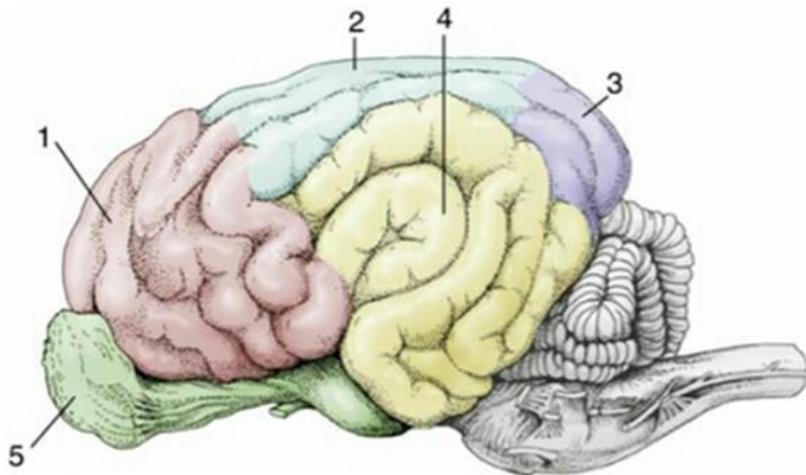


Figure 6: Lobes corticaux du cerveau canin (vue latérale) [19,56]. 1-Lobe frontal; 2-Lobe pariétal; 3-lobe occipital; 4-Lobe temporal; 5-Lobe olfactif.

- **Le diencephale :**

Il comporte cinq éléments :

Le Thalamus, dans la partie moyenne. C'est une structure paire avec deux thalami connectés entre eux grâce à l'adhésion interthalamique qui passe par le centre du troisième ventricule.

L'Epithalamus dorso- médialement au thalamus, le Métathalamus caudo-dorsalement, le Subthalamus et l'Hypothalamus ventralement.

- **Le mésencéphale :**

Il représente la portion rostrale du tronc cérébral qui relie le diencephale au pont. Les collicules ou tubercules quadrijumeaux rostraux et caudaux se situent dans sa région dorsale au niveau du tectum. Ce dernier est dorsal à l'aqueduc du Sylvius.

- **Le métencéphale :**

Il est constitué du pont et du cervelet. Le premier représente la partie ventrale du métencéphale tandis que le second compose le métencéphale dorsal et est formé de deux hémisphères et d'une structure centrale, le vermis.

- **Le myélocéphale (ou moelle allongée) :**

C'est la partie la plus caudale du tronc cérébral qui en rétrécissant donne naissance à la moelle épinière.

1.5 LE SYSTEME VENTRICULAIRE DU CHIEN

- **Le liquide cérebro-spinal (LCS)**

C'est un liquide clair produit par les plexus choroïdes qui tapissent les ventricules latéraux et le plafond des troisième et quatrième ventricules (58%), ainsi que par les capillaires des leptoméniges (42%). Il circule vers l'espace sous-arachnoïdien où il est absorbé par les sinus veineux par l'intermédiaire des granulations arachnoïdiennes. Il nourrit, protège et soutient le SNC qu'il entoure. La vitesse moyenne de production du LCS est de 0,047mL/min chez le chien [16,22].

- **Le système ventriculaire**

Il est constitué de cavités où circule le LCS. La topographie et l'anatomie de chacune de ces cavités est décrite dans la figure et références ci-après (figure 7) [1,6,17,22,41,48,59] :

a. Les ventricules latéraux (VL)

Chaque hémisphère cérébral est creusé d'un ventricule latéral. Ces vastes cavités en forme de « C » sont séparées par un septum et divergent pour se terminer au niveau du lobe piriforme. Leur communication avec le troisième ventricule se fait via le foramen interventriculaire (trou de Monro).

Les ventricules latéraux sont constitués de trois parties :

-Une partie centrale dont le plafond est représenté par la face ventrale du corps calleux. Son plancher est déformé rostralement et médialement par le noyau caudé, caudalement et latéralement par la corne d'Amon.

-Une partie rostrale ou corne rostrale qui gagne le pédoncule olfactif et se termine par un renflement.

-Une partie caudale, corne temporale qui se termine au niveau du lobe piriforme. Son plancher est soulevé par la corne d'Amon.

b. Le troisième ventricule (3^{ème} V)

Situé dans le diencephale, c'est une sorte de tore vertical dont le centre est occupé par l'adhésion interthalamique. Il est relié au quatrième ventricule situé sous le cervelet par l'Aqueduc mésencéphalique ou Aqueduc de Sylvius.

Le troisième ventricule présente deux parois latérales lisses. Son plafond est occupé par l'adhérence interthalamique au-dessus de laquelle le toit est mince et représenté par la toile choroïdienne du troisième ventricule. Son plancher est formé par la lame terminale qui s'élève du chiasma optique à la commissure rostrale.

Le chiasma optique sépare deux récessus : le récessus optique et le récessus infundibulaire.

c. Le quatrième ventricule (4^{ème} V)

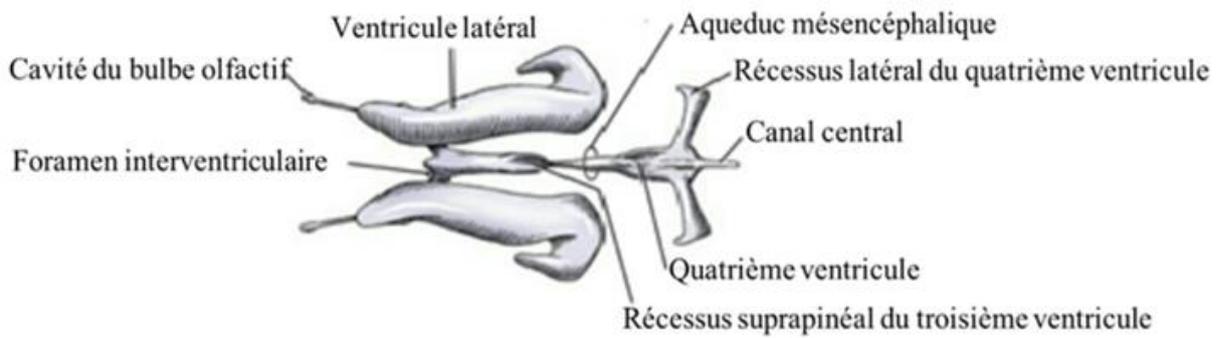
Le quatrième ventricule est situé dans la moelle allongée et le pont entre les pédoncules cérébelleux. Son toit est composé de deux voiles médullaires rostral et caudal et comporte un plexus choroïde qui déborde dans la citerne cérébro-médullaire. Il est couvert par les extrémités rostrale et caudale du vermis cérébelleux. Son plancher est formé par la fosse rhomboïde.

Le quatrième ventricule est en continuité avec le canal médullaire d'une part et avec les espaces sous arachnoïdiens d'autre part, par l'intermédiaire d'une ouverture médiane et de deux ouvertures latérales.

- **Les citernes [17]**

Le LCS circule dans le système ventriculaire puis s'accumule dans quatre grandes citernes. La citerne cérébro-médullaire est la plus vaste; elle est située derrière le cervelet, dorsalement à la moelle allongée. La citerne chiasmatique se situe entre le chiasma optique et le genou du corps calleux. La citerne intercrurale plus vaste que la précédente se trouve entre le chiasma optique et le pont. Celle-ci entoure l'hypophyse et communique de chaque côté avec la citerne de la fosse latérale du cerveau.

Vue dorsale



Projection latérale

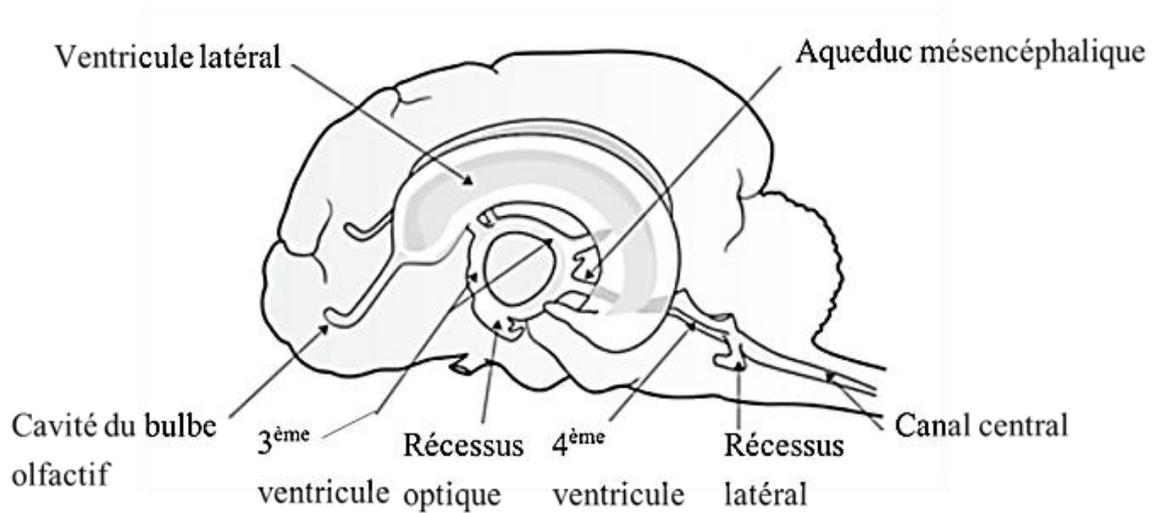
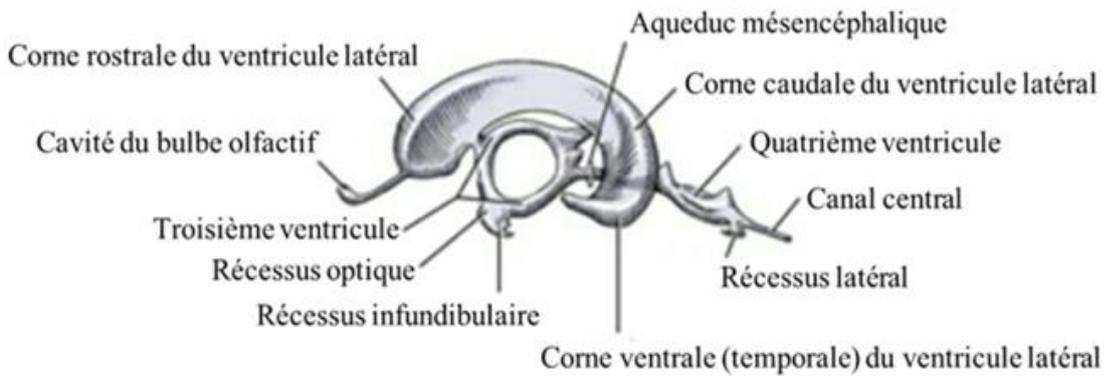


Figure 7: Anatomie du système ventriculaire chez le chien [16,22].

1.6 LA VASCULARISATION DU CERVEAU

- **L'apport artériel [22,44,56]**

La vascularisation de l'encéphale se fait à partir du cercle artériel cérébral, aussi appelé cercle de Willis, situé à la base de la cavité crânienne en regard de l'hypophyse. Son alimentation est assurée par trois sources provenant de la circulation générale : les deux carotides internes latéralement et l'artère basilaire caudalement.

L'artère carotide interne entre dans la cavité crânienne puis se divise en branches rostrale et caudale. La branche rostrale des artères carotides droite et gauche s'unissent et complètent la moitié rostrale du cercle. De cette portion rostrale émanent les artères cérébrales rostrale et moyenne. Les branches caudales de chacune des artères carotides internes quant à elles, s'anastomosent avec les artères communicantes caudales issues de l'artère basilaire, artère unique qui s'était divisée en deux branches droite et gauche au niveau du mésencéphale avant que celles-ci ne rejoignent les artères carotides internes pour compléter le cercle. Les artères cérébrales caudale et cérébelleuse rostrale quittent la moitié caudale du cercle. Pour finir, l'artère cérébelleuse caudale, considérée comme la cinquième artère majeure, quitte directement l'artère basilaire.

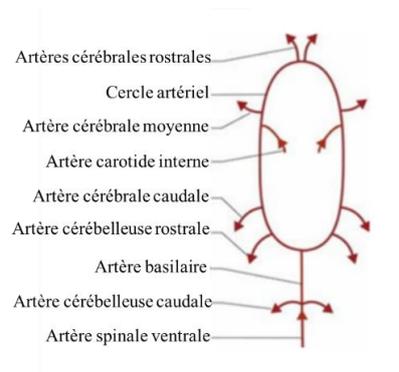


Figure 8: Représentation schématique de la vascularisation artérielle de l'encéphale chez le chien [59].

- **Le drainage veineux [22,44 ,56]**

Le système veineux intracrânien est drainé par plusieurs sinus. Le sinus dorsal sagittal qui se situe dans la faux de cerveau reçoit de nombreuses veines tributaires directement des hémisphères cérébraux.

Afin d'optimiser la compréhension du chapitre 3, un schéma illustrant le rapport entre les méninges et l'espace sous arachnoïdien avec les ventricules latéraux (Figure 10) ainsi que des coupes transverse et sagittale du cerveau (Figure 11) sont présentées.

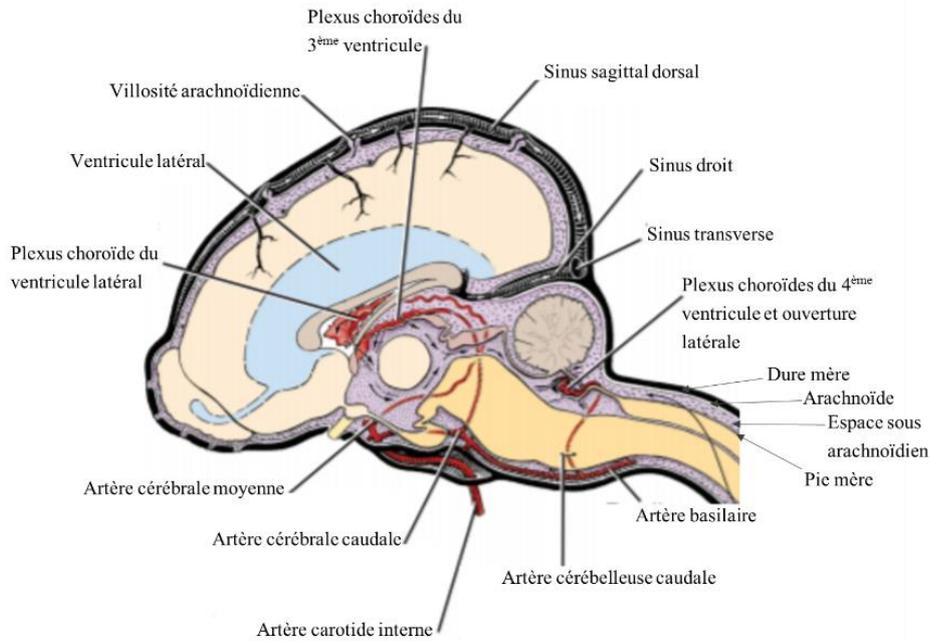


Figure 9: Relation des méninges et l'espace sous arachnoïdien avec le système ventriculaire [16].

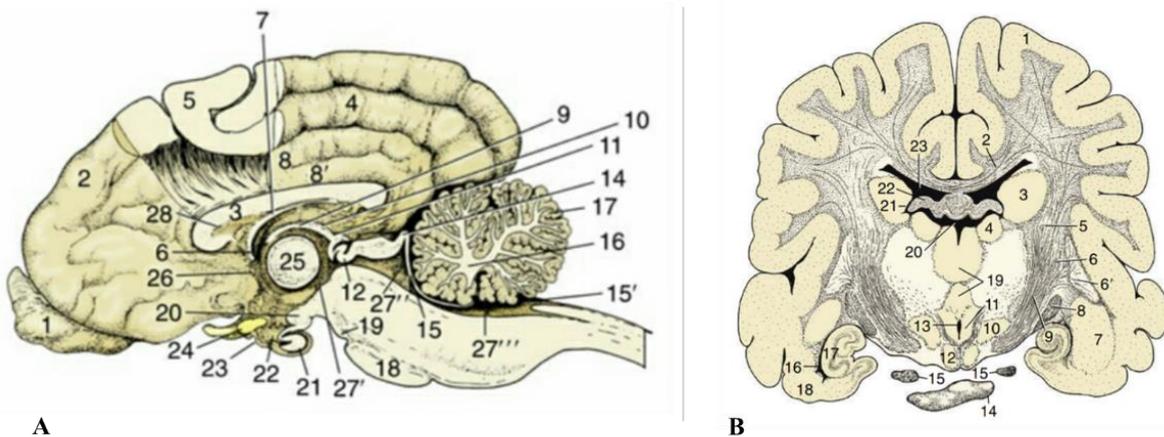


Figure 10: Sections sagittale (A) et transverse (B) du cerveau canin [19,56]. **A :** 1-Bulbe olfactif ; 2-Hémisphères ; 3-Corps calleux ; 4-Sulcus splénial ; 5-Cortex cérébral ; 6-Foramen interventriculaire ; 7-Fornix ; 8-Gyrus cingulaire ; 8'-Gyrus supracalleux ; 9-Thalamus ; 10-Epithalamus ; 11-Epiphyse ; 12-Commissure postérieure ; 13 et 14-Commissures des colliculi rostral et caudal ; 15-Voile médullaire rostral ; 15'-Voile médullaire caudal ; 16-Corps médullaire ; 17-Cortex cérébelleux ; 18-pont ; 19-Crus cérébral ; 25-Adhésion interthalamique ; 26-Commissure antérieure ; 27'-3^{ème} ventricule ; 27''- Aqueduc mésencéphalique ; 28-Septum pellucidum. **B :** Section au niveau de la transition entre le crus cérébral et la capsule interne. 1-Hémisphère cérébral ; 2-Corps calleux ; 3-Noyau caudé ; 4-Thalami ; 5-Capsule interne ; 6,6'-Noyaux lentiformes ; 6-Globus pallidus ; 6'-Putamen ; 7-Amygdale ; 8-Tractus optique ; 9-Crus cérébral ; 10-Hypothalamus ; 11-Tractus mammiilo-thalamique ; 12- Corps mamillaire ; 13-Partie ventrale du 3^{ème} ventricule ; 14-Hypophyse ; 15-Nerf oculomoteur ; 16-Partie ventrale du ventricule latéral ; 17-Hippocampe ; 18-Lobe priforme ; 19-Adhésion interthalamique ; 20-Partie dorsale du 3^{ème} ventricule ; 21-Foramen interventriculaire ; 22-Fornix ; 23-Ventricule latéral.

CHAPITRE 2 : RAPPELS D'ECHOGRAPHIE

L'échographie est un moyen non invasif et accessible pour le diagnostic de nombreuses pathologies. Comprendre les principes des ultrasons et leurs interactions avec les tissus est très important pour interpréter les images obtenues [35,46]. Cette partie exposera donc les notions de base de l'échographie [5,27,35,45] nécessaires à la compréhension des chapitres suivants.

2.1 PRINCIPE

L'interaction entre les ondes ultrasonores et les tissus permet à certains échos d'être réfléchis et recueillis par la sonde. Dans ce processus, un paramètre important est l'impédance acoustique des tissus soumis aux ondes ; celle-ci représente les caractéristiques de transmission sonore des divers types tissulaires et dicte l'intensité des échos réfléchis et donc l'échogénicité du tissu. D'autre part, plus la différence d'impédance entre deux tissus est importante, plus la réflexion des ultrasons sera presque totale. Lorsque la réflexion est totale, une ombre acoustique apparaît faute de transmission d'ultrasons au-delà de l'interface.

L'appréciation de certains paramètres comme la taille, l'aspect, l'échogénicité et la position d'une structure peut être effectuée à l'échographie.

Il faut souligner que l'utilisation de l'échographie pour l'évaluation du système nerveux est limitée car les os sont considérés comme une barrière aux ultrasons. Toutefois, la transmission des ultrasons dépend de l'épaisseur et de la structure de ces os. Les os spongieux du crâne comme la portion dorsale de l'os pariétal ou l'os frontal dispersent les ultrasons ; l'os temporal, au contraire, est compact et permet donc une réfraction des faisceaux ultrasonores qui sont alors moins atténués [39,57]. Cependant l'utilisation de l'échographie est indiquée pour le diagnostic de nombreuses lésions au niveau du tissu cérébral à travers des fenêtres acoustiques. Cette partie sera détaillée dans le chapitre suivant.

2.2 TERMINOLOGIE

Echogénicité / Echogène : c'est la capacité d'engendrer des échos.

Anéchogène : aucun écho ne peut être discerné. La zone apparaît noire sur l'écran.

Hypoéchogène : il existe des échos, mais ils sont faibles et donnent une image grise.

Hyperéchogène : l'intensité des échos est importante et ceux-ci apparaissent blancs et brillants.

Homogène/uniforme et hétérogène/mixte : termes qui se réfèrent à l'échogénicité ou à la texture (aspect de l'image) du tissu examiné.

Isoéchogène : l'échogénicité du tissu est similaire à celle des structures adjacentes.

L'échogénicité peut varier d'un tissu à un autre et d'un état à un autre (normal ou anormal) (Figure 11). Par exemple, une structure peut être hypo échogène ou hyperéchogène par rapport à son état normal ou en comparaison avec une autre structure. Certains facteurs comme l'angle du faisceau par rapport à l'organe, la nature des tissus adjacents à l'organe, le choix de la sonde, les réglages de l'échographe ou encore la préparation du patient peuvent altérer l'échogénicité d'un organe.

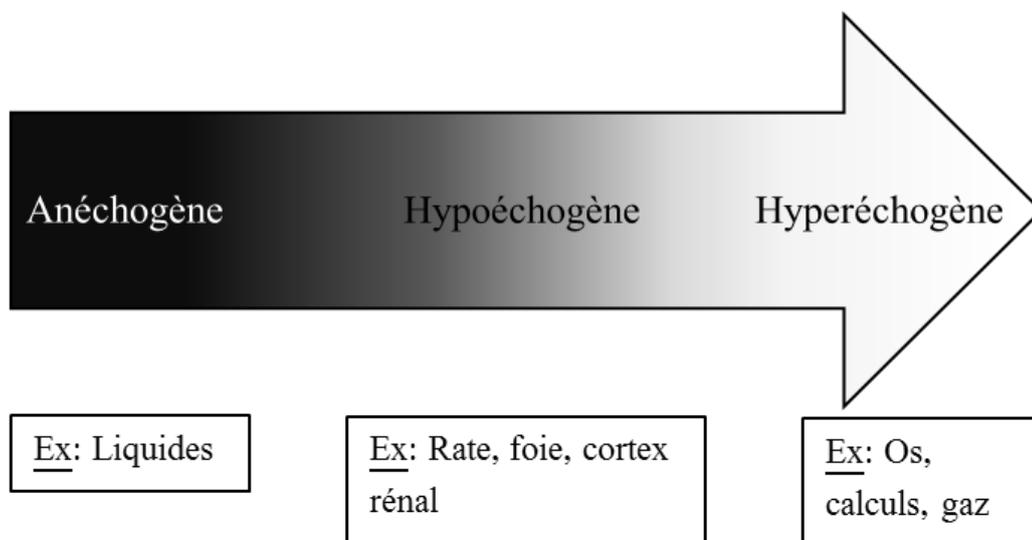


Figure 11: Echogénicité tissulaire [2,45 avec modifications].

2.3 CHOIX DES SONDES ET DES FREQUENCES

La configuration des sondes varie en fonction des besoins. Les sondes convexes ou micro-convexes génèrent des faisceaux d'ultrasons divergents, ce qui produit une image triangulaire. Ces sondes à petite surface de contact procurent une grande profondeur de visualisation mais avec une précision moindre. Les sondes échographiques de type linéaire quant à elles, produisent une image rectangulaire car les ondes sonores émises sont parallèles entre elles. L'avantage qu'elles offrent est une bonne résolution des tissus peu profonds. Par contre, leur large surface de contact appliquée dans une zone en relief peut entraîner des artéfacts (voir figure 12).

Autrement dit, Il faut faire un compromis entre la profondeur explorée et la résolution de l'image, car en diminuant la fréquence de la sonde, la profondeur de pénétration des ultrasons augmente

et la résolution de l'image obtenue diminue. Inversement, quand la fréquence est élevée, la profondeur de l'exploration est restreinte mais la résolution est meilleure.



Figure 12: Sondes échographiques avec fréquences variables [45]. A : Sonde macro-convexe basse fréquence (3-8MHz) ; B : sonde micro-convexe avec fréquences plus hautes et surface de contact plus petite ; C sonde linéaire haute fréquence (10-18MHz) ; D-sonde cardiaque avec une petite surface de contact aplatie.

2.4 REGLAGES ET QUALITE D'IMAGES

Certains réglages peuvent être faits pour optimiser la qualité des images.

Le gain : il est utilisé pour déterminer le niveau d'amplification des échos et compenser leur atténuation dans les tissus. Le choix de la fréquence de la sonde utilisée doit être adéquat pour pénétrer la zone d'intérêt sans avoir à augmenter le gain outre mesure. Dans le cas où l'image est noire, le gain doit être augmenté. Dans le cas contraire, le gain doit être diminué ou une sonde à plus haute fréquence doit être utilisée.

La profondeur : elle permet d'observer une structure complètement ou partiellement dans le sens de la profondeur.

La focale : elle correspond à la profondeur où le faisceau ultrasonore est d'une épaisseur réduite, permettant ainsi la visualisation des petits détails. La zone focale de la sonde doit être ajustée à la profondeur de l'organe à examiner.

La qualité de l'image obtenue dépend de la sonde sélectionnée, des réglages effectués ainsi que de la préparation du patient. Pour cette dernière, la zone concernée doit être rasée car l'air et les poils interfèrent avec l'émission des ultrasons. Du gel est utilisé afin d'assurer un bon contact entre la sonde et la peau.

2.5 LES ARTEFACTS

Les artéfacts sont l'affichage d'informations qui ne reflètent pas la véritable image de la zone examinée. La structure ainsi engendrée peut-être erronée, inexistante, superflue ou mal localisée. Pour éviter les erreurs d'interprétation des images échographiques, il est donc indispensable de connaître les propriétés physiques des ondes sonores susceptibles de mimer des aspects pathologiques et de se familiariser avec les artéfacts.

Ombre acoustique : lorsque le faisceau d'ultrasons rencontre des structures minéralisées ou contenant du gaz, il se réfléchit totalement sur la sonde et une ombre anéchogène apparaît au-delà de la structure gazeuse ou minéralisée. Ce phénomène peut être exploité pour l'identification des calculs par exemple.

Renforcement postérieur : le faisceau ultrasonore est atténué lorsqu'il traverse les tissus. Quand celui-ci traverse une structure pleine de liquides, l'atténuation est réduite. Une zone brillante ou « renforcée » est donc produite et les tissus situés au-delà de la structure pleine de liquide paraissent plus échogènes. Cet artéfact facilite la différenciation entre les structures pleines de liquides et les structures solides.

Réverbération : Elle se produit lorsqu'un faisceau d'ultrasons pulsés se réfléchit sur la sonde à partir d'une interface tissulaire. Elle peut être associée à un réglage de gain trop élevé et peut être observée quand il y a une forte différence d'impédance acoustique ou de multiples petites surfaces irrégulières réfléchissantes. L'image obtenue est une série de lignes brillantes, régulièrement espacées dont l'intensité décroît avec la profondeur [35].

D'autres artéfacts peuvent être retrouvés à l'échographie comme les artéfacts d'épaisseur de coupe, les artéfacts d'image en miroir, les artéfacts de résonance...

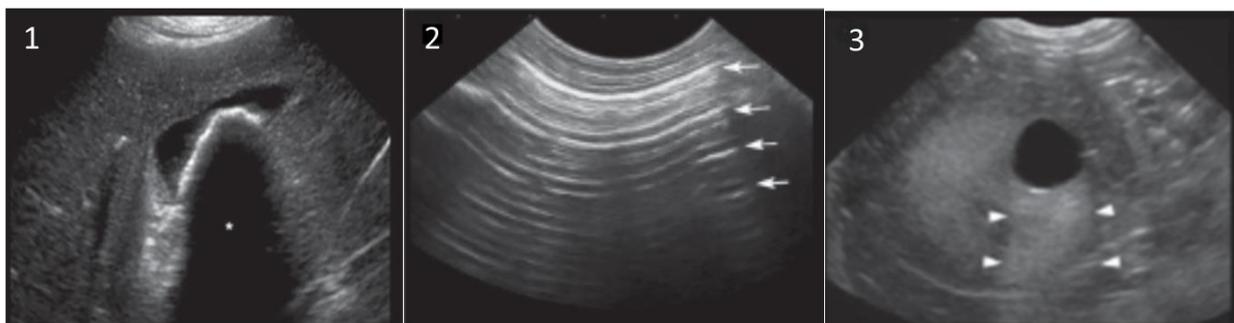


Figure 13: Artéfacts rencontrés à l'échographie [35]. 1-Artéfacte de l'ombre acoustique, le cône d'ombre est le résultat de la présence d'urolithéases dans la vessie ; 2-Artéfacte de réverbération, retrouvé quand le faisceau rencontre une interface très réfléchissante comme du gaz; 3- Artéfact du renforcement postérieur, retrouvé au-delà de la structure liquidienne anéchogène.

2.6 LES PLANS DE COUPE

La structure à étudier nécessite en général au moins deux coupes (ou plans). Le plus souvent, le plan sagittal (longitudinal) et le plan transversal sont utilisés. On peut aussi avoir recours au plan

dorsal. Ce dernier suit le grand axe du corps de l'animal et la sonde est alors placée sur les faces latérales de l'animal. Les plans utilisés chez le chien sont illustrés dans la figure 14.

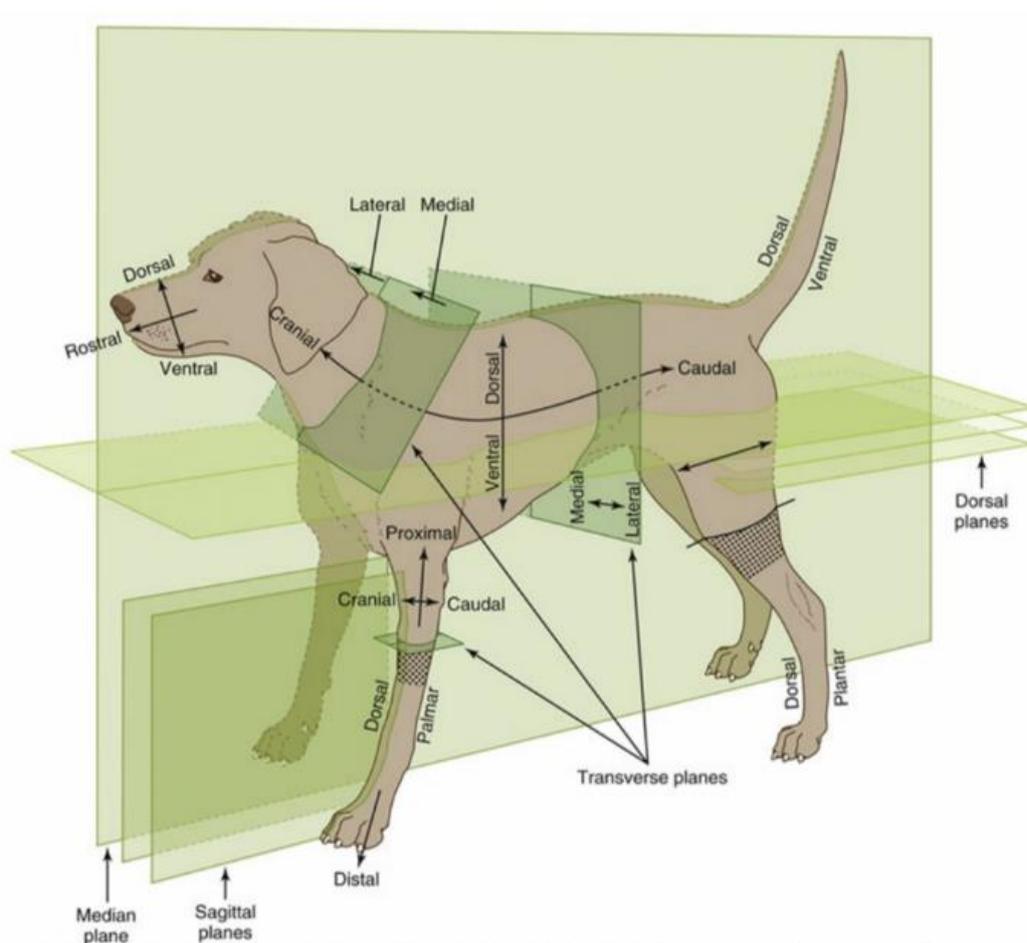


Figure 14: Les plans de coupe utilisés chez le chien [59].

CHAPITRE 3 : APPLICATION DE L'ECHOGRAPHIE DANS L'EXPLORATION DU CERVEAU

L'appréciation de l'anatomie cérébrale à l'échographie prérequiert une connaissance profonde de l'anatomie du système ventriculaire et du parenchyme cérébral qui l'entoure [30]. La réalisation de l'examen à travers les différentes fenêtres acoustiques, l'interprétation des images échographiques, le doppler transcrânien, la biopsie et la chirurgie échoguidées seront abordés dans ce chapitre.

3.1 INDICATIONS ET CONTRE-INDICATIONS

Tableau 1: Indications et contre-indications de l'échographie de l'encéphale chez le chien.

Indications [4,7,31,44,60]	Contre-indications [60]
<p>L'échographie du cerveau est le plus souvent appliquée pour :</p> <ol style="list-style-type: none">1. Le diagnostic de l'hydrocéphalie (surtout chez les petites races de chien présentant une fontanelle).2. L'exploration du cerveau des chiens suspects de néoplasie.3. L'évaluation des traumatismes et lésions cérébrales (hémorragies, maladies congénitales, abcès...).4. Le placement des shunts ventriculaires.5. L'évaluation des lésions provoquées expérimentalement.	<p>❖ En cas d'instabilité atlanto-axiale : une hyperflexion de la tête pour la réalisation de l'examen à travers le foramen magnum pourrait causer de sévères lésions.</p>

3.2 REALISATION PRATIQUE DE L'EXAMEN CHEZ LE CHIEN

L'examen est pratiqué sur un animal debout ou assis avec une sonde linéaire, curviligne ou sectorielle haute fréquence. Généralement, les fréquences entre 7,5 et 10 MHz chez la majorité des chiens donnent une bonne résolution. Parfois, pour les grands chiens ou les chiens ayant un os épais, des fréquences plus basses (3-5 MHz) peuvent être nécessaires.

La sédation n'est généralement pas indispensable et le gel est appliqué. Dans le cas où les poils sont épais, les couper pourrait assurer une meilleure qualité d'images [31,44].

Les fenêtres ultrasonores :

L'imagerie du cerveau à l'aide d'ultrasons demande une fenêtre acoustique à travers le crâne et la qualité des images obtenues varie en fonction de celles-ci [60].

- **Imagerie à travers la fontanelle :**

L'échographie transfontanellaire (ETF) peut être réalisée chez les chiots âgés de moins d'un mois à travers la fontanelle bregmatique. Chez les chiens de petite race cette fontanelle peut persister et ainsi procurer la même fenêtre ultrasonore pour le cerveau à l'âge adulte [31,44] (voir figure 15).

La sonde est placée directement sur la fontanelle après avoir appliqué le gel et plusieurs coupes peuvent être obtenues sur les plans sagittal et transversal [31,44].

Les images obtenues sont facilement interprétables avec peu de distorsions des structures anatomiques et sont comparables aux images ultrasonores des nourrissons réalisées à travers cette même fenêtre. C'est pourquoi il est préférable de l'utiliser si le chien est exploité comme modèle expérimental pour les pathologies humaines [30].

Chez des chiens sans fontanelles, d'autres approches transcrâniennes ont été effectuées avec succès [31].

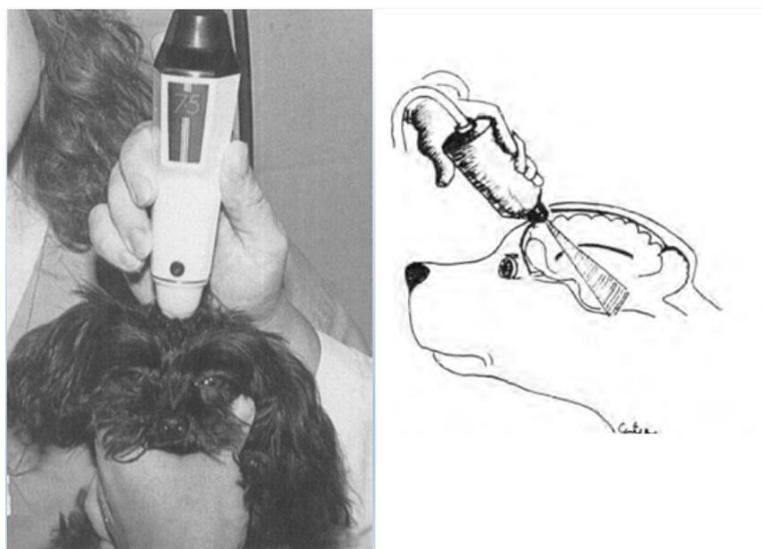


Figure 15: Position de la sonde pour l'échographie transfontanellaire [7,28].

- **Imagerie à travers la fenêtre tempore :**

L'examen échographique peut aussi être accompli par la fenêtre tempore car l'os temporal est compact et mince. Celle-ci est située dorsalement à la jonction de l'arc zygomatique et l'os temporal, dans la région de la jonction des os pariétal et temporal ; cette fenêtre peut être utilisée même chez les adultes sans fontanelles. La localisation exacte de l'os le plus fin pour permettre cette approche transcrânienne varie d'un chien à l'autre [31,39,60] (voir figure 16).

Des coupes transversales et dorsales peuvent être obtenues et l'utilisation d'une sonde à fréquence 5 MHz chez les chiens à travers cette fenêtre a permis de recueillir des images du cerveau mais avec une résolution diminuée. Dans cette fenêtre, l'artéfact de réverbération est le plus rencontré [31,39,60].

Plusieurs structures comme la fissure longitudinale, certains sillons (ou sulcus; pluriel :sulci) et le tentorium cérébelleux peuvent être observés et la visualisation des VL est faisable mais difficile. La résolution des images reste meilleure sans l'interposition des os [39].

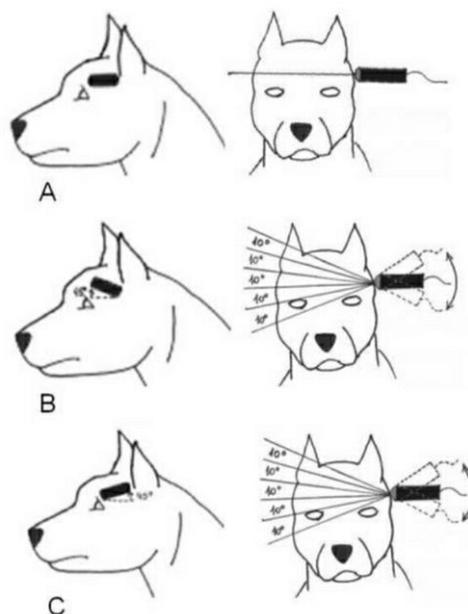


Figure 16: Position de la sonde pour l'échographie transcrânienne à travers la fenêtre tempore [10].

- **Imagerie à travers le foramen magnum :**

Cette fenêtre ultrasonore peut être utilisée en absence de fontanelle (figure 17). Son indication première est la visualisation de la partie caudale du tronc cérébral et l'évaluation du flux sanguin de l'artère basilaire à l'aide du Doppler. Cependant, elle procure moins de détails, ne permet pas d'imager le cerveau rostralement jusqu'à l'adhésion interthalamique et seul le plan sagittal est utilisé [50,60].

La sédation est recommandée dans ce cas pour assurer une flexion suffisante de l'espace atlanto-axial afin de permettre aux ultrasons d'accéder au foramen Magnum [50,60].

Chez les animaux âgés, le tentorium cérébelleux est ossifié contrairement aux nouveaux nés ce qui rend difficile la visualisation du cervelet chez ces premiers, mais l'imagerie à travers le foramen magnum offre une fenêtre ultrasonore pour visualiser cette structure [31].

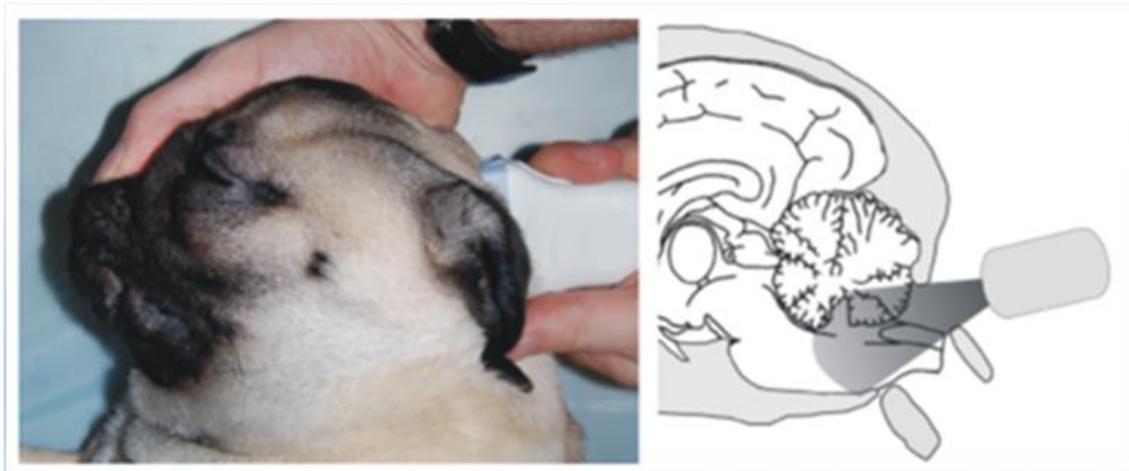


Figure 17: Position de la sonde pour l'échographie à travers le foramen magnum [52].

- **Autres :**

Certains animaux sans fontanelle bregmatique peuvent présenter des sutures ouvertes ou des anomalies crâniennes créées durant des chirurgies précédentes ou résultant d'une anomalie congénitale, d'un traumatisme ou d'une maladie. Ces ouvertures peuvent aussi être utilisées pour imager le cerveau à l'aide d'ultrasons bien que les structures anatomiques soient plus difficiles à reconnaître à travers ces fenêtres [12,30,31,44].

Une autre technique invasive et nécessitant une anesthésie contrairement aux précédentes consiste à exciser chirurgicalement une portion du crâne afin de mimer une fontanelle. Bien que la procédure ait été jugée sans danger, fiable et utile dans les études de Hudson et *al.*, 1989 [30], dans certains cas il serait préférable d'envisager d'autres techniques comme la TDM ou l'IRM qui seraient moins invasives et procureraient une évaluation plus complète du cerveau [60].

3.3 INTERPRETATION DES IMAGES ECHOGRAPHIQUES

3.3.1 ASPECT NORMAL DU CERVEAU CANIN

Le tissu cérébral normal est relativement hypoéchogène [18,44,60]. La topographie et l'échogénicité des structures les plus importantes sont décrites dans plusieurs ouvrages chez les nouveaux nés et les chiens plus âgés, dans les plans transverse et sagittal à travers la fontanelle bregmatique.

- **Dans le plan transverse** [7,18,30,31,33,39,44,60] (figures 18,19)

La cavité crânienne est délimitée par un contour échogène bien défini. Sur ce plan, les coupes ont pour repère une structure hyperéchogène de la forme d'un parapluie et formée de la fissure longitudinale et de plusieurs sulci (ou sillons) : les sulci splénial sus-jacent le gyrus cingulaire et calleux sus-jacent le corps calleux (le gyrus cingulaire et le corps calleux sont tous deux hypoéchogènes). Le haut du parapluie est représenté par les sulci splénial ; la tige du parapluie est composée des vaisseaux et méninges dans la fissure longitudinale et la poignée du parapluie est formée d'échos créés par des structures dans le sulcus calleux. La connaissance de ce repère localisant la ligne médiane peut être très utile lorsque la fenêtre utilisée est asymétrique.

Rostralement, la portion dorsale du noyau caudé est observée comme une structure paire, symétrique, hyperéchogène, au profond du corps calleux. Son aspect de chaque côté est courbé avec la partie convexe située médialement. Médialement au noyau caudé, les ventricules latéraux en forme d'aile de mouette sont anéchogènes car ils contiennent du LCS. Cependant, ils ne sont discernables que lorsque ce dernier est présent en quantité suffisante. Parfois, seul les plexus choroïdes sont visibles (figure 18a).

Plus caudalement au niveau du fornix rostral (figure 18b), les plexus choroïdes se trouvant dans le plancher de la portion centrale et le toit de la corne temporale sont hyperéchogènes. Fréquemment, la distinction entre le noyau caudé et les plexus choroïdes est difficile et ceux-ci apparaissent comme une seule structure hyperéchogène de chaque côté de la ligne médiane. L'alternance des lignes hyperéchogènes et hypoéchogènes observées représentent le sulcus calleux, le corps calleux et le fornix. Le corps calleux est une structure hypoéchogène délimitée par deux lignes hyperéchogènes représentant l'interface avec les VL ainsi que le sulcus calleux dorsalement. Le fornix et les plexus choroïdes dans le toit du troisième ventricule sont

hyperéchogènes et leurs échos sont confondus. Parfois, une zone anéchogène peut être observée au centre de ces plexus choroïdes (figure 18b,c).

Ventralement, les lobes piriformes au plancher du crâne apparaissent hypoéchogènes. Dorsalement à chaque lobe, une ligne droite les séparant du diencéphale apparaît hyperéchogène due aux méninges dans l'espace sous-arachnoïdien (figure 18b,c).

Caudalement à l'adhésion interthalamique, près de la ligne médiane et de part et d'autre de celle-ci, la portion dorsale de chaque hippocampe apparaît hypoéchogène. Ventralement à cette portion, une structure médiane hyperéchogène est observée. En fonction de la coupe échographique, cette structure correspond dans les images rostrales aux plexus choroïdes du troisième ventricule et plus caudalement à l'espace sous arachnoïdien. Dorso-latéralement à chacun des hippocampes se trouve une autre structure hyperéchogène représentant cette fois-ci les plexus choroïdes dans chaque VL (figure 18c).

Au niveau du mésencéphale, celui-ci apparaît comme une structure médiane hypoéchogène de la forme d'un dôme délimité par un contour hyperéchogène constitué des vaisseaux et trabécules dans l'espace sous arachnoïdien (figure 19d).

Plus caudalement, le tentorium cérébelleux est observé comme une structure hyperéchogène en forme de « V » inversé. Ventralement au tentorium cérébelleux, la possibilité de visualiser le cervelet dépendra de l'âge de l'animal ; le vermis apparaît comme une série de lignes médianes, horizontales et hyperéchogènes et latéralement à cette structure se trouvent les lobes du cervelet. Ventralement au pont, la moelle allongée est hypoéchogène (figure 19 e).

Dans ce plan, des pulsations peuvent être notées dans les sulci du corps calleux et le troisième ventricule. Leur visualisation peut aider à reconnaître certaines structures.

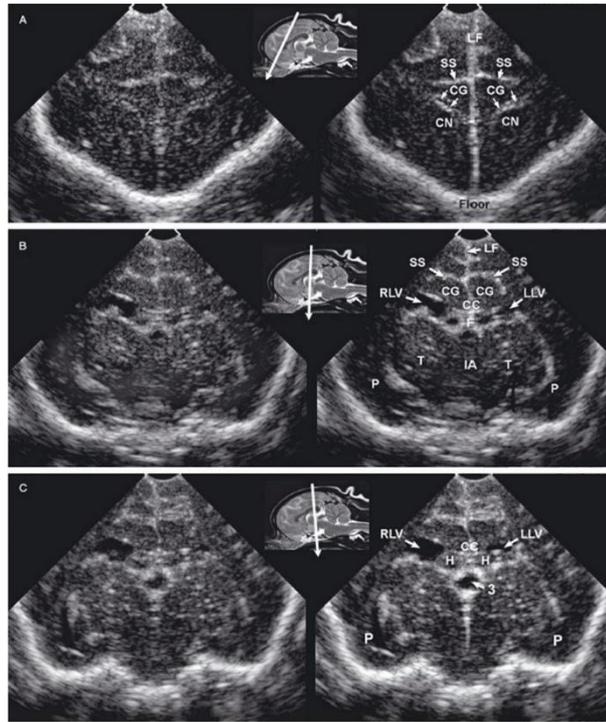


Figure 18: Coupes transverse du cerveau d'un yorkshire terrier âgé d'un mois à travers la fontanelle bregmatique [44]. Noter l'asymétrie des ventricules latéraux dans la limite de la normale. **A**: coupe rostrale ; **B** :coupe au niveau de l'adhésion interthalamique ; **C** :coupe au niveau du 3^{ème} ventricule. 3-3^{ème} ventricule; CC-corps calleux; CG-Gyrus cingulaire; CN-noyau caudé; F-fornix; H-hippocampe; IA-adhésion interthalamique; LF-fissure longitudinale; LLV-Ventricule latéral gauche; M-mésencéphale; P-lobe piriforme; Po-pont; RLV-ventricule latéral droit; SS-sulcus splénial; Su-espace sous arachnoïdien;T-thalamus; v-vermis.

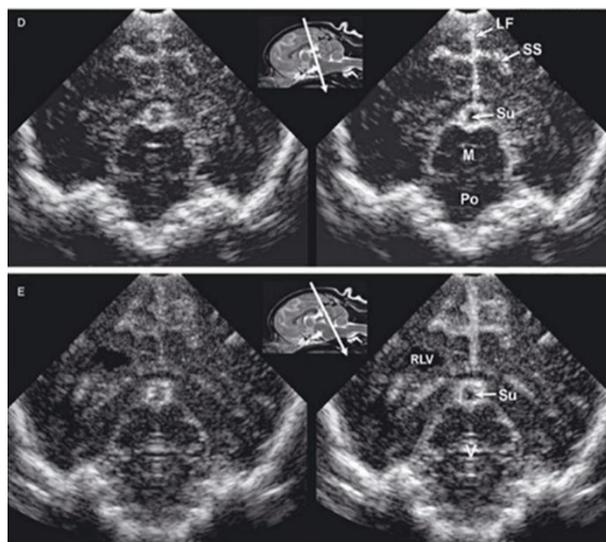


Figure 19: Coupes transverse du cerveau d'un yorkshire terrier âgé d'un mois à travers la fontanelle bregmatique (suite) [44]. **D** :coupe au niveau du mésencéphale ; **E** : coupe au niveau du cervelet. 3-3^{ème} ventricule; CC-corps calleux; CG-Gyrus cingulaire; CN-noyau caudé; F-fornix; H-hippocampe; IA-adhésion interthalamique; LF-fissure longitudinale; LLV-Ventricule latéral gauche; M-mésencéphale; P-lobe piriforme; Po-pont; RLV-ventricule latéral droit; SS-sulcus splénial; Su-espace sous arachnoïdien;T-thalamus; v-vermis.

- **Dans le plan sagittal** [7,30,31,33,44] (figure 20)

Le plan sagittal médian divise la tête en deux parties égales droite et gauche. L'inclinaison de la sonde latéralement permet l'obtention des coupes para-sagittales.

Le praticien peut s'orienter sur ce plan à l'aide des sulci splénial et calleux grâce aux interfaces créées par la pie mère et les vaisseaux sanguins. Le sulcus splénial est représenté par une ligne hyperéchogène courbée rostralement et superficielle à une autre ligne hyperéchogène plus rectiligne représentée par la pie mère dans le sulcus calleux. Le gyrus cingulaire apparaît comme une région hypoéchogène entre ces deux lignes (ou sulci) hyperéchogènes.

Le corps calleux hypoéchogène est retrouvé lui aussi entre deux lignes hyperéchogènes. La plus superficielle d'entre elles est le sulcus calleux et la plus profonde est représentée par l'interface entre le corps calleux et le LCS des ventricules latéraux.

Le thalamus, structure centrale hypoéchogène, est délimité par les plexus choroïdes hyperéchogènes dans le plancher des VL. Ces derniers peuvent apparaître anéchogènes si le LCS est en quantité suffisante. Le noyau caudé retrouvé rostralement au thalamus est courbé et hypoéchogène. Les bords entre le thalamus et le noyau caudé ne sont pas bien définis.

L'adhésion interthalamique apparaît comme une structure centrale hypoéchogène délimitée par des structures hyperéchogènes dans le troisième ventricule ainsi que l'espace sous-arachnoïdien. Le troisième ventricule peut apparaître hyperéchogène ou hypoéchogène encerclant l'adhésion inter thalamique. En effet, les plexus choroïdes présents dans le toit du troisième ventricule seront visualisés comme une région hyperéchogène à l'échographie alors que les autres régions paraîtront hypoéchogènes du fait de la présence du LCS.

Avant que le tentorium cérébelleux ne soit ossifié, le vermis peut être observé comme une structure ventrale hyperéchogène.

Dans le plan sagittal près de la ligne médiane, le plancher de la voute crânienne apparaît irrégulier alors que dans le plan para-sagittal il apparaît régulier et courbé.

Sur ce plan, de fortes pulsations peuvent être retrouvées rostralement et caudalement à la fosse pituitaire et dans les deux plans transverse et sagittal, le long du plancher de la voute crânienne au niveau du cercle artériel, des pulsations peuvent aussi être visualisées.

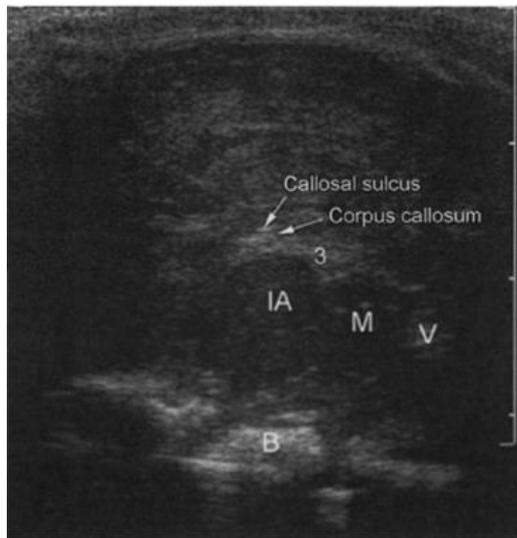


Figure 20 : Coupe sagittale transverse du cerveau d'un rottweiler croisé âgé de 2semaines [31]. 3-plexus choroïdes du 3^{ème} ventricule; IA-Adhésion interthalamique; M-mésencéphale ; V-vermis du cervelet ; B-plancher de la voûte crânienne (os).

- **Différences du cerveau canin à différents âges** [7,30,31,33,44 ,51]

Certaines différences entre le cerveau canin des nouveaux nés et celui des adultes peuvent être notées. En effet, le cerveau néonatal est plus accessible grâce à la fontanelle. Cependant, même avec une sonde haute fréquence, sa petite taille interfère avec la résolution de certaines structures.

Les sulci et gyrus chez les nouveaux-nés sont moins visibles que chez les sujets plus âgés car ils sont moins développés et le cerveau est relativement plus lisse. Chez les chiens et chats, la gyration est complète après 2 semaines post partum.

Chez les jeunes de moins d'une semaine, les structures formant le repère en forme de parapluie constitué des sulci splénial et calleux en plus de la fissure longitudinale sur le plan transverse sont moins distincts que chez les adultes. Par ailleurs à cet âge, la portion ventrale de la fissure longitudinale, le corps calleux et l'arc du fornix peuvent paraître comme une structure médiane unique hyperéchogène.

L'hippocampe est une structure qui est moins développée et donc moins visible alors qu'il devient plus remarquable avec le temps. Parfois, les VL ne sont pas discernables et seul les plexus choroïdes peuvent être reconnus. Le sillon thalamo-caudé retrouvé entre le thalamus et le noyau caudé est plus apparent chez les chiens plus âgés. A ce niveau, chez les nouveaux nés, peuvent se trouver les plexus choroïdes du VL à ne pas confondre avec une hémorragie intraventriculaire qui serait hyperéchogène également.

Comme souligné précédemment, le cervelet peut être observé chez les plus jeunes car le tentorium cérébelleux est cartilagineux et n'est pas encore ossifié. Ce n'est pas le cas chez les adultes, ce qui le rend donc difficile à visualiser chez ces derniers ; cependant, en général, les images obtenues chez les chiots sont similaires à celles des sujets plus âgés.

3.3.2 ASPECT ANORMAL DU CERVEAU CANIN

L'application clinique et expérimentale de l'échographie du cerveau dans l'évaluation des lésions produites artificiellement et le diagnostic de certaines pathologies qui altèrent l'échogénicité du tissu cérébral comme l'hydrocéphalie, les néoplasies, les infections, les anomalies congénitales, les lésions inflammatoires et vasculaires (hémorragies, ischémie) en fonction de leur localisation ainsi que les biopsies et les chirurgies cérébrales échoguidées ont été abondamment discutées. Cette partie va traiter l'aspect pathologique du cerveau à l'échographie ainsi que les mesures des ventricules cérébraux.

3.3.2.1 HYDROCEPHALIE [4,6,7,9,12,31,32,33,44,57]

L'hydrocéphalie est définie comme une accumulation excessive du LCS dans les ventricules cérébraux et/ou dans l'espace sous arachnoïdien, avec ou sans signes cliniques, d'origine congénitale ou acquise.

L'utilité de l'échographie pour le diagnostic de l'hydrocéphalie ou la ventriculomégalie chez le chien a été démontrée dans de nombreuses études à travers une fontanelle persistante, un os temporal suffisamment fin ou une fenêtre acoustique chirurgicalement créée (figure 21).

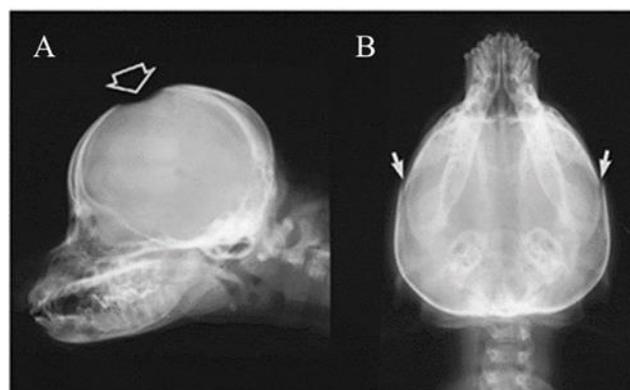


Figure 21: Radiographie d'un caniche femelle âgée de 3 mois avec un historique de dépression, un strabisme et des crises convulsives occasionnels [5]. **A** : radiographie de profil révélant une large fontanelle (flèche), un crâne en forme de dôme. **B** : Vue ventro-dorsale révélant des sutures crâniennes ouvertes (flèches) et un amincissement du crâne. Diagnostic : Hydrocéphalie sévère.

La ventriculomégalie peut être observée chez de nombreux chiens avec des fontanelles fermées. La présence d'une fontanelle n'indique pas forcément une hydrocéphalie, mais une relation

significative entre sa présence et la ventriculomégalie a été rapportée dans la littérature et aucune relation entre la taille des fontanelles et la taille des ventricules n'a été retrouvée.

L'incidence de cette pathologie paraît élevée chez les races de chiens Toy et quatorze races ayant un grand risque de la développer ont été identifiées : Chihuahua (figure 22), Yorkshire Terrier, Bichon Maltais, Boston terrier, Cairn terrier, Manchester terrier, Bulldog Anglais, Caniche Toy/Miniature, Lhasa Apso, Spitz nain, Pékinois, Beagle, Shih Tzu, Teckel [12,28,32].

C'est pourquoi le modèle canin est très souvent utilisé dans les études d'hydrocéphalie expérimentale où il est important de détecter et évaluer la ventriculomégalie lors de son induction [4].

De plus, cette pathologie est plus commune chez les chiots que chez les chats [28]. Chez ces derniers, les siamois semblent posséder un gène autosomal récessif pour l'hydrocéphalie congénitale [12].

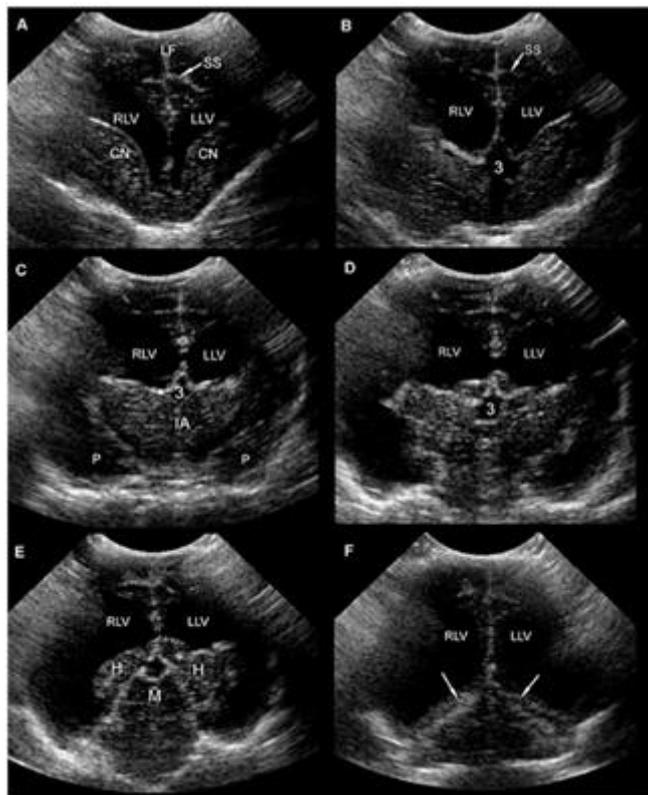


Figure 22: Images échographiques d'un chihuahua âgé d'un an avec une ventriculomégalie sévère [44]. **A :** Coupe rostrale montrant les ventricules latéraux et le noyau caudé; **B :** coupe au niveau de la portion rostrale du 3^{ème} ventricule; **C :** Coupe au niveau du thalamus; **D :** coupe au niveau de la glande pituitaire; **E :** coupe caudale au niveau du mésencéphale; **F :** coupe montrant le tentorium cérébelleux (flèches). 3-3^{ème} ventricule; CN-noyau caudé; H-hippocampe; IA-adhésion interthalamique; LF-fissure longitudinale; LLV-ventricule latéral gauche; M-mésencéphale; P-lobe piriforme; RLV-ventricule latéral droit; SS-sulcus splénial.

- **Mesures des ventricules latéraux :**

L'ETF est bénéfique dans la détermination du degré de la ventriculomégalie. Cette information peut être utile dans la recherche de la physiopathologie de l'hydrocéphalie et d'une réponse à un traitement.

Le système ventriculaire est aisément identifié et la taille des VL peut facilement être mesurée durant l'échographie puis comparée aux valeurs retrouvées dans la littérature vétérinaire bien que les mesures normales des VL spécifiques à chaque race ne soient pas disponibles.

a. Dans le plan transverse :

Les tableaux ci-dessous résument le point des mesures des VL, les valeurs normales et anormales mentionnées dans la littérature ainsi que le degré de la ventriculomégalie [4,7,31,32,57,60] (tableau 2).

Tableau 2 : Mesures des ventricules latéraux sur le plan transverse [7,31].

Mesures au niveau	Valeurs normales	Valeurs anormales (vetriculomégalie)
Hauteur du VL*	0.04-0.35 cm (en moyenne 0.15 cm)	> 0.35 cm
Ratio ventricule/manteau	0.05-0.18 (en moyenne 0.08)	> 0.25
Ratio ventricule/hémisphère	0.04-0.17 (en moyenne 0.07)	>0.19
Pourcentage du cerveau occupé par la dimension dorsoventrale du VL α	0-14%	Modérée 15-25% Sévère >25%
* mesurés au niveau même ou immédiatement caudal à l'adhésion interthalamique. α mesuré au niveau de la fosse pituitaire.		

-La condition d'hydrocéphalie est présente lorsque la hauteur des VL est supérieure à 0,35cm au niveau même ou immédiatement caudal à l'adhésion inter-thalamique.

-Un ratio ventricule/manteau supérieur à 0,25 indique une hydrocéphalie (la hauteur de chaque ventricule mesuré au niveau même ou immédiatement caudal à l'adhésion inter thalamique est divisée par l'épaisseur du manteau cérébral au même niveau, l'épaisseur du manteau cérébral étant mesurée du toit du VL à la surface dorsale du cerveau).

-Un ratio ventricule/hémisphère supérieur à 0,19 indique une hydrocéphalie. Les mesures sont faites uniquement sur ce plan. La hauteur de chaque ventricule latéral est divisée par la largeur de l'hémisphère respectif. La largeur des hémisphères est mesurée avec la sonde orientée latéralement du centre du 3^{ème} ventricule à la face interne du crâne.

-Une autre mesure dorso-ventrale des VL et du cerveau sur ce plan peut être pratiquée au niveau de la fosse pituitaire en utilisant pour repère l'aspect caractéristique du contour courbé du bord ventral du crâne et l'apparence des VL qui sont anéchogènes dans la région centrale du cerveau et situés de part et d'autre du plan médian. Les mesures dorso-ventrales des VL et du cerveau ont été calculés en millimètre puis le pourcentage Ventricule/Cerveau a été obtenu : un pourcentage de 0-14% (mesure dorso-ventral du VL = 1-4mm) est considéré normal; des valeurs plus élevées 15-25% (mesure dorso-ventral du VL = 5-9mm) ou qui dépassent le seuil de 25% (mesure dorso-ventral du VL >10mm) indiquent une hydrocéphalie modérée (figure 23a) ou sévère (figure 23b) respectivement [4,7,31,57].

-Une autre mesure utilisée par Brown, 1984 [4] est la largeur biventriculaire sur des coupes transversales contenant les VL et la section comprenant la majeure partie du troisième ventricule. Dans cette étude, il a été conclu que cette mesure n'est pas fiable.

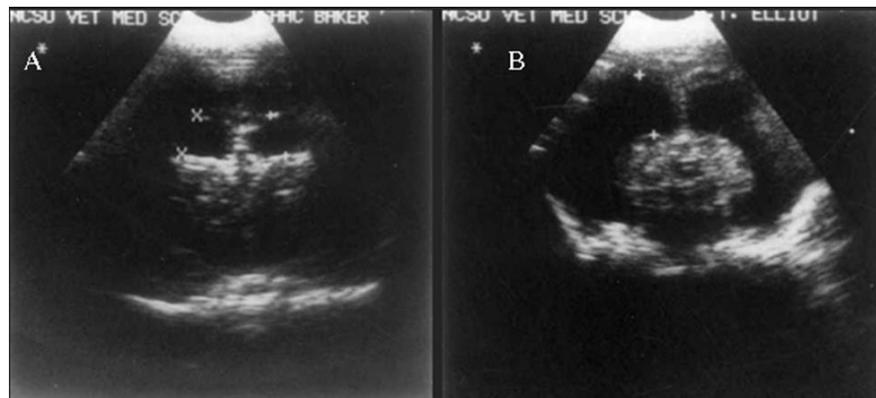


Figure 23: Coupes échographiques sur le plan transverse mettant en évidence une hydrocéphalie modérée (A) et sévère (B) chez des chiens [57]. **A :** hydrocéphalie bilatérale modérée (15-25%) ; **B :** Hydrocéphalie sévère (>25%).

b. Dans le plan sagittal :

Le plan sagittal permet à l'examineur d'avoir une image mentale tri-dimensionnelle des ventricules. Le sillon thalamocaudé est utilisé comme point de repère pour les mesures de la hauteur des ventricules latéraux. La hauteur des VL ainsi que le ratio ventricule-manteau sont mesurés sur ce plan.

Chez les chiens normaux la hauteur des VL est en moyenne 1.4mm.

Chez les chiens anormaux la hauteur des VL est supérieure à 3.5mm et le ratio ventricule/manteau est supérieur à 0.25.

La hauteur des VL sur ce plan au niveau du sillon thalamo-caudé ainsi que le ratio sagittal ventricule /manteau ont conduit à une évaluation moins précise de la taille des ventricules dans l'étude de Hudson *et al*, 1990 [32] du fait de l'élargissement des ventricules généralement plus marqué caudalement et dans les cornes temporales [31,32].

c. Remarques :

Très souvent chez les races de chiens prédisposées à cette pathologie, la présence de ventriculomégalie n'est pas accompagnée de signes cliniques, ce qui fait que le diagnostic de l'hydrocéphalie doit se baser sur les images associées aux signes cliniques anormaux.

Il est important de noter que le troisième et/ou le quatrième ventricules peuvent aussi être élargis (figure 24).

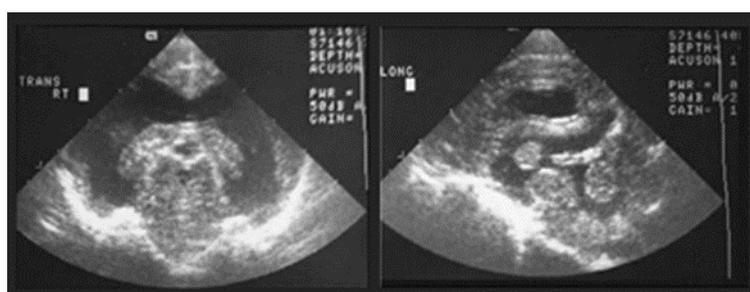


Figure 24: coupes échographiques transverse (à gauche) et sagittale (à droite) d'un chihuahua âgé d'un an avec antécédent de quadriparésie aiguë [5]. Les ventricules latéraux, le 3^{ème} ventricule et le 4^{ème} ventricule sont modérément dilatés. Diagnostic: hydrocéphalie.

La race ainsi que l'âge et le poids semblent influencer sur la taille des ventricules latéraux. En effet, les études de Schroeder *et al*. [55] ont rapporté que les chiens brachycéphales présentaient des VL plus larges que les chiens dolichocéphales et mésocéphales.

Carriera [6], Sue et *al.*[58], Gonzalez-Soriano et *al.* [25] ont trouvé dans leurs études que l'âge semble influencer sur la taille : le volume des VL augmente graduellement jusqu'à l'âge de 10 ans, après quoi l'augmentation est plus prononcée. Ceci est expliqué par l'atrophie du cerveau liée à l'âge, ce qui induit l'élargissement du système ventriculaire. Cependant, une exception a été notée : la largeur du 4^{ème} ventricule reste inchangée. Ceci est probablement lié au drainage du LCS qui se fait à ce niveau et qui doit demeurer stable ; un changement au niveau des Foramens de Luschka provoquerait probablement une syringomyélie ou d'autres pathologies similaires. Au vu de ces résultats, il semblerait que des changements similaires s'opèrent chez l'humain, ce qui peut suggérer d'utiliser le chien comme modèle pour les études du vieillissement normal et des maladies neurodégénératives.

Occasionnellement, chez le chiot légèrement prématuré, les VL peuvent paraître un peu élargis durant les 3 premiers jours de vie. Cependant, la ventriculomégalie ou l'hydrocéphalie sont diagnostiquées seulement si l'élargissement persiste ou est progressif [7].

Carriera [9], vite et *al.* [61], ont mentionné des différences significatives entre le poids et le volume des VL : les poids corporels les plus bas étaient associés à un volume des VL plus élevé.

Une asymétrie entre les ventricules latéraux peut être retrouvée tout comme chez les humains. Elle est considérée comme une variante de la normale chez les chiens en bonne santé jusqu'à un certain degré ; dans les études de Carriera [6], le ventricule latéral gauche était toujours plus large que le ventricule latéral droit et les études de Haan et *al.* [15] ont estimé une asymétrie de 31% chez les Labrador Retrievers. La confirmation de l'asymétrie des VL retrouvée sur le plan transverse est obtenue en examinant la symétrie des lobes piriformes ainsi qu'en comparant la taille des VL dans une vue sagittale [33].

Par contre, selon l'étude de Gonzalez-Soriano et *al.* [25], il n'y a pas de différences significatives dans la taille et la morphologie du système ventriculaire chez les mâles et chez les femelles.

3.3.2.2 Kystes intra-arachnoïdiens [12,40,50]

Les kystes intra arachnoïdiens sont une accumulation du liquide cérébrospinal (LCS) dans la membrane arachnoïdienne. Leur étiologie reste imprécise mais une origine congénitale est acceptée.

Les kystes arachnoïdiens sont souvent localisés à proximité d'une citerne arachnoïdienne intracrânienne (85% dans la région quadrigéminal -un seul cas fut rapporté en position pontocérébelleuse-) avec une incidence élevée chez les petites races et une prédominance des chiens

brachycéphales. Les races rapportées dans la littérature sont : Shih Tsu, Bichon Maltais, Pugs, Cavalier King Charles, Yorkshire Terrier, Lhasa Apso, Chihuahua, Staffordshire, Bull Terrier, Bulldog, Pékinois, West Highland White Terrier ainsi qu'un seul cas rapporté pour les races Bichon Frisé, Spitz nain, Cairn Terrier, Jack Russel Terrier, Beagle, Schnauzer Miniature et Braque Allemand à poils courts.

La dilatation des ventricules latéraux survient fréquemment lors de la présence des kystes qui peuvent parfois être associés à une anomalie du corps calleux. Une hernie du cervelet peut se produire lorsque le kyste est en position supra-cérébelleuse.

En médecine vétérinaire, peu de cas sont rapportés et dans l'étude de Louvet, Lazard et Denis, 2001, un diagnostic ultrasonore d'un kyste intra arachnoïdien chez un chihuahua a été effectué et les images obtenues à travers la fontanelle sont décrites et comparées aux images obtenues par L'IRM et la TDM. A l'ETF, une structure iso échogène au LCS de grande taille était bien visible dans la citerne quadrigéminale exerçant un effet de masse sur le cerveau dans le plan sagittal (voir figure 25b). Dans l'image transverse, cette même structure anéchogène en position quadrigéminale apparaît sous une forme triangulaire médiane localisée entre les ventricules latéraux dilatés, avec sa base située au dessus du tronc cérébral (voir figure 25a).

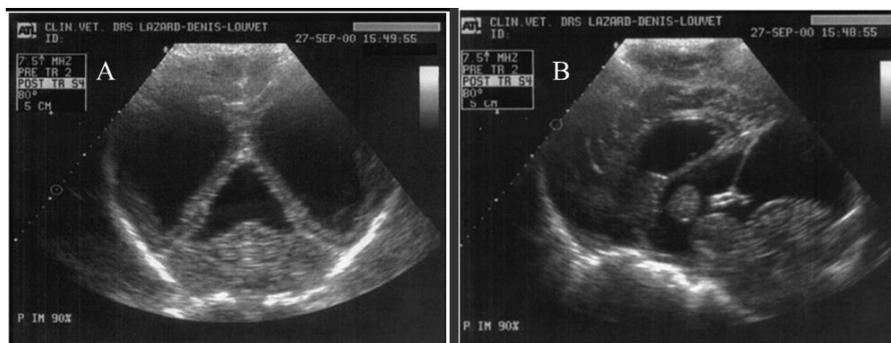


Figure 25 : Echographie transfontanelle d'un chihuahua mâle de 5mois [40]. **A** : coupe transverse orientée caudo-ventralement. Noter la présence d'une ventriculomégalie bilatérale et une structure anéchogène triangulaire au niveau de la citerne quadrigéminale. **B** : coupe sagittale. Noter la présence d'une ventriculomégalie latérale et une structure anéchogène dans la région de la citerne quadrigéminale comprimant ventralement et caudalement le cervelet.

Dans l'étude de Saito et *al.*, 2001, relative à l'identification des kystes chez les chiens à l'aide d'ultrasons, des images similaires ont été observées sur ces deux plans. La fenêtre temporelle fut aussi utilisée et le kyste arachnoïdien était clairement visible comme une structure anéchogène bien définie entre les ventricules latéraux dilatés (figure 26a).

Le diagnostic de cette pathologie peut aussi être effectué via le foramen Magnum en plus de la fenêtre qu'offre la fontanelle et la fenêtre temporale (voir figure 26b).

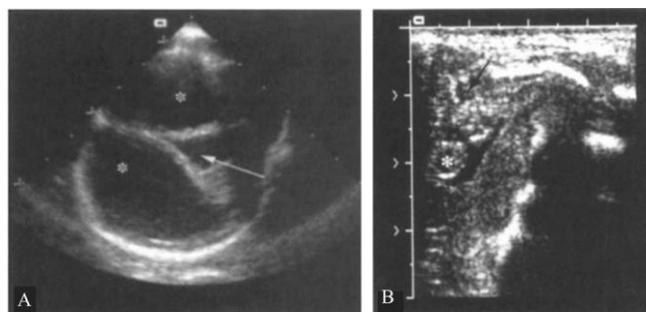


Figure 26: Echographie du cerveau réalisée via la fenêtre temporale (A) et à travers le foramen magnum (B) chez deux chiens différents [50]. **A:** Coupe dorsale mettant en évidence une dilatation des ventricules latéraux (*) et la présence d'une structure triangulaire anéchogène entre eux (flèche). **B :** Coupe sagittale médiane. La dilatation kystique de la citerne quadrigéminale peut être observée (flèche noire), l'adhésion interthalamique est représentée par un (*). Sur cette coupe, les structures rostrales à l'adhésion interthalamique ne peuvent être visualisées.

La qualité des images obtenues varie d'une fenêtre à l'autre, l'échographie à travers les fontanelles procurant les meilleures images. A travers la fenêtre temporale, la qualité dépend de l'épaisseur de l'os, ce dernier pouvant varier en fonction de l'âge et d'une race à l'autre. A travers le foramen Magnum, de bonnes images peuvent être obtenues sur le plan sagittal, mais la visibilité des structures rostrales à l'adhésion interthalamique est limitée alors que la fenêtre précédente permet de visualiser tout le cerveau.

Au vu de la qualité satisfaisante des images obtenues à travers la fontanelle, l'ETF peut être réalisée en première intention pour identifier les lésions kystiques. Cependant le bilan lésionnel nécessite la TDM ou l'IRM.

3.3.2.3 Autres anomalies congénitales

L'hydrocéphalie peut être liée à d'autres pathologies touchant les voies de passage du LCS comme le Syndrome de Dandy-Walker, le Syndrome de Type Chiari, la syringomyélie (souvent associée au syndrome de type Chiari) ou les kystes intra-arachnoïdiens vus précédemment [12,51].

L'échographie a été utilisée pour le diagnostic de certaines de ces pathologies comme dans l'étude de Nouredine et *al.*, 2003 [43], où le Syndrome de Dandy-Walker est décrit chez un Boston Terrier à travers la fontanelle, la fenêtre temporale et le foramen Magnum (figure 27) Des images kystiques similaires à celles présentées dans la figure 24 peuvent être retrouvées

mais c'est un syndrome toujours associé à une malformation cérébelleuse et des signes cliniques prononcés [40]. Ce syndrome retrouvé aussi chez les humains est caractérisé par une agénésie complète ou partielle du vermis cérébelleux, une dilatation kystique du quatrième ventricule et un élargissement de la fosse postérieure [51]. Son étiologie chez les chiens reste inconnue et il a été retrouvé chez plusieurs races comme les Beagle, Bull Terrier, Labrador retriever, Teckel,... Cependant, une transmission autosomale récessive est fortement incriminée chez les Boston Terriers, les Chow-Chows et les Eurasiers [43,51].

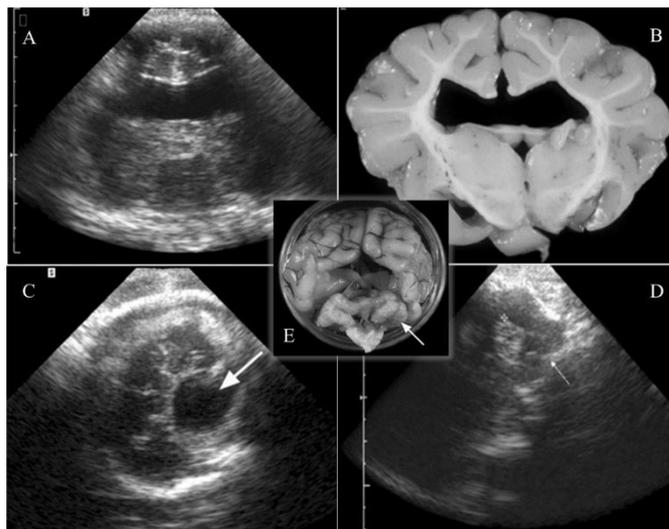


Figure 27: Images échographiques d'un boston terrier âgé de 5 semaines avec un historique d'ataxie non progressive et tremblements intentionnels [43]. **A** coupe transverse au niveau de l'adhésion interthalamique. Noter la communication ventriculaire. **B** : Coupe transverse du cerveau confirmant l'absence de séparation. **C** : coupe oblique dorsale obtenue par la fenêtre temporale. Une lésion kystique est retrouvée crânialement au cervelet (flèche). La structure hyperéchogène représente l'os. **D**- Coupe sagittale de la fosse caudale obtenue à travers le foramen magnum. Noter l'hypoplasie du cervelet qui est entouré crânialement, dorsalement et caudalement de liquide. Le (+) représente la taille de l'espace entourant le cervelet. **E** :Image du cerveau mettant en évidence l'hypoplasie cérébelleuse (flèche).

Une autre malformation peut être associée au Syndrome de Dandy-Walker: c'est l'agénésie du corps calleux (figure 27a,b). Cette malformation a été observée chez l'humain et rapportée aussi chez le chien. L'absence du corps calleux peut être diagnostiquée sur le plan sagittal [7,31,50,51].

La malformation de Type Chiari a été décrite chez les chiens dans de nombreuses études [11,44,51,52] avec une incidence élevée chez le Cavalier King Charles. Cette malformation congénitale assez similaire à celle retrouvée chez les humains, implique une hernie du cervelet à travers le foramen Magnum avec une syringomyélie consécutive. La sonde placée au niveau du foramen Magnum permet la visualisation de certaines structures importantes comme le cervelet et le quatrième ventricule (figure 28).

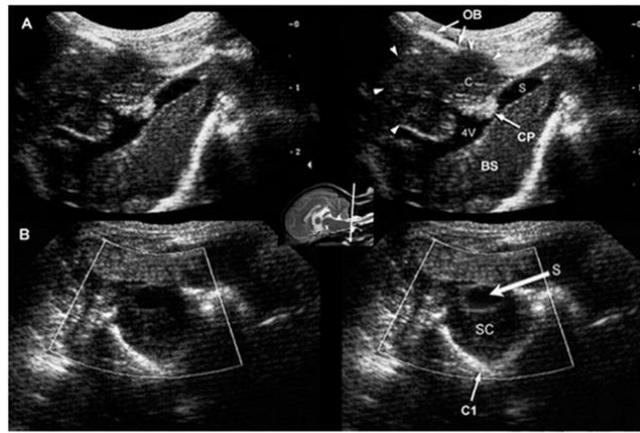


Figure 28: Image échographique à travers le foramen magnum de la malformation de type Chiari chez un chien avec une dysplasie occipitale [44]. A : Coupe sagittale; B :coupe transverse. LA malformation du crâne et le large foramen magnum ont permis une visualisation des structures meilleure qu'en temps normal. Le cervelet (C, têtes de flèches) est engagé dans le foramen magnum, en dessous de l'os occipital (OB) ;Une collection tubulaire de fluide est observée le long de la portion dorsale médiane de la moelle épinière cervicale crânienne (SC) représentant une syringomyélie (S). Le 4^{ème} ventricule est dilaté. BS-tronc cérébral. CP-plexus choroïdes du 4^{ème} ventricule.

Enfin, une hydrocéphalie sévère (figure 29) peut être confondue avec une hydrancéphalie (figure 30) lors d'un diagnostic à l'échographie. Dans cette dernière, l'augmentation du LCS et du système ventriculaire est liée à une absence de parenchyme cérébral [16,31,51].

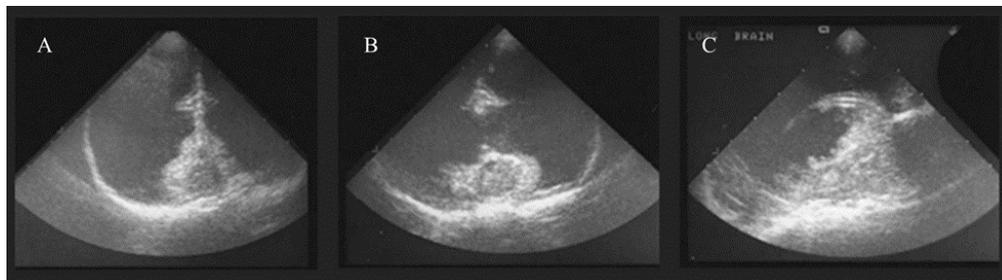


Figure 29: Echographie cérébrale d'un teckel mâle de 6mois avec un historique de crises convulsives durant les 2derniers jours. A et B : coupes transverses ; C : coupe sagittale Noter la dilatation très marquée des ventricules cérébraux et le peu de tissu cérébral résiduel retrouvé ventralement. Diagnostic : hydrocéphalie sévère [5].

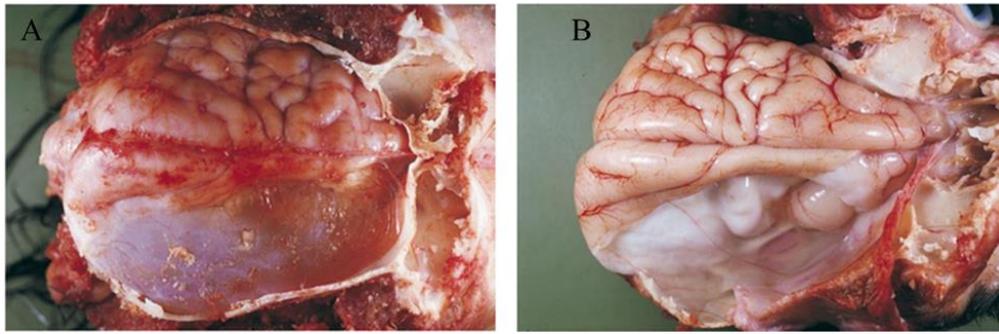


Figure 30: Hydrancéphalie unilatérale retrouvée chez un caniche toy de 8mois [16]. A : la voûte crânienne a été enlevée mais la dure mère est toujours en place. B : image du même cerveau mais la dure mère est cette fois ci enlevée. Aucune image échographique de ce cas n'est disponible, mais la figure 28 nous laisse deviner l'aspect de ce cerveau à l'échographie.

3.3.2.4 Hémorragies :

Les hémorragies intracérébrales sont définies comme un saignement spontané dans le cerveau [63]. Ces hémorragies sont la cause la plus fréquente de l'hydrocéphalie chez les enfants prématurés. Chez les chiens, l'hydrocéphalie post hémorragique constitue approximativement la moitié des anomalies congénitales. Une dystocie par exemple, peut causer une hémorragie intraventriculaire qui entraînerait une hydrocéphalie [7,12,44,26].

L'usage de l'échographie pour la détection des hémorragies intra crâniennes a été abondamment décrit dans la littérature, dans le cas de fractures du crâne [7,31,44] ou d'autres études expérimentales [37,63] (Figure 31).

L'échogénicité de l'hémorragie dans le parenchyme cérébrale varie en fonction de l'âge de la lésion. En effet, d'après les travaux de Lillehei et *al.*, 1984 [37], elle apparait en premier lieu hypoéchogène puis devient rapidement hyperéchogène avec l'agrégation des hématies. Enfin, quand le caillot sanguin se dissout, une zone anéchogène ou hypoéchogène peut être observée [31,37,44].

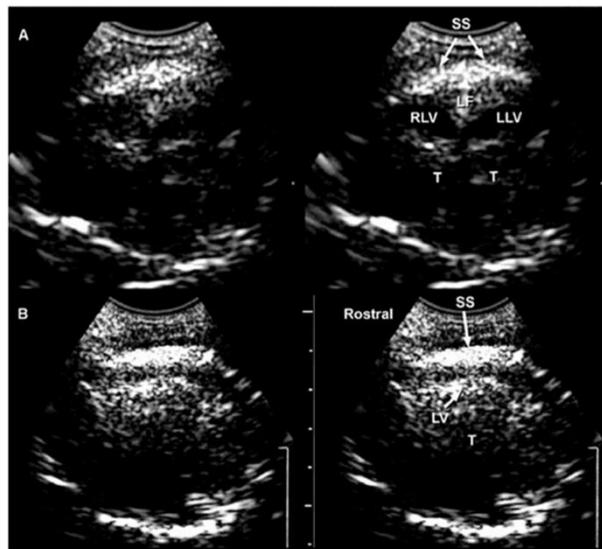


Figure 31: Echographie cérébrale d'un chiot heurté par une voiture dans un état comateux [44]. A :coupe transverse ;B :coupe sagittale. Noter l'épaississement des sulci splénial (SS) suggérant une hémorragie localisée. LF-fissure longitudinale; LV-plexus choroïdes dans le ventricule latéral; LLV-ventricule latéral gauche; RLV-ventricule latéral droit; T-thalamus.

3.3.2.5 Infections et lésions inflammatoires [20,21,31,44]

L'échographie peut parfois être utilisée pour le diagnostic des abcès et autres infections bien que l'IRM soit la méthode de choix pour cela (figure 32a).

Un abcès peut apparaître à l'échographie comme une cavité hypoéchogène pleine de fluides comprimant le parenchyme cérébral environnant, comme dans le cas rapporté dans l'étude d'Hudson et *al.*, 1998 [31] chez un chaton qui présentait, au haut de la tête, une enflure qui a été drainée et d'où un liquide muco-purulent est sorti. Un abcès dont l'origine était probablement une morsure fut trouvé dans le parenchyme cérébral et drainé durant la chirurgie (Figure 32b).

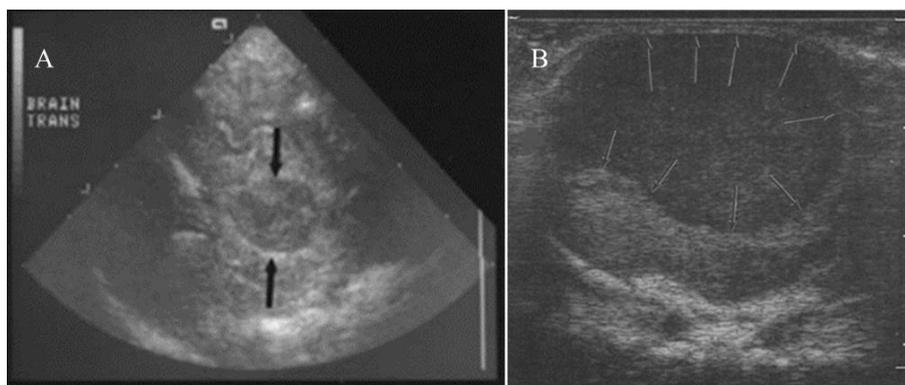


Figure 32: Echographie cérébrale d'un abcès chez un chien (A) et chez un chaton (B) [5,31]. **A :** coupe transverse du cerveau d'un teckel mâle âgé de 2ans ayant été attaqué par un chien 2semaines auparavant avec un historique de crises convulsives intermittentes. Noter la lésion hypoéchogène dans le tissu cérébrale (flèches), celle-ci représente un abcès cérébrale. Une ponction échoguidée a été réalisée pour drainer le matériel purulent. **B :** Coupe transverse du cerveau du chaton (cas précédemment décrit). Noter la large lésion hypoéchogène représentant un abcès (flèches) et la portion ventrale du cerveau qui paraît comprimée.

L'évaluation d'un abcès causé expérimentalement cette fois-ci a été décrite dans les travaux d'Enzmann et *al.*, 1982 [21]. L'abcès à toutes les étapes était caractérisé par un contour échogène avec un centre hypoéchogène; un épaissement des bords échogènes et une baisse de la taille du centre hypoéchogène constituaient des indicateurs de guérison (figure 33).

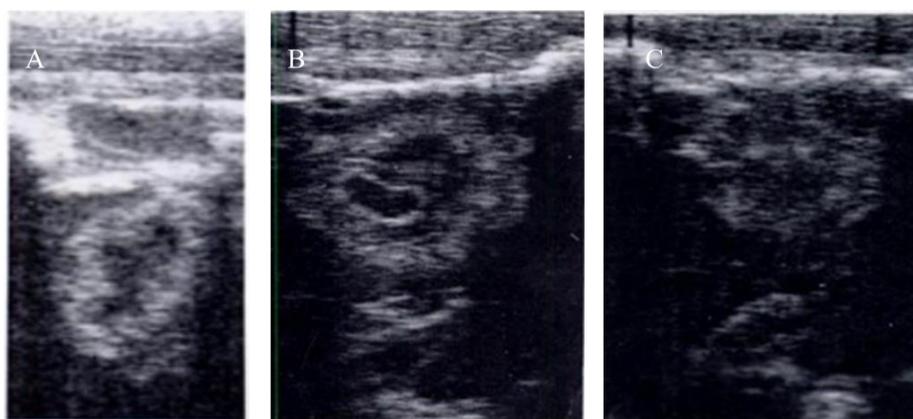


Figure 33 : Echographies cérébrales de l'évolution d'un abcès à J4, J15, J22 sur des coupes sagittales chez des chiens [21]. **A :** Abscès dans le stade de début de formation de la capsule. Le contour échogène est plus épais, plus irrégulier et le diamètre du centre hypoéchogène a diminué. Les échos constituant le contour sont causés par l'inflammation. **B :** Abscès dans le stade où la capsule de collagène est formée et l'épaississement du contour ainsi que l'irrégularité des bords internes et externes sont plus évidents. **C :** Le centre de nécrose apparaît à l'échographie pratiquement résorbé, cependant l'examen pathologique a révélé à J29 la persistance d'un centre nécrotique bien défini.

Dans l'étude de Dzyban et Tidwell, 1996 [20], l'échographie, à travers la fontanelle bregmatique persistante chez un Shih-Tzu de 2 ans avec un historique de convulsions et d'ataxie, montrait une lésion hyperéchogène bien délimitée dans le lobe frontal gauche (figure 34). Une déviation de la faux du cerveau et du sillon splénial indiquaient un effet de masse. L'autopsie de cet animal a

révélé une méningoencéphalite granulomateuse (MEG) qui est une pathologie inflammatoire d'origine idiopathique retrouvée le plus souvent chez les petites races, particulièrement les Caniches et les Terriers de 1 à 8 ans d'âge avec une prévalence des femelles sur les mâles.

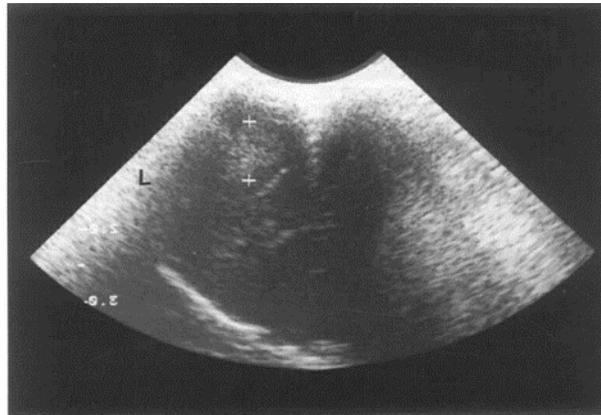


Figure 34: Echographie transfontanellaire du Shih-tzu âgé de 2ans [20]. Coupe transverse montrant une masse de 1cm hyperéchogène (entre les curseurs) dans le lobe frontale gauche.

Les lésions inflammatoires et infectieuses peuvent causer une ventriculomégalie sans autres signes décelables à l'imagerie. C'est pour cela que les signes cliniques observés sont souvent confondus et rapportés à l'hydrocéphalie seule alors que la cause initiale est d'origine inflammatoire ou infectieuse [51].

3.3.2.6 Néoplasies [7,31,44]

Généralement, la TDM ou l'IRM sont les techniques de choix pour le diagnostic des tumeurs cérébrales. Cependant, malgré la nature osseuse du crâne qui ne permet pas le passage des ultrasons, les ouvertures crâniennes citées précédemment peuvent permettre un diagnostic initial des néoplasies dans cet organe. L'utilisation la plus fréquente de l'échographie pour cette lésion est en médecine humaine en per opératoire, en post opératoire et pour les biopsies échoguidées, mais elles ont aussi été décrites chez le chien et cette partie sera détaillée plus tard dans ce document, dans la partie relative à la chirurgie échoguidée.

L'échographie procure des informations fiables sur la localisation et l'extension des tumeurs cérébrales. L'échogénicité des néoplasies chez les chiens a été décrite dans plusieurs études comme une masse hyperéchogène (comme c'est le cas chez l'homme majoritairement) ou d'une échogénicité mixe échogène et hypoéchogène dans un tissu cérébral relativement hypoéchogène. Il est suggéré dans la littérature que l'hétérogénéité indiquerait une nécrose de la tumeur et que la bordure pourrait varier en fonction du type de la tumeur. Par exemple, les

méningiomes devraient apparaître comme une masse très hyperéchogène avec une bordure nette (figure 35).

Les néoplasies peuvent être en rapport avec une ventriculomégalie et une déviation de la fissure longitudinale observée à l'échographie comme une ligne hyperéchogène est l'indication d'un effet de masse causé par une lésion intracrânienne étendue.

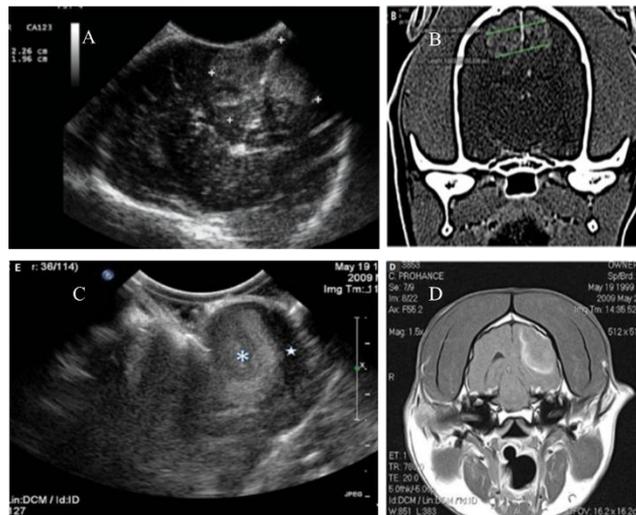


Figure 35: Echographie per opératoire des tumeurs cérébrales [3]. (A,B) : Aspect échographique d'un méningiome en per opératoire et son scanner correspondant. (C,D) : Aspect échographique d'un gliome en per opératoire dans la région corticale gauche et son IRM correspondante. (*) : Masse hyperéchogène et l'étoile représente la région de l'ablation d'une partie de la masse.

3.4 LE DOPPLER TRANSCRANIEN

Le Doppler Couleur est très pratique pour identifier les vaisseaux et améliorer leur visualisation (figure 36). Ceci le rend très utile au début de l'examen qui peut être complété par une analyse spectrale après le positionnement du curseur sur le vaisseau cérébral. L'angle entre le faisceau ultrasonore et la direction du flux doit être ajusté. Un tracé est obtenu puis l'appareil est placé en mode freeze, ce qui permet d'afficher les valeurs de la vitesse et de la fréquence [3,7,8,12,18,23,24,29,31,46,49].

Le tir Doppler doit être réalisé avec un alignement le plus parfait possible avec le vaisseau afin de réduire au maximum cet angle d'insonation. En effet, Quand l'angle utilisé est 0° et que le faisceau ultrasonore est alors parallèle au sens circulatoire dans les vaisseaux, les valeurs de la

vélocité sont les plus élevées et la précision des calculs est la meilleure. Par contre, un angle supérieur à 68° engendrerait des erreurs de calcul jugées inacceptables.

Chez la majorité des chiens, le flux sanguin de l'artère basilaire peut être évalué à l'aide du Doppler. Chez les animaux présentant des fontanelles, le flux des artères cérébrales comme l'artère cérébrale rostrale ou moyenne peut être évalué par cette fenêtre dans les deux plans sagittal et transverse. Le plan dorsal peut être aussi utilisé à travers la fenêtre temporale dans le cas où la fontanelle est fermée.

A cause de l'influence que peut avoir l'angle entre le faisceau ultrasonore et l'artère, la mesure de l'index de résistance (IR) est utilisée de manière courante. Cet index représente le ratio de la différence entre le pic de la vitesse systolique (Vs) et la dernière vitesse diastolique (Vd) sur le pic de la vitesse systolique. Chez les chiens, la valeur normale de l'IR des artères cérébrales est 0.55 ± 0.04 (Seo et *al.*, 2005 [53]) avec :

$$IR = \frac{V_s - V_d}{V_s}$$

Cette mesure pour la résistance du flux sanguin peut être calculée aussi pour l'artère basilaire (IR= 0.5-0.78 [49]) et il a été démontré dans les études de Fukushima et *al.*, 2000 [23] et Saito et *al.*, 2003 [49] qu'elle a une corrélation directe avec la pression intracrânienne et le statut neurologique du chien hydrocéphale.

Une valeur augmentée de l'IR pourrait être due à une hydrocéphalie ou d'autres causes telles une masse intracrânienne, une hémorragie intracrânienne, une maladie inflammatoire du cerveau, un œdème du cerveau ou une pression sanguine élevée. Toutefois, l'interprétation de l'IR doit prendre en considération les animaux sous anesthésie ou ayant une maladie cardiovasculaire.

Il a été conclu dans l'étude de Carvalho et *al.*, 2010 [8] que le Doppler transcrânien duplex est une méthode capable de contrôler plus précisément le traitement des chiens hydrocéphales et de vérifier leurs réponses. Cette étude conclut en outre que la mesure de l'IR est plus utile que la mesure des VL

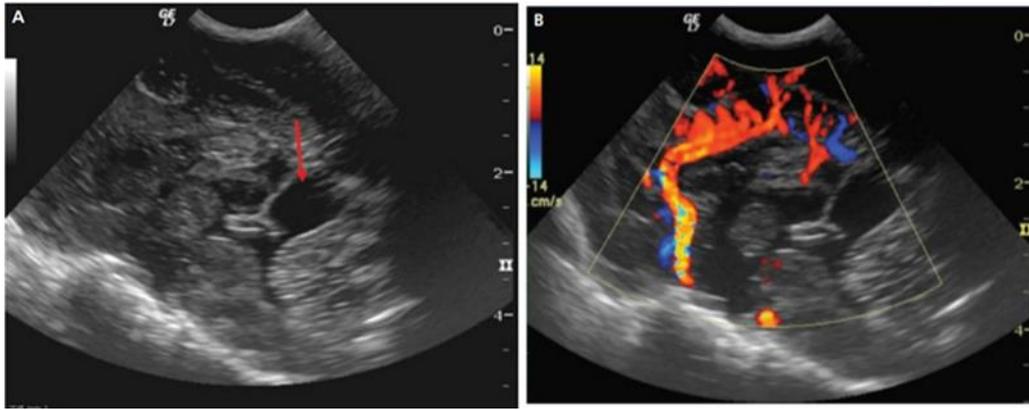


Figure 36: Echographie transfontanelle d'un Shih-tzu âgé de 5mois présentant un nanisme et des crises convulsives [3]. L'échographie a révélé un petit kyste au niveau de la citerne quadrigéminal (flèche). Le doppler couleur a mis en évidence les artères cérébrale rostrale et calleuse et la direction du flux sanguin.

3.5 CHIRURGIE ECHOGUIDEE

L'imagerie est devenue essentielle pour guider le chirurgien lors des procédures chirurgicales intra crâniennes [6].

L'échographie per opératoire peut s'avérer utile pour l'identification des lésions macroscopiquement non visibles et non palpables, diminuant ainsi les traumatismes au cerveau, d'où son indication pour la localisation des tumeurs cérébrales, kystes, abcès, malformations vasculaires et hématomes.

Chez les chiens suspects de néoplasie par exemple, l'utilisation de l'échographie per opératoire est utile pour évaluer l'étendue d'une tumeur intra crânienne et ses rapports vasculaires (à l'aide du doppler couleur) et réaliser des biopsies échoguidées. Ces biopsies renseignent sur le type histologique de la tumeur, permettant ainsi un traitement adéquat et un pronostic plus précis.

Selon l'étude de Shores et *al.* [3,54], l'échographie per opératoire devrait être un standard pour la chirurgie des processus intra crâniens.

En post opératoire, l'échographie permet une évaluation des limites de la résection et la recherche d'éventuelles complications conséquentes à la chirurgie.

Durant la chirurgie, l'asepsie doit être rigoureuse et diverses méthodes ont été utilisées. Le plus souvent, la sonde est placée dans un gant en latex stérile avec du gel et une solution saline physiologique stérile est utilisée pour faire l'interface entre la sonde et le tissu nerveux. Le choix

de la sonde et sa position varieront en fonction de la taille de l'ouverture du crâne ainsi que de la localisation de la lésion [3,7,31,60] (figure 37).

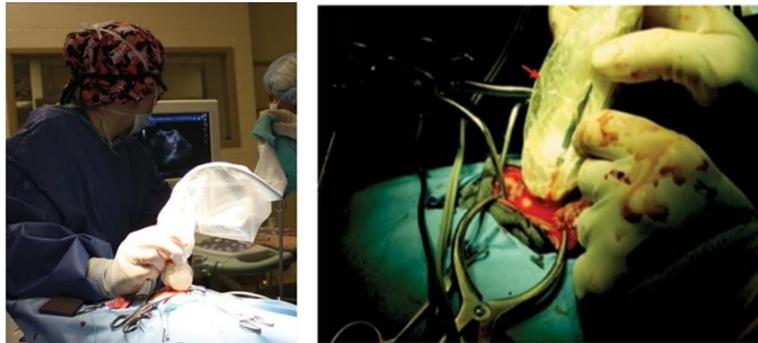


Figure 37: Echographie per opératoire [3]. La sonde (flèche rouge) est couverte d'un gant stérile, de la solution saline est mise sur l'ouverture du crâne et la sonde est placée directement sur le tissu cérébral.

3.6 IMAGERIE DE L'ENCEPHALE : COMPARAISON DES TECHNIQUES ETF, TDM ET IRM

L'imagerie du cerveau à l'aide d'ultrasons présente de nombreux avantages au vu des applications précédemment citées. En particulier, la qualité des images obtenues à travers la fontanelle se révèle très utile. Cependant, son utilisation chez le chien a été remplacée par d'autres techniques d'imagerie comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomodensitométrie (TDM) [3,4,13,18,27,30,31,39,40,44,46,50,51,60].

En médecine humaine, l'utilisation de l'ETF en pédiatrie est toujours d'actualité et la qualité des images obtenues est comparable à celle d'un scanner voire parfois d'une qualité supérieure.

Les tableaux comparatifs ci-dessous (tableau 3,4) mettent en évidence les différences majeures entre les trois techniques d'imagerie ETF, TDM et IRM.

Tableau 3: Comparaison entre les différentes techniques d'imagerie de l'encéphale chez le chien: ETF,TDM,IRM.

	ETF	TDM	IRM
Principe	Ultrasons	Rayons X	Champ magnétique
Anesthésie	Sans anesthésie (généralement)	Anesthésie générale	Anesthésie générale
Contraste	Sans contraste	Utilisation de produit de contraste	Utilisation de produit de contraste
Coupes utilisées	Coupes sagittales, transversales	Coupes transversales (qui peuvent être reformattées en plans sagittal, oblique et transverse)	Possibilité d'orienter à volonté les plans de coupe dans l'espace sans repositionner le patient (plus grande flexibilité que la TDM)
Indication première	Diagnostic de l'hydrocéphalie chez les petites races ayant une fontanelle	Examen de 1 ^{ère} intention lors de la suspicion d'une affection de l'encéphale, particulièrement les masses intracrâniennes	Examen de choix lors de suspicion d'affections structurales de l'encéphale
Complications potentielles Risques potentiels	Un excès de pression de la sonde sur la fontanelle pourrait blesser le tissu cérébral	L'irradiation n'est pas négligeable mais considérée sans risque	Aucun effet indésirable rapporté

Tableau 4: Avantages et limites de l'utilisation de l'ETF, IRM et TDM dans l'exploration du cerveau canin.

	Avantages	Limites
ETF	<ul style="list-style-type: none"> -Méthode fiable, facile et rapide -Non invasive et sans danger -Peu coûteuse et plus disponible -Examen reproductible et portable -Mise en oeuvre sur des animaux conscients -Possibilité de réaliser le Doppler à travers la fontanelle 	<ul style="list-style-type: none"> -Une fontanelle fermée ou très petite peut empêcher la visualisation du cerveau -Des artefacts (ombres acoustiques) peuvent altérer les résultats. -Faibles détails anatomiques en comparaison avec la TDM et l'IRM -Une chirurgie visant à mimer une fontanelle serait une approche invasive bien que considérée comme sans danger -L'ossification du tentorium cérébelleux chez les adultes rend la visualisation du cervelet et de la moelle allongée difficile. -Le bilan lésionnel (compression du cervelet, hernie dans le trou occipital, malformations de la fosse postérieure...) nécessite la TDM ou l'IRM
TDM	<ul style="list-style-type: none"> -non invasive -plus disponible que l'IRM -Durée de l'anesthésie générale plus courte que l'IRM -Plus de détails anatomiques que l'ETF et une qualité d'image supérieure 	<ul style="list-style-type: none"> -Examen plus coûteux que l'ETF -La principale limite dans la visualisation des structures est l'œil humain -L'os occipital étant épais, provoque un artefact appelé le durcissement osseux; de ce fait l'imagerie de la région de la fosse caudale est médiocre
IRM	<ul style="list-style-type: none"> -Excellente résolution -Considérée comme méthode de choix pour l'évaluation de l'hydrocéphalie -Précision similaire voire supérieure à la TDM dans la détection des hémorragies intra crâniennes -Améliore la détection des maladies inflammatoires -Pas d'artefact d'origine osseuse -Meilleure visualisation de la fosse caudale 	<ul style="list-style-type: none"> -Examen coûteux -Contre-indications liées à la longue durée de l'anesthésie générale (largement supérieure à 30 min) -L'accès à l'IRM peut être limité pour certains patients du fait que les objets ferromagnétiques sont interdits dans la salle d'examen -Des artefacts peuvent survenir à cause d'implants magnétiques de petite taille qui ne sont pas contre indiqués, mais l'interprétation des images n'est généralement pas compromise

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1 MATERIELS ET METHODES :

L'étude que nous voulions présenter à l'origine incluait une chienne âgée de 2 ans issue d'un croisement entre une femelle American Staffordshire terrier et un Chihuahua. Celle-ci fut présentée pour des vomissements répétitifs à la Clinique TAGAST d'Alger. A l'examen clinique cette chienne avait une fontanelle bregmatique persistante mais aucun problème neurologique n'avait été décelé. Un télé thorax a révélé la présence d'un méga-oesophage et d'une cardiomégalie (figures 38).

Malheureusement, étant donné la crise sanitaire qu'a traversée le monde et le confinement imposé depuis plusieurs mois déjà au moment de la rédaction de ce rapport, nos travaux expérimentaux n'ont pu être poursuivis et aucune ETF n'a pu être pratiquée sur des chiens. De ce fait, les résultats rapportés dans la littérature vétérinaire précédemment cités dans la partie bibliographique feront office de références.



Figure 38: Conformation de la chienne croisée chihuahua-Staff Américain (A et B). A: La chienne est courte sur patte, de type longiligne tel un teckel, Sa tête est de type mésocéphale et sa robe bringée-blanche rappelle celle d'un staff américain. B : Emplacement de la fontanelle bregmatique (flèche).

A titre comparatif, des cas relatifs aux espèces humaine et féline ont été introduits dans notre étude.

Des ETF chez des nourrissons prématurés ont été réalisées par deux radiologues à l'hôpital de Bab El Oued dans le service de radiologie sur 3 bébés âgés entre 14 jours et 3 mois. Les bébés sélectionnés étaient de sexes différents : 1garçon, 1fille et 1 bébé dont le sexe n'a pas été défini. Le garçon était suspect d'une ventriculite et a été admis pour un diagnostic de confirmation et la petite fille a été admise pour une ETF de routine et un examen de la hanche. Le troisième bébé

quant à lui était admis en premier lieu pour une échographie pelvienne à la recherche des gonades déterminant son sexe et une ETF a été pratiquée du fait de sa prématurité.

L'ETF est effectuée par la fenêtre qu'offre la fontanelle bregmatique à l'aide d'un échographe « XDclear » (figure 39); la sonde linéaire est la seule utilisée avec une fréquence initiale de 9MHz. Les nourrissons sont recouverts d'une couverture et positionnés sur le dos avec la présence de la maman pour les rassurer et tenir la tête au besoin.

Quant à l'espèce féline, 5 chatons de race européenne âgés de 6 à 23 jours, de sexes différents (3 femelles et 2 mâles) ont été sélectionnés au hasard et ne présentaient aucun problème de santé apparent. L'examen de l'encéphale de ces derniers a été effectué à la station expérimentale de l'Institut Vétérinaire de Blida par le même examinateur utilisant un échographe « esaote » (figure 39) et des sondes microconvexe et linéaire (figure 40) avec des fréquences variant entre 7 et 11MHz à travers la fontanelle bregmatique; la fenêtre temporale fut aussi utilisée accessoirement pour une comparaison de la qualité des images obtenues avec et sans l'interposition de l'os avec des fréquences entre 5 et 6MHz. Aucune euthanasie n'a été pratiquée.

Les chatons sont posés sur une couverture et contentionnés par les propriétaires afin d'assurer leur confort et celui de l'examineur (figure 41).



Figure 39: Echographes utilisés dans notre étude. A droite : « échographe « XDclear » utilisé chez les nourrissons ; à gauche : échographe My Lab Class C Vet « Esaote » utilisé chez les chatons.



Figure 40: Sondes échographiques utilisées à la plateforme de Blida. A droite: sonde linéaire haute fréquence (similaire à celle utilisée chez les nourrissons); A gauche: sonde microconvexe avec des fréquences plus basses.

L'examen ultrasonore de ces deux espèces se déroule de la même manière : du gel est appliqué abondamment sur la sonde utilisée et cette dernière est posée délicatement sur la fontanelle bregmatique et/ou la fenêtré temporelle sans rasage au préalable de la zone concernée.

Le repère de la sonde va représenter le point lumineux à l'échographe et représente la partie antérieure ou rostrale du patient sur le plan sagittal. Sur les plans coronales ou transverse, le repère est placé de manière à avoir la partie gauche du patient à droite de l'écran. La sonde est inclinée de l'avant à l'arrière, de gauche à droite ou de haut en bas en fonction du plan utilisé. Les réglages de l'échographe comme le gain ou le changement de fréquence sont ajustés au fur et à mesure. Aucune anesthésie n'est utilisée et la durée de l'examen est en moyenne de 15 minutes chez les nourrissons et 25 minutes chez les chatons.

Les images échographiques obtenues chez les nourrissons sont réalisées sur le plan coronal où 5 coupes sont enregistrées (antérieures et postérieures); sur ce plan les mesures des VL ainsi que le doppler couleur et pulsé sont pratiqués seulement pour la petite fille ; une rotation de la sonde de 90° permet d'obtenir des coupes sagittales et parasagittales (gauche et droit). Chez les chatons, 3 plans sont utilisés : le premier transverse où des coupes rostrales et caudales sont obtenues. Le second, sagittal, après avoir tourné la sonde à 90°, nous permet d'avoir des coupes du côté droit et gauche de l'animal et le dernier, dorsal (par la fenêtré temporelle) divise la tête en deux parties dorsale et ventrale. A l'aide de ces coupes, une visualisation globale des structures anatomiques les plus importantes peut être assurée (figures 41,42).



Figure 41: Position de la sonde pour l'examen à travers la fontanelle bregmatique (à droite) et par la fenêtre temporale (à gauche) chez les chatons.

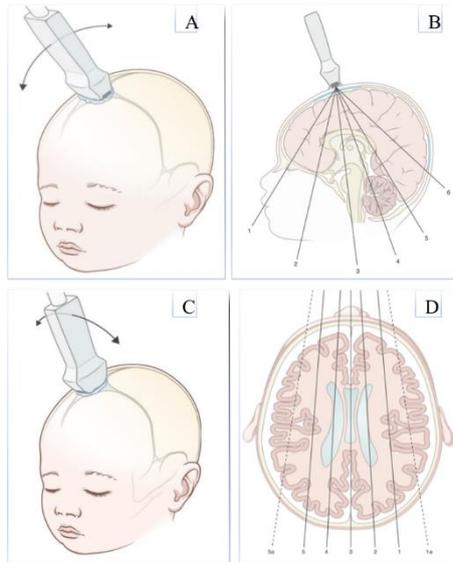


Figure 42 : Position de la sonde pour l'examen à travers la fontanelle bregmatique chez les nourrissons [42]. (A,B) : position de la sonde pour des coupes transverses. (C,D) : position de la sonde pour des coupes sagittales.

La topographie et l'échogénicité des structures sont décrites sur chaque plan chez les nourrissons et les chatons et les mesures des ventricules ainsi que l'index de résistance calculés chez la petite fille sont indiqués. Les résultats obtenus sont comparés à ceux des chiens traités dans le chapitre 3.

Le but de cette étude est de mettre en avant les avantages que procure l'ETF, rapporter ses pratiques chez les humains et comparer ces données avec celles obtenues chez les chiens pour pouvoir les extrapoler et évaluer la faisabilité de cette technique chez d'autres espèces présentant une fontanelle bregmatique bien plus petite comme le chat¹.

¹ Note: En raison d'un problème technique de l'échographe et de la pandémie du Covid-19, les images échographiques prises sur des chatons ne sont pas disponibles pour le moment.

CHAPITRE 2 : RESULTATS

Lors de notre examen, les fontanelles chez toutes les espèces (chiens, chatons et nourrissons) étaient palpables comme une légère dépression dans la ligne médiane en haut du crâne ; chez la chienne la fontanelle était légèrement déviée vers la gauche.

Les images réalisées chez les nourrissons avec la fréquence de 9MHz étaient de qualité très satisfaisante ; chez les chats, une fréquence de 8MHz à travers la fontanelle a permis la visualisation de plusieurs structures importantes et des fréquences plus basses, entre 5 et 6Mhz, à travers la fenêtre temporale, nous ont fourni des images du cerveau à travers l'os avec une qualité plus mauvaise.

A. CHEZ LES NOURRISSONS :

Deux plans ont été réalisés afin de permettre une visualisation globale des structures les plus importantes.

- **Les coupes coronales**

Cette coupe est équivalente à la coupe transverse chez le chien et le chat; elle divise la tête en deux parties antérieure et postérieure.

Coupe 1 : Au niveau du bulbe olfactif

La coupe la plus antérieure passe au niveau du bulbe olfactif qui apparaît tel deux sillons hyperéchogènes verticaux dans un tissu cérébral hypoéchogène, de part et d'autre de la fissure longitudinale, elle-même représentée par une ligne hyperéchogène (figure 43)

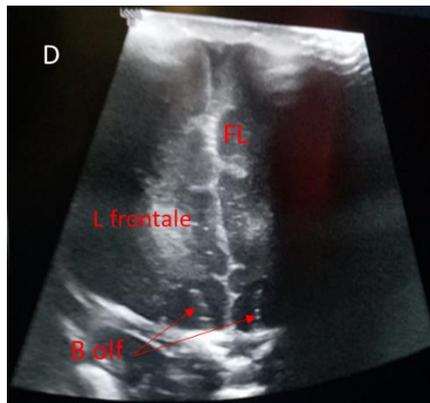


Figure 43: Coupe au niveau du bulbe olfactif chez la fille. Des images similaires sont retrouvées chez les deux autres nourrissons. FL-fissure longitudinale; L frontale-lobe frontale; B olf-bulbe olfactif; D-droite.

Coupe 2 : Au niveau des cornes frontales :

En manipulant délicatement la sonde un peu plus vers l'arrière, les cornes antérieures des ventricules latéraux entrent dans notre champ de vision et apparaissent comme deux structures anéchogènes dans chaque hémisphère cérébral (figure 44).

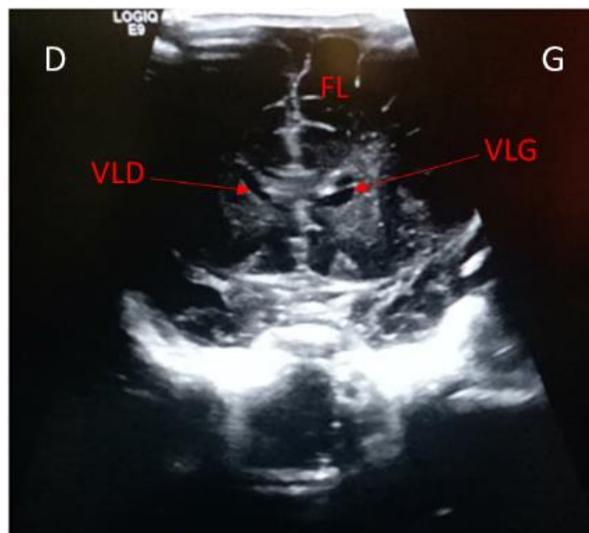


Figure 44: Coupe au niveau des cornes frontales chez la fille. Des images similaires sont retrouvées chez les deux autres nourrissons. FL-fissure longitudinale; VLG-ventricule latéral gauche; VLD-ventricule latéral droit; D-droite; G-gauche.

Coupe 3 : Au niveau des forams de Monro et du troisième ventricule :

A ce niveau, le corps calleux apparait comme une structure hypoéchogène délimitée par deux lignes hyperéchogènes.

Les ventricules latéraux au contenu liquidien ont une paroi fine chez tous les nourrissons, y compris le garçon qui est le seul à montrer une asymétrie au niveau de la taille des VL (VL Gauche supérieur au VL Droit) (figure 45d). Leur plancher est bordé des plexus choroïdes hyperéchogènes.

Dans la ligne médiane, une autre structure anéchogène apparaît entre les ventricules latéraux : le cavum septum pellucidum, présent chez tous les nourrissons. En dessous de cette structure et des ventricules latéraux, le troisième ventricule apparaît comme une petite fente médiane anéchogène; sa communication avec ces derniers se fait grâce aux Foramens de Monro (figure 45).

Chez la fille, des multiples structures anéchogènes sont observés entre les ventricules latéraux et le troisième ventricule. Ces formations représentent des kystes (figure 46)

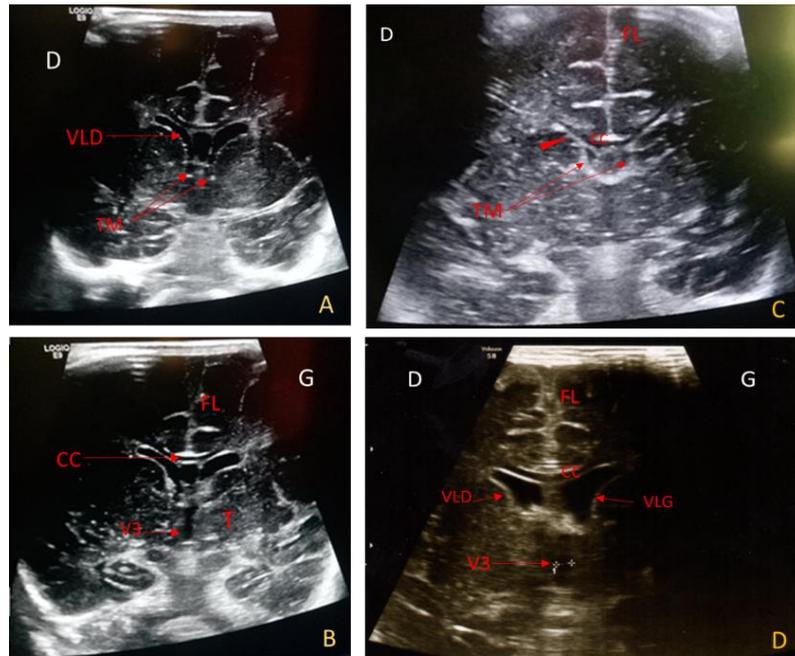


Figure 45: Coupes au niveau des foramens (trou) de Monro et du 3^{ème} ventricule chez les trois nourrissons. (A,B,) : images échographiques de la fille. A : coupe au niveau des foramen de Monro; B : coupe au niveau du 3^{ème} ventricule. (C) : coupe au niveau des foramens de Monro chez le nourrisson au sexe indéterminé (les ventricules latéraux ne sont pas très visibles sur cette coupe), la tête de flèche représente les plexus choroïdes du VL. (D) : coupe au niveau du 3^{ème} ventricule chez le garçon. Noter l'asymétrie des ventricules latéraux et leur paroi fine. FL-fissure longitudinale; CC-corps calleux; VLD-ventricule latéral droit; VLG-ventricule latéral gauche; TM-trou de Monro; V3-3^{ème} ventricule; T-thalamus; D-droite; G-gauche.

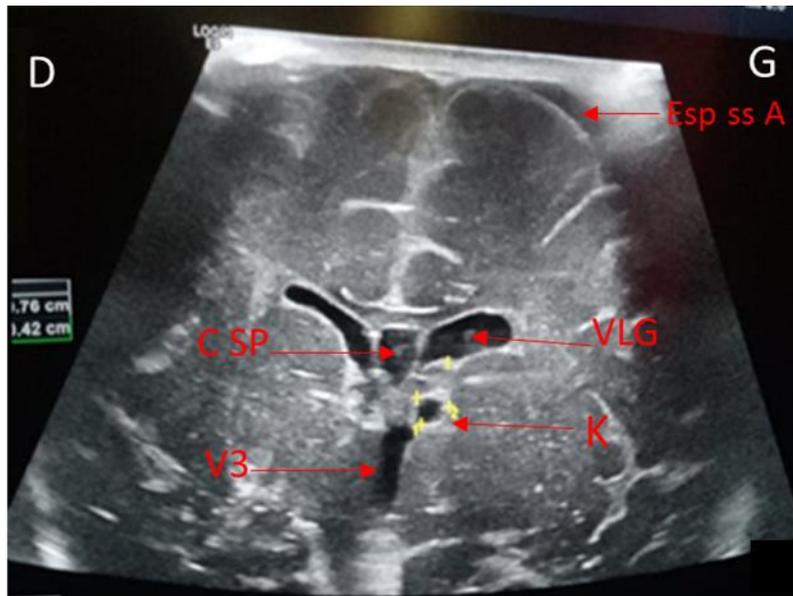


Figure 46: Coupe à travers le troisième ventricule plus superficielle que la figure 45b chez la fille, Noter la structure anéchogène entre le VLG et le V3. C SP-cavum du septum pellucidum (retrouvé chez tous les nourrissons de notre étude).

Coupe 4 : Au niveau des cornes occipitales :

Cette coupe passe au niveau des plexus choroïdes des VL. L'orientation de la sonde vers l'arrière nous permet d'évaluer la symétrie et l'apparence des plexus choroïdes qui sont observés comme une bande hyperéchogène collée aux parois de chacun des VL anéchogènes (figure 47a).

Exception faite chez la petite fille, cette bande hyperéchogène que représentent les plexus choroïdes dans le ventricule droit paraît entourée du liquide cébrospinal. Cette apparence anormale est inexistante chez les deux autres nourrissons (figure 47b).

Dans cette coupe, les mesures des VL sont réalisées au niveau de la corne temporale : la taille des VL chez le petit garçon et le bébé au sexe indéterminé est normale et inférieure à 8mm; par contre, la fille présentait une dilatation des cornes temporales mesurés à 12mm à droite et 11mm à gauche.

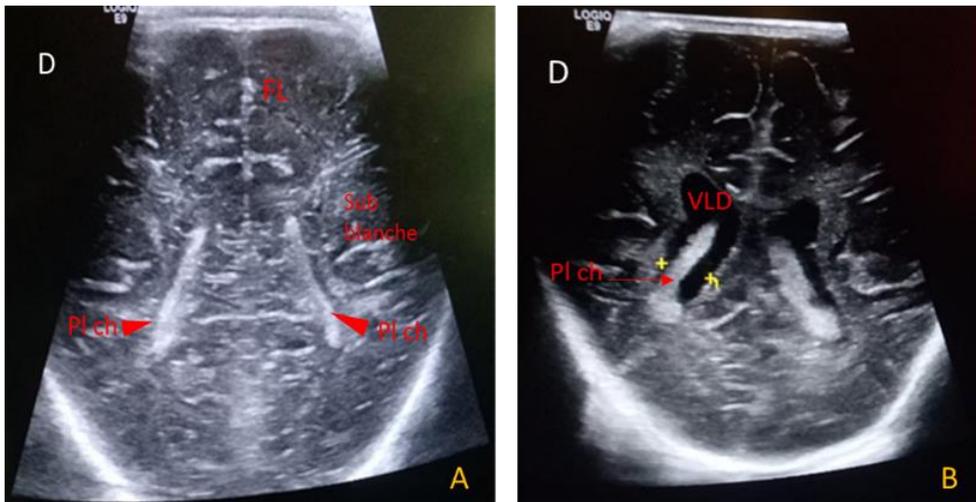


Figure 47: Coupe au niveau des cornes occipitales. A : Echographie du bébé au sexe non défini, une image similaire a été retrouvée chez le garçon. B : échographie de la fille montrant une dilatation ventriculaire bilatérale. FL-fissure longitudinale; sub blanche-substance blanche; VLD-ventricule latéral droit; PI ch-plexus choroïdes des VL (flèche et têtes de flèches); D-droite.

Coupe 5 : Au niveau des lobes occipitaux :

C'est la coupe la plus postérieure; elle passe par les lobes occipitaux à la recherche de collections liquidiennes ou d'anomalie de circonvolutions cérébrales. A ce niveau, Les ventricules latéraux ne sont plus visibles (figure 48).

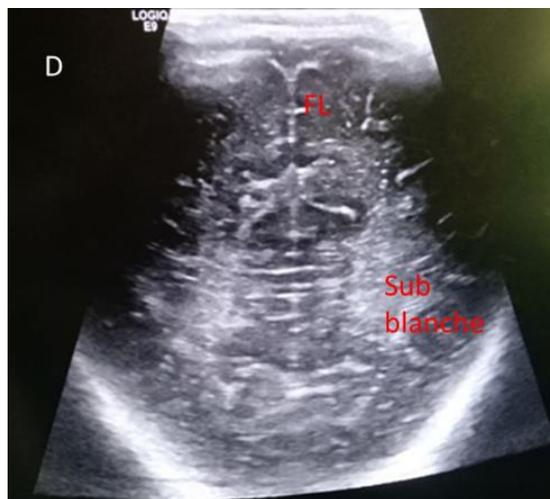


Figure 48: coupe au niveau des lobes occipitaux chez la fille. Des images similaires sont retrouvés chez les deux autres nourrissons. FL-fissure longitudinale; sub blanche-substance blanche; D-droite.

- **Les coupes sagittales :**

Les coupes sont obtenues après une rotation de la sonde de 90°. Similaire au plan sagittal chez les animaux, la coupe sagittale médiane divise la tête en deux parties égales droite et gauche. Les coupes para sagittales droite et gauche sont obtenues à partir de celle-ci en inclinant la sonde vers la droite ou vers la gauche.

Coupe sagittal médiane :

Le corps calleux hypoéchogène est délimité par deux lignes hyperéchogènes et apparaît en forme de « C »; en-dessous, la structure anéchogène représente le cavum du septum pellucidum.

Plus bas, le noyau caudé est retrouvé en avant du thalamus. Ces deux structures apparaissent hypoéchogènes et leur délimitation n'est pas clairement définie. Le sillon thalamo-caudé qui délimite les plexus choroïdes sépare ces deux structures.

Ventralement au niveau de la fosse postérieure, le vermis est échogène et de forme arrondie. Il se trouve à l'arrière du pont et du 4^{ème} ventricule. La cisterna magna ou la grande citerne se trouve entre le cervelet et la surface dorsale de la moelle allongée (figure 49).

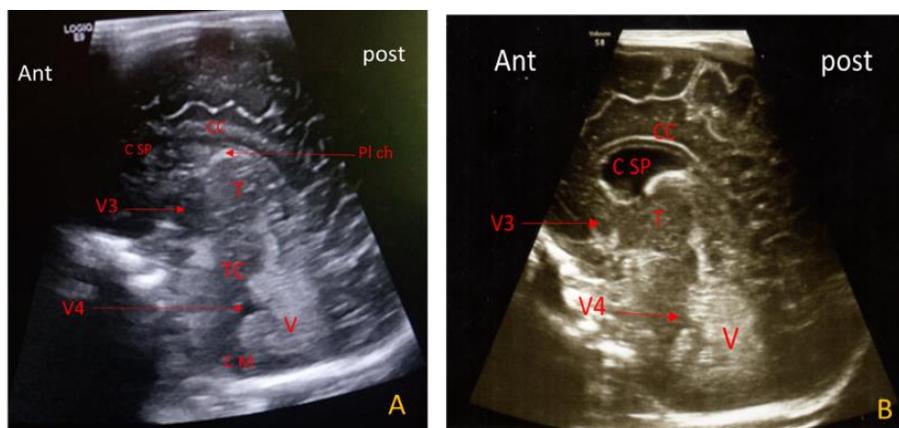


Figure 49: Coupes sagittales médianes chez la fille et le garçon. Une image similaire a été retrouvée chez l'autre nourrisson. CC-corps calleux ; C SP-cavum du septum pellucidum ; T-thalamus ; PI ch- plexus choroïdes ; V3-3^{ème} ventricule ; TC-tronc cérébral ; V-vermis ; V4-4^{ème} ventricule ; CM-la grande citerne.

Dans cette coupe, les Doppler couleur et pulsé sont utilisés seulement chez la petite fille.

L'artère péricalleuse est mise en évidence avec le doppler couleur dans la figure 50a. Après le freeze, l'index de résistance (IR) qui représente le pic systolique sur la dernière vélocité diastolique est mesuré à une valeur normale de 0,6 (figure 50b).

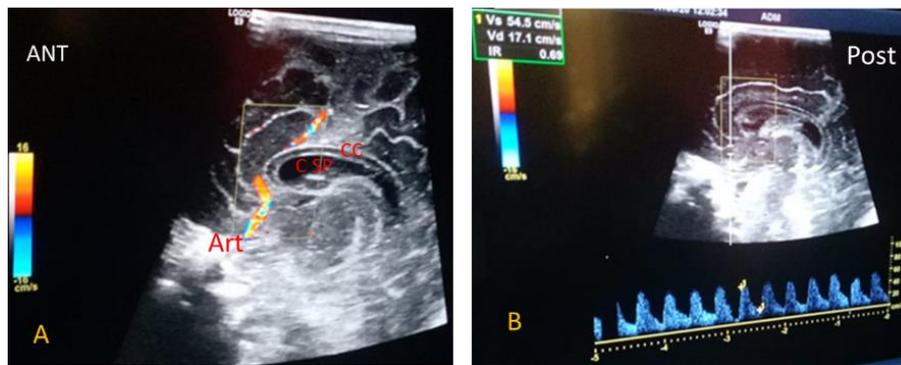


Figure 50: Coupe sagittale médiane chez la fille. Les Doppler couleur (A) et pulsé (B) ont mis en évidence l'artère péricalleuse (Art) et l'IR est calculé à 0,6. CC-corps calleux; C SP-cavum du septum pellucidum.

Coupe para sagittale droite et gauche :

En inclinant la sonde latéralement du côté gauche ou du côté droit, la structure anéchogène visible représente le VL (droit ou gauche). Sous celle-ci, deux autres structures hypoéchogènes sont légèrement distinguées: le noyau caudé en avant et le thalamus en arrière. Entre ces structures, le sillon thalamo-caudé apparaît hyperéchogène.

Chez la fille, au niveau de ce sillon, les multiples formations kystiques observées précédemment dans les coupes coronales sont entourées d'un liseré hyperéchogène.

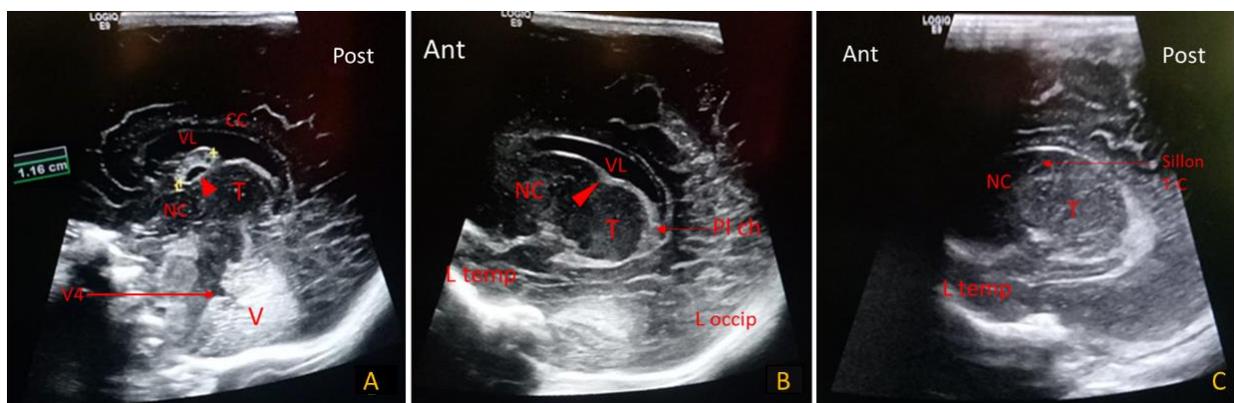


Figure 51: Coupes para sagittales chez la fille. A : coupe para sagittale proche de la ligne médiane. Le kyste est entouré d'un liseré hyperéchogène (tête de flèche). C : coupe para sagittale plus éloignée de la ligne médiane que B. CC-corps calleux; VL-ventricule latéral; T-thalamus; NC-noyau caudé; V-vermis; V4-4^{ème} ventricule; L temp/occip- lobe temporel/ occipital.

B. CHEZ LES CHATONS :

- **Coupes transverses :**

-Une seule image est disponible pour le moment-

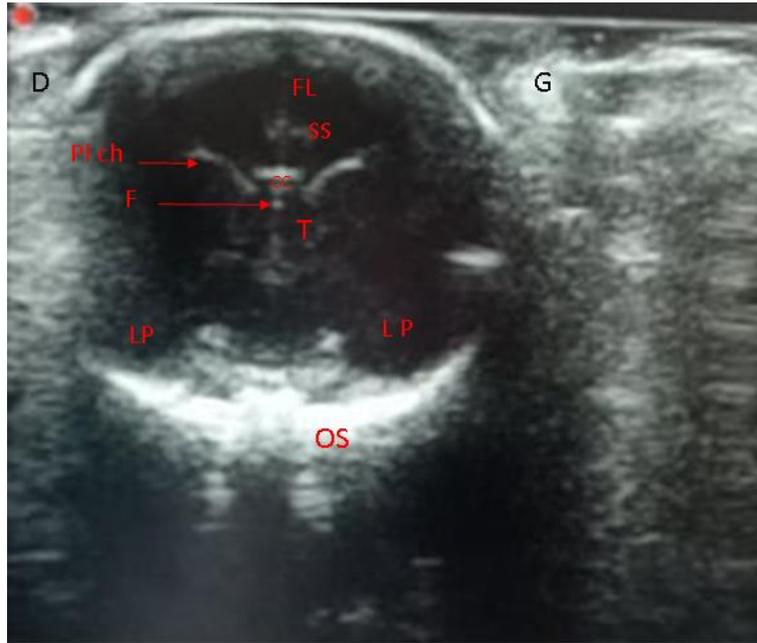


Figure 52: Coupe transverse chez un chaton. FL-fissure longitudinale; SS-sillon splénial; pl ch- plexus choroïdes; F-fornix; T-thalamus; LP-lobe piriforme.

- **Coupes sagittales:**

Aucune image n'est disponible pour le moment-

- **Coupes dorsales :**

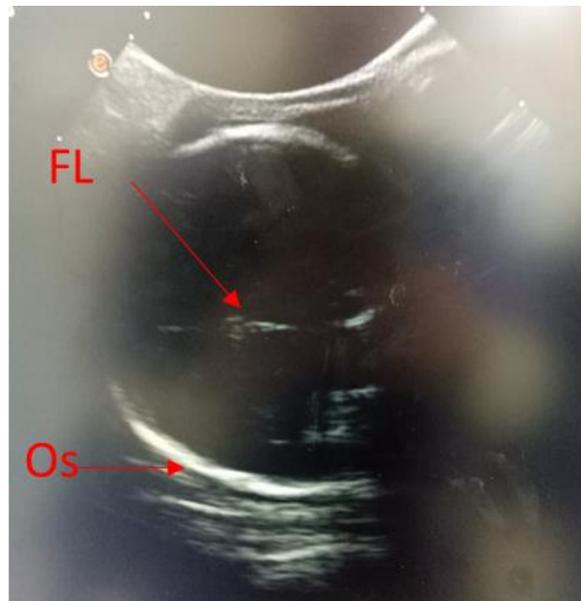


Figure 53: Coupe dorsale chez un chaton. Seule la fissure longitudinale (FL) hyperéchogène est clairement visible.

Les informations liées aux individus sélectionnés dans notre étude et les résultats des échographies sont répertoriés dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : Tableau récapitulatif de la population d'étude et résultats de l'ETF. F=femelle ; M=mâle ; I=sexe indéterminé.

Espèce	Sexe	Age	Taille de la fontanelle	Motif de consultation et pathologies	Résultats à l'ETF		
					Appréciation	Mesure des VL	Index de résistance
Canine (chien)	F	2ans	0,7cm	-vomissements -Mega- oesophage et cardiomégalie	/	/	/
Humaine	F	2mois et 20jrs	1cm	-prématurité -examen du bassin -absence de signes neurologiques -Taille normale de la tête	ETF anormale : -dilatation bilatérale des VL -multiples formations kystiques au niveau du sillon Thalamo-caudé -ETF en rapport avec une hémorragie sous épendymaire -2 ^{ème} contrôle de l'ETF après 1mois	VLD :12mm VLG :11mm	IR :0,6
	M	3mois	0,7cm	-prématurité -ventriculite	ETF normale : -Asymétrie des VL -épaisseur des parois des VL normale	VL < 8mm	/
	I	14jrs	1,6cm	-prématurité -recherche des gonades -hyperplasie congénitale des surrénales	ETF normale	VL < 8mm	/
Féline (chat)	F	6jrs	2mm	/	ETF normale	Non visibles	/
	F		1mm				
	F	23jrs	Peu perceptibles				
	M						
	M						

CHAPITRE 3 : DISCUSSION

A. QUALITE DES OBSERVATIONS :

L'ouverture que représentent les fontanelles a permis la visualisation des structures principales du tissu cérébral chez les nourrissons et les chatons, malgré la taille relativement petite de la fontanelle bregmatique chez ces derniers.

Les structures qui ont été observées dans les différents plans de coupe chez les humains sont les lobes, les bulbes olfactifs, les sillons et gyrus, la fissure longitudinale, le corps calleux, les ventricules latéraux, le cavum septum pellucidum, le troisième ventricule, les Foramens de Monro, Le thalamus, le noyau caudé, le quatrième ventricule, le vermis, la grande citerne, les kystes et le sinus sagittal dorsal (ce dernier n'est pas mentionné dans les figures présentées et est situé sous la fontanelle bregmatique)

Les structures observées chez le chat : les plexus choroïdes des VL, le fornix, le corps calleux, le sulci splénial, le noyau caudé, le lobe piriforme, le mésencéphale,... Les ventricules latéraux n'étaient pas visibles mais l'échogénicité des plexus choroïdes laissait deviner leur localisation. D'autres structures sont plus visibles chez les humains que chez les chatons comme le troisième et quatrième ventricule. Ces derniers ne se voient pas chez chats normaux sauf hydrocéphaliques [33,62].

Le plan transverse nous a fourni beaucoup d'informations sur les structures principales et les lésions existantes permettant ainsi leur mesure (ex : VL, kystes). Le plan sagittal quant à lui, a été utilisé pour avoir une vision plus globale du cerveau, s'assurer de la présence du corps calleux et réaliser le Doppler couleur et pulsé. Le plan dorsal n'est pas utilisé en pratique quotidienne chez les nourrissons car il n'est pas d'une grande utilité. Cependant, il fut utilisé chez les chatons en guise de comparaison avec l'ETF ; seule la fissure longitudinale fut correctement observée à cause de l'interposition des os. Ceci dit, une éventuelle déviation de celle-ci pourrait nous renseigner sur un effet de masse.

La topographie des structures observées chez le chat a été guidée par les résultats retrouvés dans la littérature ainsi que l'expérience des radiologues (en médecine humaine) dans cette pratique. Toutefois, l'absence d'euthanasie et d'échographie post mortem du cerveau pour la confirmation de la localisation des structures visualisées doit être prise en compte.

La qualité des images obtenues chez les nourrissons était excellente en comparaison avec celle des chatons qui était plus ou moins satisfaisante mais d'une résolution plus réduite. Ceci est vraisemblablement lié à la taille de la fontanelle et aux réglages de l'échographe effectués par des radiologues expérimentés habitués à cette technique chez les humains. C'est d'ailleurs ce qui explique la rapidité de l'examen chez les nourrissons en comparaison avec les chatons où un temps d'adaptation aux réglages de l'échographe a été nécessaire.

B. DISCUSSION DES CAS CLINIQUES :

Les cas introduits dans cette étude dans toutes les espèces ne présentaient aucun signe neurologique évident. Toutefois, l'ETF est réalisée systématiquement chez les prématurés en pédiatrie humaine.

- **Chez les humains**

Chez les trois nourrissons sélectionnés, la présence du cavum du septum pellucidum est un signe de prématurité. Le septum pellucidum qui sépare les ventricules latéraux présente deux feuilletts. Lorsque ces derniers n'ont pas complètement fusionné, une cavité est retrouvée entre eux et peut persister chez les prématurés et occasionnellement chez les nourrissons nés à terme. Généralement, le cavum du septum pellucidum commence à se fermer aux alentours du 6^{ème} mois de gestation et se ferme complètement à 3-6 mois après la naissance [14,47].

Durant l'examen clinique des nourrissons, la taille de la fontanelle et son aspect sont examinés à la recherche d'un éventuel retard de fermeture. En moyenne, la fontanelle bregmatique se ferme à 13 mois et mesure 2.1 cm. Un retard de fermeture peut être retrouvé dans certaines pathologies comme une hypothyroïdie, une augmentation de pression intracrânienne, une achondroplasie, etc. D'autres pathologies peuvent au contraire, provoquer une fermeture avancée des fontanelles comme une craniosynostose ou un développement anormal du cerveau (ex : microcéphalie). A la palpation, un aspect bombée de la fontanelle peut être le résultat d'une augmentation de pression intracrânienne (ex : hydrocéphalie), d'infections (ex : méningite) ou de tumeurs. Une fontanelle en dépression est souvent signe de déshydratation [36].

*Chez la fille, l'ETF a mis en évidence de multiples kystes au niveau du sillon thalamo-caudé ainsi qu'une ventriculomégalie. Ceci est dû à une hémorragie sous épendymaire type 1 en période néonatale qui est en voie de résorption et d'amélioration. L'hémorragie périventriculaire est la

plus fréquente des hémorragies parenchymateuses cérébrales. Son incidence est reliée directement au degré de prématurité. Le sang frais apparaît en premier lieu hyperéchogène puis après quelques semaines, les plages d'hémorragies se liquéfient pour prendre un aspect kystique [14].

Un système de classification de l'hémorragie périventriculaire est employé pour l'échographie cérébrale (tableau 6) [14].

Tableau 6: Système de cotation de l'hémorragie périventriculaire [14].

Grade 1	Hémorragie sous-épendymaire isolée
Grade 2	Rupture dans le ventricule, mais sans dilatation
Grade 3	Rupture dans le ventricule avec dilatation
Grade 4	Hémorragie intraventriculaire avec extension parenchymateuse

La dilatation ventriculaire post hémorragique nécessite un suivi fréquent [42]. Des ventricules latéraux mesurant moins de 8 mm sont considérés comme normaux. Lorsqu'ils dépassent 10mm, ils sont considérés comme dilatés.

L'examen Doppler n'est pas systématique mais fut utilisé dans ce cas pour évaluer la pression intracrânienne dans le cadre de la dilatation ventriculaire. Le Doppler couleur a permis la mise en évidence de l'artère péricalléuse, branche de l'artère cérébrale antérieure. L'IR calculé était d'une valeur de 0.6 (la norme étant entre 0.65 et 0.85). Nous avons conclu à l'absence de résistance au niveau du cercle de Willis [42,47].

*Chez le garçon, l'ETF a permis d'infirmier la présence d'une ventriculite. La présence de cette pathologie aurait été traduite par des parois de VL épais et hyperéchogènes avec/sans une hydrocéphalie [42].

L'asymétrie de la taille des ventricules retrouvée est considérée comme une variante de la normale. Cette asymétrie est très commune chez les prématurés et les bébés nés à terme avec une incidence de 20 à 40%. Le plus souvent, le VL gauche est plus large que le VL droit [47].

*Le dernier nourrisson présentait une ETF normale.

- **Chez les animaux**

En médecine vétérinaire, l'effet de la prématurité sur le système nerveux central n'a jamais été étudié et la relation de l'hypoxie et/ou les hémorragies intraventriculaires avec une hydrocéphalie n'ont pas encore été démontrés, faute de suivi minutieux de la gestation chez le

chien et le chat. Ceci dit, la prématurité et la dystocie retrouvés très souvent chez les chiens brachycéphales, pourraient être considérés comme ayant le même effet dans le développement de l'hydrocéphalie chez les animaux [51].

Concernant la fenêtre que représente la fontanelle bregmatique, une taille jugée « acceptable » chez les chiens n'est pas définie [16]. Cependant, dans l'étude de Spaulding et Sharp, 1990 [57], la fontanelle est classée comme étant de taille moyenne si elle mesure entre 5 et 7.5 mm. La chienne sélectionnée dans notre étude présentait une fontanelle persistante (de 0.7cm environ) qui constitue une particularité de certaines races de chiens.

Chez le chat, la race pourrait éventuellement influencer l'âge de la fermeture des fontanelles mais elles restent suffisamment larges pour l'ETF jusqu'à 4-5 jours. Dans l'étude de Jaderlund et *al.*, 2003, les VL ont pu être visualisés et mesurés jusqu'à l'âge de 5 mois [34].

Dans notre étude, aucune mesure des VL ne fut pratiquée chez les chats car cette structure n'était pas visible ; ceci est vraisemblablement lié aux réglages de l'échographe ainsi qu'une absence de dilatation ventriculaire. Néanmoins, les travaux de Jaderlund et *al.*, 2003 [34] nous renseignent sur la façon de s'y prendre. Les repères anatomiques étant différents, les mesures les plus fiables et reproductibles sont obtenues en mesurant la portion centrale du VL dans le plan para sagittal (angle de 5-10° de la ligne médiane) au niveau de la jonction de la selle turcique et de la fosse crâniale [34,44].

C. DISCUSSION DES PARTICULARITES DES ESPECES :

L'anatomie des cerveaux humain, félin et canin à l'ETF paraît à l'ETF assez différente. Néanmoins, les structures les plus importantes sont reconnues facilement car elles présentent des similitudes dans leur échogénicité.

Le crâne des nourrissons présente 6 fontanelles utilisées comme fenêtres acoustiques : la fontanelle antérieure (bregmatique) -la plus large-, la fontanelle postérieure, les deux fontanelles mastoïdes et les deux fontanelles sphénoïdes (figure 54) [36,42].

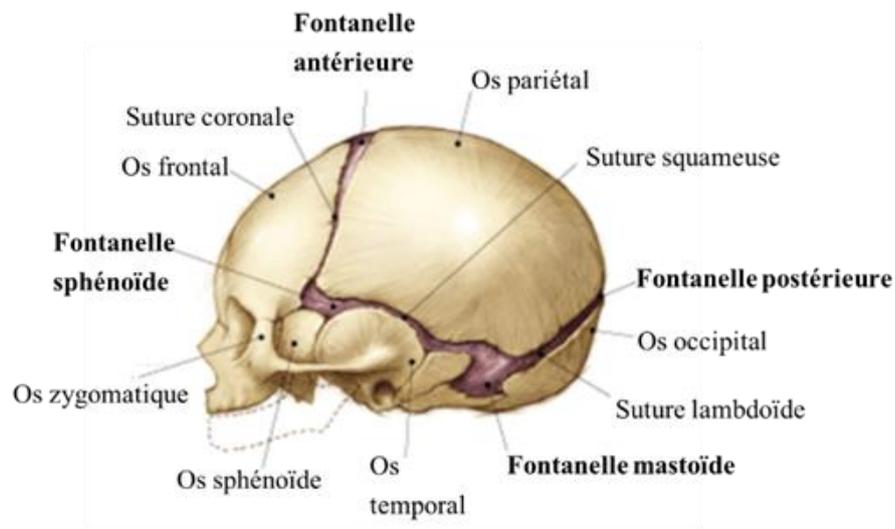


Figure 54 : Vue latérale gauche du crâne d'une nourrisson [42].

Toutes les espèces présentées partagent une particularité commune représentée par certains changements liés à la maturation qui sont observés à l'ETF. Chez les humains, la gyration commence avec la formation de la fissure Sylvienne aux alentours de la 14^{ème} semaine de grossesse et se complète aux alentours du terme. Cependant, chez les grands prématurés, le faible développement des circonvolutions cérébrales mime un aspect lissencéphalique et cette fissure est parfois la seule reconnaissable [42,47]. Chez les chiens et les chats, la gyration se complète après 2 semaines post partum, d'où l'aspect plus ou moins lisse du cerveau avant cet âge.

Chez les chiens, la fissure pseudosylvienne présente la même apparence et la même topographie que la fissure sylvienne chez les humains. Toutefois, elle n'est visible que chez les chiens adultes [33].

Le sillon cingulaire est appelé sillon splénial chez le chien [33].

Le sillon thalamo-caudé représente un point de repère important chez les humains. Chez le chat cette structure n'est pas visible dans les images échographiques (tout comme l'adhésion interthalamique) [34]. Chez les chiots, une région hyperéchogène considérée comme normale est retrouvée à ce niveau alors qu'elle indiquerait une hémorragie du noyau caudé ou des plexus choroïdes chez les humains [33].

Le système ventriculaire des humains diffère quelque peu de celui des animaux, anatomiquement parlant. Les ventricules latéraux des humains présentent une corne occipitale; celle-ci n'est pas retrouvée chez le chien qui présente des VL en forme de « C ». Chez les chats,

les VL présentent une partie centrale et une corne rostrale et occipitale. Une autre différence réside dans les ouvertures du quatrième ventricule ; celui-ci compte les foramens de Luschka et de Magendie chez les humains (les primates) contrairement aux chiens et aux chats qui ne possèdent pas de foramen de Magendie [25,33,34,38,44].

Une asymétrie des ventricules latéraux peut être une variante de la normale chez les humains et les chiens. Chez les chats, dans l'étude de Jaderlund et *al.*, 2003 [34], aucune asymétrie ne fut notée.

Les ventricules latéraux séparés par le cavum du septum pellucidum en avant et le cavum vergae en arrière sont une découverte fréquente chez les humains [14]. Chez les chiots, ces structures ne sont pas habituelles [33].

D. DISCUSSION DES LIMITES DE L'EXAMEN :

La première limite de l'examen constitue l'ouverture de la fontanelle. En effet, son absence rend cette fenêtre inaccessible et sa petite taille empêche la sonde d'examiner une grande portion du cerveau.

La qualité d'image peut être affectée par des cheveux/poils épais, une petite fontanelle et les artéfacts.

L'utilisation de l'ETF à travers la fontanelle bregmatique présente des zones aveugles « blind zones » représentant les contours latéraux (la convexité) du crâne, constituant en soi une limite de l'examen à laquelle on ne peut remédier.

Comme cité précédemment, la maîtrise de l'anatomie aussi bien que la maîtrise des réglages de l'échographie sont indispensables pour l'analyse et l'interprétation des images obtenues. D'autre part, l'expérience est requise afin de différencier un aspect normal d'un aspect pathologique, sachant que certains aspects semblant anormaux peuvent constituer une variante de la normale (ex : les ventricules latéraux asymétriques).

E. BILAN DE L'UTILISATION DE L'ETF :

L'ETF est un examen de routine en pédiatrie humaine. Les maladies pouvant être diagnostiquées grâce à cette technique sont nombreuses: les hémorragies (sous arachnoïdienne,

intraventriculaire, intra parenchymateuse), les lésions ischémiques (ex : leucomalacie périventriculaire), les lésions kystiques (ex : malformation de Dandy-Walker), les infections, l'hydrocéphalie, ..., [47]. Ceci fait d'elle la méthode de choix pour le premier bilan cérébral et le suivi chez le prématuré.

Chez les chiens et les chats, son utilisation a été abandonnée au profit d'autres méthodes de diagnostic [39]. Pourtant, son introduction en médecine vétérinaire comme pratique courante pourrait avoir les mêmes avantages qu'en médecine humaine, d'autant plus qu'en Algérie, la majorité des cliniques vétérinaires possèdent un échographe. La visualisation des structures les plus importantes avec une qualité d'image satisfaisante (même si la fontanelle est relativement petite), sa praticité et son coût abordable la rendent d'une grande utilité. La présence d'une fontanelle persistante chez certaines races de chien constitue un avantage supplémentaire à exploiter.

Dans la littérature, son indication première chez les chiens et les chats est l'hydrocéphalie. Certaines des pathologies diagnostiquées chez l'humain pourraient être explorées chez les animaux suggérant d'autres indications à l'utilisation de l'ETF pour un bénéfice mutuel.

CONCLUSION

L'échographie offre de nombreuses applications pour le diagnostic de pathologies ou lésions induites comme l'hydrocéphalie, kystes arachnoïdiens, néoplasies... Sa praticité d'usage et sa disponibilité lui confèrent notamment un avantage certain dans l'exploration du cerveau.

La fenêtre acoustique que représente la fontanelle bregmatique (ouverte jusqu'à 1 mois chez les chiens, jusqu'à 5 mois chez le chat et jusqu'à 13 mois chez les nourrissons) permet une bonne visualisation des structures principales du tissu cérébral d'une manière non invasive. Il est d'ailleurs intéressant de tirer avantage de la persistance de celle-ci chez certaines races de chiens.

En pédiatrie humaine, L'ETF est largement utilisée et constitue une méthode alternative à certains examens onéreux comme l'IRM ou la TDM. En médecine vétérinaire où les ressources sont plus ou moins limitées, cette technique peut être pratiquée chez les chiens et les chats à l'image de ce qui se fait en médecine humaine. Il est suggéré de la remettre à l'ordre du jour et de l'utiliser en première intention chez les animaux ayant une fontanelle et présentant des signes cliniques neurologiques anormaux.

Cette technique présente néanmoins des limites dues à la nécessité de maîtriser l'échographie et l'anatomie ou encore d'autres contraintes comme les zones d'ombre ou des fontanelles fermées. En l'absence de ces dernières, créer une autre fenêtre les mimant rendrait cette méthode invasive, bien que jugée dans certaines études sans danger. Cependant, l'orientation vers d'autres techniques de diagnostic serait préférable dans ce cas.

D'autres fenêtres acoustiques peuvent être utilisées pour visualiser le cerveau comme la fenêtre temporale, qui ne nous a pas spécialement fourni des images satisfaisantes, mais qui pourrait éventuellement nous renseigner sur un effet de masse. De plus, l'échographie à travers le foramen magnum s'avère être très intéressante pour la visualisation de la fosse caudale et le diagnostic du syndrome de type Chiari par exemple. Malheureusement, cette alternative n'a pas pu être testée dans notre étude à cause de la pandémie du Covid-19.

Si ce travail nous a permis d'enrichir nos connaissances relatives à la neurologie et à l'utilisation de l'échographie dans ce domaine, il n'en demeure pas moins que nous ressentons une certaine frustration de ne pas avoir pu mettre en pratique celles-ci de manière complète, n'ayant pu avoir accès à la plateforme expérimentale. Nous restons toutefois satisfaits des quelques cas discutés.

BIBLIOGRAPHIE :

- 1- Beitz A., Fletcher T., Evans H., 1993. Miller's anatomy of the dogs, 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders, P1113.
- 2- Besbaci M., Belabdi I., Abdelli A.. Echographie en médecine vétérinaire, principes physiques et application et reproduction. Polycopié ISVBlida.
- 3- Brisson A., 2017. Current techniques in canine and feline neurosurgery. Wiley Blackwell, pp 32-48.
- 4- Brown J., Rachlin J., Rubin J., Wollmann R., 1984. Ultrasound evaluation of experimental hydrocephalus in dogs. Surg. Neurol., 22, pp 273-6.
- 5- Burk R., Feeney D., 2003. Small animal radiology and ultrasonography. Saunders, pp 5-17.
- 6- Carreira M., 2015. Comparison between ultrasonography and computed tomography images for planning and neuronavigation in brain surgeries in dogs as an animal model. Glob. Anesth. Perioper. Med. Vol. 1(4), pp 109-113.
- 7- Cartee R., Hudson J., Finn-Bodner S., 1993. Ultrasonography. Veterinary clinics of north America: small animal practice, Vol. 23, No. 2, pp 345-377.
- 8- Carvalho C., Chammas M., Andrade Neto J., Jimenez C., Diniz S., Cerri G., 2010. Transcranial duplex doppler ultrasonography in dogs with hydrocéphalus. Arq. Bras. Med. Vet. Zootech., v.62, n.1, pp 54-63.
- 9- Chihuahua club of America. Molera statement. [www.chihuahuaclubofamerica.org] Consulté le 15/04/2020 à 19 :57.
- 10- Cintra T., Carvalho C., Canola J., Nepomuceno A., 2014. Transcranial sonography in healthy dogs technique standardization and anatomic description. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec, Vo.66, N. 1, pp 61-68.
- 11- Couturier J., Rault D., Cauzinille L., 2008. Chiari-like malformation and syringomyelia in normal Cavalier King Charles spaniels: a multiple diagnostic imaging approach. Journal of Small Animal Practice, 49, pp 438-443.

- 12- Curtis D., Da Costa R., 2015. *Practical guide to canine and feline neurology*, 3rd Ed. Wiley Blackwell, pp 154–156, 167.
- 13- Dangy L., 2012. *Etude comparative de l'utilisation de la tomodensitométrie et de l'imagerie par résonance magnétique dans le diagnostic des tumeurs intracrâniennes chez le chien et le chat*. thèse Toulouse.
- 14- De Bruyn R., 2007. *Echographie pédiatrique : indications, techniques et résultats*. Elsevier Masson, pp 227-251.
- 15- De Haan C., Kraft S., Gavin P., Wendling L., Griebnow M., 1994. Normal variation in size of the lateral ventricles of the Labrador Retriever dog as assessed by MRI. *Vet Radiol Ultrasound*, 35, pp 83-86.
- 16- De Lahunta A., 2008. *Development of the nervous system: malformation*. In: *Veterinary neuroanatomy and clinical neurology*, 3rd ed. Saunders elsevier, pp 48-59.
- 17- Deniset P., 2007. *Ponction du liquide cérébro-spinal et maladies inflammatoires du système nerveux central : étude rétrospective à l'ENVA de 1996 à 2005*. Thèse ENVA, p19.
- 18- Dennis R., Kirberger R., Barr F., Wrigley R., 2010. *Handbook of small radiology and ultrasound*, 2nd ed. Elsevier, pp 87,90.
- 19- Dyce K., Sack W., Wensing C., 2010. *Textbook of veterinary anatomy*, 4th ed. Saunders Elsevier, pp 291,293.
- 20- Dzyban L., Tidwell A., 1996. *Imaging diagnosis-Granulomatous Meningoencephalitis in a dog*. *Vet Radiol Ultrasound*, pp 428-430.
- 21- Enzmann D., Britt R., Lyons Bernard, Carroll B., Wilson D., Buxton J, 1982. High-resolution ultrasound evaluation of experimental brain abscess evolution: comparison with computed tomography and neuropathology. *Radiology*, 142, pp 95-102.
- 22- Fuhrer L., Fanuel-Barret D., Moissonier P., 2007. *Neurologie du chien et du chat*. Elsevier Masson, pp 11-32.
- 23- Fukushima U., Miyashita K., Okano S. et *al.*, 2000. Evaluation of intracranial pressure by transcranial doppler ultrasonography in dogs with intracranial hypertension. *J. Vet. Med. Sci.*, v.62, pp 353-355.

- 24- Fukushima U., Sasaki S., Okano S., Oyamada T., Yoshikawa T., Hagio M., Takase K., 2000. Non invasive diagnosis of ischemic brain damage after cardiopulmonary resuscitation in dogs by using transcranial doppler ultrasonography. *Vet. Radiol. And Ultrasound*. Vol.41, No. 2, pp 172-177.
- 25- Gonzalez-Soriano J., Marin Garcia P., Contreras-Rodriguez J., Martinez-Sainz P., Rodriguez-veiga E.,2001. Age-related changes in the ventricular system of the dog brain. *Ann Anat.*, 183, pp 283-291.
- 26- Hassan A., Torad A., El-Tookhy S., Shamaa A., 2015. Canine neonatal transcranial ultrasonography from birth till closure of bregmatic fontanelle. *Topics in Companion Animal Medicine*, pp 1-21.
- 27- Hofer M., Reihls T., 2001. *Manuel d'apprentissage de l'échographie*. Sauramps médical, pp 7-10.
- 28- Hoskins J., 2001. *Veterinary pediatrics: dogs and cats from birth to six months*, 3rd ed. Saunders, pp 20,431.
- 29- Hudson J., Buxton D., Cox N., Finn-Bodner S., Simpson S., Wright J., Wallace S., Mitro A.,1997. Color flow Doppler imaging and Doppler Spectral Analysis of the brain of the neonatal dogs. *Vet. Radiol. And Ultrasound*, Vol. 38, No. 4, pp 313-322.
- 30- Hudson J., Cartee R., Simpson S., Buxton D., 1989. Ultrasonographic anatomy of the canine brain. *Vet. Radiol.*, Vol. 30, No. 1, pp 13-21.
- 31- Hudson J., Finn-Bodner S., Steiss J., 1998. Neurosonography. *Veterinary clinics of north America: small animal practice* Vol. 28, pp 943-960 .
- 32- Hudson J., Simpson S., Buxton D., Cartee R., Steiss J., 1990. Ultrasonographic diagnosis of canine hydrocephalus. *Vet. Radiol*, Vol. 31, No. 2, pp 50-58.
- 33- Hudson J., Simpson S., Cox N., Buxton D., 1991. Ultrasonographic examination of the normal canine neonatal brain. *Vet. Radiol.*, Vol. 32, No. pp 2, 50-59.
- 34- Jaderlund K., Hansson K., Bero A., Stostrom A., Narfstrom K., 2003. Cerebral ventricular size in developing normal kittens measured by ultrasonography. *Vet Radiol and Us*, Vol. 44, No. 5, pp 581-588.

- 35- Kealy J., Mc Allister H., 2008. Radiographie et échographie du chien et du chat. Med'com, pp 8-19.
- 36- Kiesler J., Ricer R., 2003. The abnormal fontanel. American Family Physician, pp 2547-2552.
- 37- Lillehei O., Chandler W., Knake E., 1984. Real time ultrasound characteristics of the acute intracerebral hemorrhage as studied in the canine model. Neurosurgery, Vol. 14, No. 1, pp 48-51.
- 38- Lorenz M., Kornegay J., 2004. Handbook of veterinary neurology, 4th Ed. Saunders, pp 45-46.
- 39- Lorigados C., Pinto A., 2013. Comparaison between ultrasound images of the dog brain with and without calvaria and its correlation with real anatomy. Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci., Sao Paulo, v. 50, n.2, pp105-113.
- 40- Louvet A., Lazard P., Denis P., 2001. Diagnostic ultrasonore d'un kyste intra-arachnoïdien intracrânien chez un chihuahua. Revue Méd. Vét., 152, 12, pp 859-862.
- 41- Marin-Garcia P., Gonzalez-Soriano J., Martinez-Sainz P., Mayayo-Vincente S., Corral-Gros C., Rodriguez-Veiga E., 1994. Study of the ventricular system in the dog brain. Anatomia histologia embriologia, pp 75-76.
- 42- Meijler G., Steggerda S., 2019. Neonatal cranial ultrasonography, 3rd ed. Springer, pp 13-304.
- 43- Nouredine C., Harder R., Olby N., Spaulding K., Brown T., 2004. Ultrasonographic appearance of Dandy Walker-Like Syndrome in a Boston Terrier. Vet. Radiol. And Ultrasound, Vol. 45, No. 4, pp 336-339.
- 44- Penninck D., D'Anjou M., 2008. Atlas of small animal ultrasonography. Blackwell publishing, pp 1-58.
- 45- Penninck D., d'Anjou M., 2015. Atlas of small animal ultrasonography, 2nd ed. Wiley Blackwell, pp 1-18.
- 46- Platt S., Olby N., 2004. BSAVA manual of canine and feline neurology, 3rd ed. BSAVA, pp 78,121.

- 47- Poretti A., Huisman T., 2016. Neonatal head and spine ultrasonography. Springer, pp 19-20.
- 48- Prouheze D., 2006. Anatomie endoscopique des ventricules latéraux du chien : application au traitement de l'hydrocéphalie. Thèse ENVA, pp 10-14.
- 49- Saito M., Olby J., Spaulding K. et *al.*, 2003. Relationship among basilar artery resistance index, degree of ventriculomegaly, and clinical signes in hydrocephalic dogs. Vet. Radiol. Ultrasound, v.44, pp 687-694.
- 50- Saito M., Olby N., Spaulding K., 2001. Identification of arachnoid cysts in the quadrigeminal cistern using ultrasonography. Vet. Radio and US, Vol. 42, No. 5, pp435-439.
- 51- Schmidt M., Ondreka N., 2019. Hydrocéphalus in animals. Pediatric hydrocephalus, pp53-95.
- 52- Schmidt M., Wigger A., Jawinski S., Golla T., Kramer M., 2008. Ultrasonographic appearance of the craniocervical junction in normal brachycephalic dogs and dogs with caudal occipital (Chiari-like) marformation. Vet. Radiol. And ultrasound, Vol. 49, No. 5, pp 472-476.
- 53- Seo M., Choi H., Lee K. et *al.*, 2005. Transcranial Doppler ultrasound analysis of resistive index in rostral and caudal cerebral arteries in dogs. J. Vet. Sci., v.6, pp 61-66.
- 54- Shores A., Holland M., Hudson J. et *al.* Intraopérative ultrasound for intracranial surgery. Proceedings of American College of Veterinary Internal Medicine Forum 2012. Accessible sur [<http://www.vin.com/acvim/2012/Default.htm>]
- 55- Shroder H., Meyer-Lindenberg A., Nolt I., 2006. Comparative examination of the lateral cerebral ventricles of different dog breeds using quantitative computed tomography. Berl Munch Tierarztl Wochenschr, 199, pp 506-511.
- 56- Singh B., 2017. Dyce, Sack and Wensing's Textbook of veterinary anatomy, 5th Ed. Elsevier, pp 47,106,469-616.
- 57- Spaulding K., Sharp N., 1990. Ultrasonographic imaging of the lateral cerebral ventricles in the dog. Vet. Radiol, Vol. 31, No. 2, pp 59-64.

- 58- Su M., Head E., Brooks W., Wang Z., Muggenburg B., et al.,1998. MRI imaging of anatomic and vascular characteristics in a canine model of human aging. *Neurobiol Aging*, 19, pp 479-485.
- 59- Thomson C., Hahn C., 2012. *Veterinary neuroanatomy a clinical approach*. Sanders Elsevier, pp 13, 24- 31.
- 60- Vaden S., Knoll J., Smith F., Tilley Jr et P., 2009. *Blackwell's five-minute veterinary consult: laboratory test and diagnostic procedures canine and feline*. Blackwell publishing, pp 132-133.
- 61- Vite C., Insko E., Schotland H., Panckeri K., Hendricks J., 1997. Quantification of cerebral ventricular volume in English bulldogs. *Vet Radiol Ultrasound*, 38, pp 437-443.
- 62- Wolfson B., Mc Allister II J., Lovely T., Wright L., Miller D, Salotto A., 1989. Sonographic evaluation of experimental hydrocephalus in kittens. *American journal of neuroradiology*, pp 1065-1067.
- 63- Zhou Xuan, Chen Li, Feng Cong, Li Bei, Tang Jie, Liu Aijun, Lv Faquin, Li Tanshi, 2013. Establishing an animal model of intracerebral hemorrhage under the guidance of ultrasound. *Ultrasound in Med. And Biol.*, pp 1-7.