

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2022 - Thèse n° 089

**MORPHOMÉTRIE DU FÉMUR PROXIMAL : ÉTUDE TOMODENSITOMÉTRIQUE
À PARTIR DE 17 CAS**

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 7 novembre 2022
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

DUPLAND Marie

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2022 - Thèse n° 089

**MORPHOMÉTRIE DU FÉMUR PROXIMAL : ÉTUDE TOMODENSITOMÉTRIQUE
À PARTIR DE 17 CAS**

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 07 novembre 2022
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

DUPLAND Marie

Liste des enseignants du Campus vétérinaire de Lyon (26-01-2022)

Mme	ABITBOL	Marie	Professeur
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Mme	AYRAL	Florence	Maître de conférences
Mme	BECKER	Claire	Maître de conférences
Mme	BELLUCO	Sara	Maître de conférences
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	Professeur
M.	BERNY	Philippe	Professeur
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
M.	BRUTO	Maxime	Maître de conférences Stagiaire
M.	BRUYERE	Pierre	Maître de conférences
M.	BUFF	Samuel	Professeur
M.	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	Maître de conférences
M.	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
M.	CHABANNE	Luc	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
M.	CHAMEL	Gabriel	Maître de conférences
M.	CHETOT	Thomas	Maître de conférences Stagiaire
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Maître de conférences
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Mme	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Mme	ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences
M.	GALIA	Wessam	Maître de conférences
M.	GILLET	Benoit	AERC
Mme	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	Maître de conférences
Mme	HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
Mme	JOSSON-SCHRAMME	Anne	Chargé d'enseignement contractuel
M.	JUNOT	Stéphane	Professeur
M.	KODJO	Angeli	Professeur
Mme	KRAFFT	Emilie	Maître de conférences
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	Maître de conférences
Mme	LAMBERT	Véronique	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	Professeur
Mme	LEDOUX	Dorothée	Maître de conférences
M.	LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
Mme	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences
M.	LEGROS	Vincent	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	Professeur
M.	LURIER	Thibaut	Maître de conférences Stagiaire
M.	MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences Stagiaire
M.	MARCHAL	Thierry	Professeur
Mme	MOSCA	Marion	Maître de conférences
M.	MOUNIER	Luc	Professeur
Mme	PEROZ	Carole	Maître de conférences
M.	PIN	Didier	Professeur
Mme	PONCE	Frédérique	Professeur
Mme	PORTIER	Karine	Professeur
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	Maître de conférences
Mme	PROUILLAC	Caroline	Professeur
Mme	REMY	Denise	Professeur
Mme	RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
M.	ROGER	Thierry	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	Maître de conférences
M.	SCHRAMME	Michael	Professeur
Mme	SERGENTET	Delphine	Professeur
M.	TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
Mme	VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
M.	VIGUIER	Eric	Professeur
Mme	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	Chargé d'enseignement contractuel
M.	ZENNER	Lionel	Professeur

REMERCIEMENTS À DESTINATION DU JURY

À Madame la Professeure Claire VOLPE HAEGELEN

De l'université Claude Bernard Lyon 1 et de la Faculté de Médecine Lyon Est,
Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.
Tous mes hommages les plus respectueux.

À Monsieur le Docteur vétérinaire Thibaut CACHON

Maître de conférence à VetAgro Sup, Campus vétérinaire de Lyon, Service de chirurgie,
D'avoir accepté d'encadrer ce projet et pour son soutien dans sa réalisation.
Mes sincères remerciements.

À Monsieur le Docteur vétérinaire Benoît GILLET

Assistant d'enseignement et de recherche contractuel en Anatomie, à VetAgro Sup,
Campus vétérinaire de Lyon.
Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse.
Mes sincères remerciements.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	7
TABLE DES FIGURES.....	9
TABLE DES TABLEAUX.....	11
LISTE DES ABBRÉVIATIONS	13
INTRODUCTION.....	15
PREMIÈRE PARTIE : ÉTAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES EN ANATOMIE ET EN MORPHOMÉTRIE.....	17
I. RAPPELS ANATOMIQUES	18
A. ANATOMIE DESCRIPTIVE DU FÉMUR PROXIMAL	18
1) Anatomie externe	18
a. Présentation générale du fémur.....	18
b. Les reliefs articulaires	19
c. Les reliefs non articulaires	20
(a) Le grand trochanter.....	20
(b) La tubérosité glutéale.....	20
(c) Le petit trochanter	20
(d) La fosse trochantérique.....	20
2) Architecture interne.....	23
B. DÉFINITION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES MORPHOLOGIQUES	23
1) Paramètres mesurés	23
a. L'angle d'antéversion fémorale	23
b. L'angle cervico-céphalo-diaphysaire.....	24
c. Le diamètre de la tête du fémur	25
d. L'excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral.....	26
e. La largeur du col au niveau du site d'ostéotomie inter-trochantérique	26
f. Le rayon de courbure du cortex médial.....	27
2) Paramètre calculé : l'index d'évasement fémoral.....	28
II. LA MORPHOMÉTRIE FÉMORALE	30
A. DÉFINITION DE LA MORPHOMÉTRIE.....	30
B. DOMAINES D'APPLICATION DE LA MORPHOMÉTRIE.....	30
C. LES DIFFÉRENTES MÉTHODES UTILISÉES.....	31
1) Mesures directes.....	31
a. Mesures directes externes.....	31
b. Mesures directes en coupe anatomique	31
2) Mesures radiographiques	31
a. Mesures radiographiques in-vitro	31
b. Mesures radiographiques in-vivo	32
c. Les limites du système bi-dimensionnel	32
3) Mesures tomодensitométriques	32
a. Méthode.....	32
b. Avantage.....	33
DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE MORPHOMÉTRIQUE DU FÉMUR PROXIMAL CHEZ LE CHIEN	35
I. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	36
A. Matériel.....	36
1) Echantillon	36
2) Traitement des images.....	36
B. Méthode de mesures.....	37

1)	Paramètres mesurés	38
a.	L'angle d'antéversion fémoral	38
b.	L'angle cervico-céphalo-diaphysaire.....	39
c.	Le diamètre de la tête fémorale	40
d.	L'excentration de la tête fémorale	41
e.	La largeur du col au site d'ostéotomie.....	42
f.	Le rayon de courbure du cortex médial.....	43
2)	Paramètre calculé : l'index d'évasement fémoral.....	44
a.	En coupe frontale	44
b.	En coupe sagittale.....	45
C.	<i>Étude statistique</i>	46
II.	RÉSULTATS	47
A.	<i>Résultats par catégories de poids</i>	48
1)	Catégorie 0 – 10 kg	48
2)	Catégorie 10 – 20 kg	49
3)	Catégorie 20 -35 kg	50
4)	Catégorie 35 – 55 kg	51
5)	Catégorie 0 – 55 kg (tous les fémurs réunis).....	52
B.	<i>Résultats par paramètres</i>	53
1)	Angle d'antéversion fémoral.....	53
2)	Angle cervico-céphalo-diaphysaire	53
3)	Diamètre de la tête fémorale.....	54
4)	Excentration de la tête fémorale	54
5)	Largeur du col au site d'ostéotomie	55
6)	Rayon de courbure du cortex médial.....	55
7)	Index d'évasement fémoral en coupe frontale.....	56
8)	Index d'évasement fémoral en coupe sagittale	56
III.	DISCUSSION	57
A.	<i>INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS</i>	57
1)	Paramètres mesurés	57
a.	L'angle cervico-céphalo-diaphysaire.....	57
b.	L'angle d'antéversion fémoral	58
c.	Excentration de la tête du fémur par rapport à l'axe fémoral	60
d.	Diamètre de la tête.....	63
e.	Rayon de courbure	65
2)	Paramètre calculé : l'index d'évasement fémoral.....	66
B.	<i>CHOIX DU MATÉRIEL ET MÉTHODE</i>	70
1)	Matériel	70
2)	Méthode	71
	CONCLUSION	73
	BIBLIOGRAPHIE	75

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : FEMUR GAUCHE DE CHIEN EN VUE CRANIALE, D'APRES BARONE (5).....	19
FIGURE 2 : FACE CAUDALE DE LA PARTIE PROXIMALE DU FEMUR (7)	21
FIGURE 3 : FACE CRANIALE DE L'EPIPHYSE PROXIMALE DU FEMUR (7)	21
FIGURE 4 : FACE MEDIALE DE L'EPIPHYSE PROXIMALE DU FEMUR (7)	22
FIGURE 5 : FACE LATERALE DE L'EPIPHYSE PROXIMALE DU FEMUR (7)	22
FIGURE 6 : ANGLE D'ANTEVERSION FEMORAL. SOURCE : DUPLAND MARIE.....	24
FIGURE 7 : ANGLE CERVICO-CEPHALO-DIAPHYSAIRE. SOURCE : DUPLAND MARIE.....	25
FIGURE 8 : DIAMÈTRE DE LA TÊTE FÉMORALE. SOURCE : DUPLAND MARIE	25
FIGURE 9 : EXCENTRATION DE LA TETE FEMORALE. SOURCE : DUPLAND MARIE	26
FIGURE 10 : LARGEUR DU COL AU SITE D'OSTEOTOMIE INTER-TROCHANTERIENNE. SOURCE : DUPLAND MARIE	27
FIGURE 11 : RAYON DE COURBURE DU CORTEX MEDIAL. SOURCE : DUPLAND MARIE.....	28
FIGURE 12 : LARGEUR DU FUT FEMORAL ET CALCUL DU CFI, EN COUPE FRONTALE A GAUCHE ET SAGITTALE A DROITE. SOURCE : DUPLAND MARIE.....	29
FIGURE 13 : VUES MPR SUR HOROS PERMETTANT L'OBTENTION DE LA COUPE FRONTALE EN HAUT A GAUCHE, LA COUPE TRANSVERSALE EN BAS A GAUCHE ET LA COUPE SAGITTALE A DROITE. SOURCE : MARIE DUPLAND	37
FIGURE 14 : METHODE DE MESURE DE L'ANGLE D'ANTEVERSION FEMORAL, D'APRES AL AYIAN. SOURCE : DUPLAND MARIE	38
FIGURE 15 : METHODE DE MESURE THEORIQUE DE L'ANGLE CERVICO-CEPHALO-DIAPHYSAIRE (A GAUCHE) ET SON APPLICATION PRATIQUE (A DROITE). SOURCE : DUPLAND MARIE.....	39
FIGURE 16 : METHODE DE MESURE DU DIAMETRE DE LA TETE DU FEMUR. SOURCE : DUPLAND MARIE	40
FIGURE 17 : METHODE DE MESURE DE L'EXCENTRATION DE LA TETE DU FEMUR DE FACE. SOURCE : DUPLAND MARIE.....	41
FIGURE 18 : METHODE DE MESURE THEORIQUE DE LA LARGEUR DU COL AU SITE D'OSTEOTOMIE (A GAUCHE) ET SON APPLICATION PRATIQUE (A DROITE). SOURCE : DUPLAND MARIE.....	42
FIGURE 19 : METHODE DE MESURE DU RAYON DE COURBURE DU CORTEX MEDIAL. SOURCE : DUPLAND MARIE.....	43
FIGURE 20 : METHODE DE MESURE DE LA LARGEUR DU FUT FEMORAL AU NIVEAU DU PETIT TROCHANTER ET DE L'ISTHME EN COUPE FRONTALE EN VUE DU CALCUL DU CFI. SOURCE : DUPLAND MARIE.....	44
FIGURE 21 : METHODE DE MESURE DE LA LARGEUR DU FUT FEMORAL AU NIVEAU DU PETIT TROCHANTER ET DE L'ISTHME EN COUPE SAGITTALE EN VUE DU CALCUL DU CFI. SOURCE : DUPLAND MARIE	45
FIGURE 22 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE LE POIDS ET L'ANGLE CERVICO-CEPHALO-DIAPHYSAIRE	58
FIGURE 23 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE LE POIDS ET L'ANGLE D'ANTEVERSION FEMORAL.....	59
FIGURE 24 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE LE POIDS ET L'EXCENTRATION DE LA TETE FEMORALE.....	60
FIGURE 25 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE L'EXCENTRATION DE LA TETE FEMORALE ET L'ANGLE CERVICO-CEPHALO- DIAPHYSAIRE.....	61
FIGURE 26 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE L'EXCENTRATION DE LA TETE FEMORALE ET L'ANGLE D'ANTEVERSION FEMORAL	62
FIGURE 27 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE LE POIDS ET LE DIAMETRE DE LA TETE FEMORALE.....	64
FIGURE 28 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE LE POIDS ET LE RAYON DE COURBURE DU CORTEX MEDIAL	65
FIGURE 29 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE LE POIDS ET LE CANAL FLARE INDEX EN COUPE FRONTALE	66
FIGURE 30 : GRAPHIQUE DE CORRELATION LINEAIRE ENTRE LE POIDS ET LE CANAL FLARE INDEX EN COUPE SAGITTALE.....	67
FIGURE 31 : DISTRIBUTION DES VALEURS DU CANAL FLARE INDEX EN COUPE FRONTALE ET CLASSIFICATION CORRESPONDANTE	68
FIGURE 32 : DISTRIBUTION DES VALEURS DU CANAL FLARE INDEX EN COUPE SAGITTALE ET CLASSIFICATION CORRESPONDANTE.....	68

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU I : REPARTITION DES CHIENS DE L'ÉTUDE PARMI LES CATEGORIES DE POIDS.....	36
TABLEAU II : DONNEES STATISTIQUES DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES MESURES ET CALCULES SUR LES FEMURS APPARTENANT A LA CATEGORIE 0 - 10KG	48
TABLEAU III : DONNEES STATISTIQUES DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES MESURES ET CALCULES SUR LES FEMURS APPARTENANT A LA CATEGORIE 10 - 20KG	49
TABLEAU IV : DONNEES STATISTIQUES DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES MESURES ET CALCULES SUR LES FEMURS APPARTENANT A LA CATEGORIE 20 - 35KG	50
TABLEAU V : DONNEES STATISTIQUES DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES MESURES ET CALCULES SUR LES FEMURS APPARTENANT A LA CATEGORIE 35 – 55KG	51
TABLEAU VI : DONNEES STATISTIQUES DES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES MESURES ET CALCULES SUR LES 34 FEMURS DE L'ÉTUDE	52
TABLEAU VII : DONNEES STATISTIQUES DES MESURES DE L'ANGLE D'ANTEVERSION FEMORAL POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIEES.....	53
TABLEAU VIII : DONNEES STATISTIQUES DES MESURES DE L'ANGLE CERVICO-CEPHALO-DIAPHYSAIRE POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIEES.....	53
TABLEAU IX : DONNEES STATISTIQUES DES MESURES DU DIAMETRE DE LA TETE FEMORALE POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIEES.....	54
TABLEAU X : DONNEES STATISTIQUES DES MESURES DE L'EXCENTRATION DE LA TETE FEMORALE POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIEES.....	54
TABLEAU XI : DONNEES STATISTIQUES DE LA LARGEUR DU COL AU SITE D'OSTEOTOMIE POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIEES	55
TABLEAU XII : DONNEES STATISTIQUES DU RAYON DE COURBURE DU CORTEX MEDIAL POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIES.....	55
TABLEAU XIII : DONNEES STATISTIQUES DE L'INDEX D'EVASEMENT FEMORAL (CFI) EN COUPE FRONTALE POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIES	56
TABLEAU XIV : DONNEES STATISTIQUES DE L'INDEX D'EVASEMENT FEMORAL (CFI) EN COUPE SAGITTALE POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES DE POIDS ETUDIES	56
TABLEAU XV : COMPARAISON DES RESULTATS DE L'ANGLE CERVICO-CEPHALO-DIAPHYSAIRE CHEZ LE CHIEN DANS LA LITTERATURE ET DANS NOTRE ÉTUDE.....	57
TABLEAU XVI : COMPARAISON DES RESULTATS DE L'ANGLE D'ANTEVERSION FEMORAL CHEZ LE CHIEN DANS LA LITTERATURE ET DANS NOTRE ÉTUDE.....	59
TABLEAU XVII : COMPARAISON DES RESULTATS DE L'EXCENTRATION DE LA TETE FEMORALE CHEZ LE CHIEN DANS LA LITTERATURE ET DANS NOTRE ÉTUDE.....	60
TABLEAU XVIII : COMPARAISON DES RESULTATS DU DIAMETRE DE LA TETE FEMORALE CHEZ LE CHIEN DANS LA LITTERATURE ET DANS NOTRE ÉTUDE.....	63
TABLEAU XIX : COMPARAISON DES RESULTATS DU CANAL FLARE INDEX DE FACE (COUPE FRONTALE) CHEZ LE CHIEN DANS LA LITTERATURE ET DANS NOTRE ÉTUDE	66

LISTE DES ABBRÉVIATIONS

3D Trois dimensions

CFI Canal Flare Index

INTRODUCTION

La conception de prothèse totale de hanche en médecine vétérinaire est en plein essor, et bien que le modèle canin soit utilisé depuis de nombreuses années, bon nombre des améliorations dont nous bénéficions proviennent d'une extrapolation de la médecine humaine et non pas d'études spécifiques à l'espèce canine (1).

D'après le rapport de la Société Centrale Canine de 2021, la dysplasie coxo-fémorale est l'affection orthopédique à composante héréditaire qui touche le plus grand nombre de races en France. Ainsi, depuis 2011, le nombre de chiens dépistés et le nombre de chiens atteints sont en constante augmentation (1100 cas en 2011 contre 1500 cas en 2020). Sa détection tout comme sa prise en charge nécessitent des connaissances précises de l'anatomie de l'articulation coxo-fémorale et de divers paramètres morphologiques (angle cervico-céphalo-diaphysaire par exemple). En effet, le traitement de choix lorsque le traitement médical est insuffisant est le traitement chirurgical, impliquant la pose d'une prothèse totale de hanche. Afin que la prothèse soit la plus adaptée au chien, une connaissance parfaite de la morphométrie fémorale canine est nécessaire. Ainsi, seules une compréhension et une connaissance parfaite de l'anatomie de la hanche et une bonne planification préopératoire permettront d'assurer une reprise fonctionnelle totale et rapide après la pose d'une prothèse totale de hanche (2). Il est donc intéressant d'établir une base de données mesurées par tomodensitométrie, afin d'avoir des valeurs de référence pour différents paramètres utilisés dans la conception de prothèse de hanche.

L'enjeu de cette étude est donc de compléter les connaissances actuelles sur l'anatomie et la morphométrie fémorale proximale en établissant des valeurs de référence, à partir d'images tomodensitométriques, par catégorie de poids et pour différents paramètres morphométriques préalablement choisis, afin d'en apprécier la variabilité (inter-individuelle, pondérale) et l'importance dans la conception d'implants.

PREMIÈRE PARTIE : ÉTAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES EN ANATOMIE ET EN MORPHOMÉTRIE

I. RAPPELS ANATOMIQUES

A. ANATOMIE DESCRIPTIVE DU FÉMUR PROXIMAL

1) *Anatomie externe*

a. Présentation générale du fémur

Le fémur est un os long et pair. Il possède deux extrémités : l'épiphyse proximale et l'épiphyse distale, et un corps : la diaphyse (fig 1). Il est recouvert par le périoste, une membrane fibreuse très fine, richement vascularisée et innervée (3). Le périoste recouvre l'os, excepté au niveau des zones d'insertion musculaire et des surfaces articulaires, ces dernières étant recouvertes de cartilage articulaire.

Le fémur proximal s'articule avec l'os coxal pour former l'articulation coxo-fémorale ou articulation de la hanche, tandis que le fémur distal s'articule avec le tibia et la fibula pour former l'articulation du genou ou du grasset (4).

La patella est un os sésamoïde volumineux, de forme ovale et épais chez le chien, qui se trouve dans le tendon du muscle quadriceps fémoral. C'est un os « annexe » du fémur, avec lequel il s'articule. La patella, ou plus communément appelé rotule, est impliquée dans l'extension du genou (rôle de bras de levier) (5).

Chez le chien, les angles entre les différents rayons osseux du membre pelvien sont respectivement de 110° en moyenne pour l'angle coxo-fémoral et de 140° en moyenne pour l'angle tibio-fémoral (5).

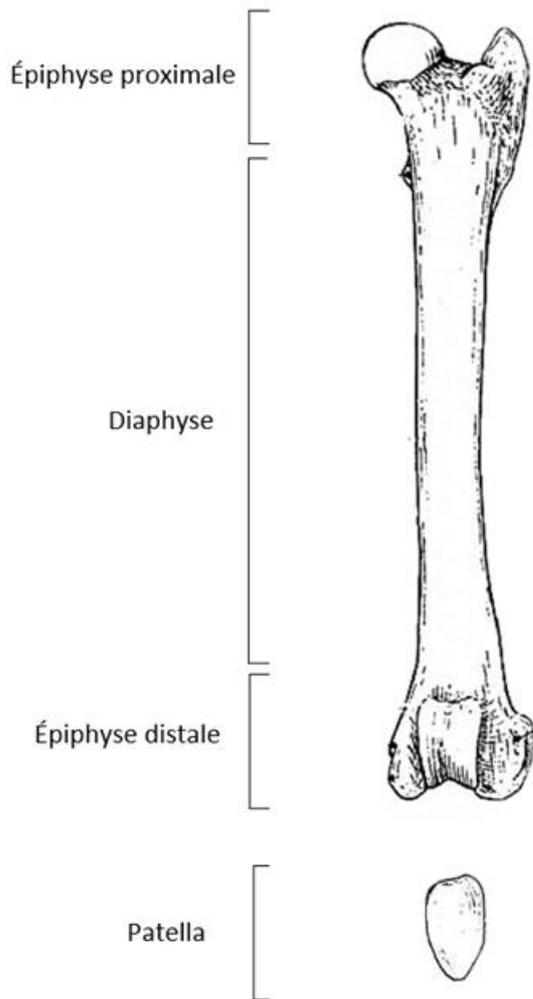


Figure 1 : Fémur gauche de chien en vue crâniale, d'après Barone (5)

b. Les reliefs articulaires

L'épiphyse proximale est représentée par la tête du fémur, un relief articulaire sphéroïde qui épouse la forme de l'acétabulum de l'os coxal pour former l'articulation coxo-fémorale. Elle est creusée par une fosse, la *fovea capitis* (ou fossette de la tête), qui est la zone d'insertion du ligament rond (ou ligament de la tête fémorale) qui relie la tête du fémur à la fosse acétabulaire (6).

Cette tête fémorale est portée par un col, le col du fémur, un relief aplati crânio-caudalement et reliant la tête du fémur au grand trochanter par une crête osseuse. Il est marqué chez les carnivores domestiques (7).

c. Les reliefs non articulaires

(a) Le grand trochanter

Sur la face latérale on trouve le grand trochanter, la plus grande tubérosité du fémur et lieu d'insertion des muscles fessiers moyen et profond et du muscle piriforme (6) (fig. 2). C'est sous ce grand trochanter, sur la face caudale, que se trouve la surface âpre, zone d'insertion du muscle adducteur de la cuisse. C'est également ici qu'on trouve le foramen nourricier principal où pénètre l'artère nourricière principale du fémur (4) (fig. 3). Le grand trochanter est donc impliqué dans l'extension de la hanche.

(b) La tubérosité glutéale

Encore plus bas, toujours sur la face latérale, se trouve le troisième trochanter ou tubérosité glutéale, sur laquelle s'insère le muscle fessier superficiel (8) (fig. 5).

(c) Le petit trochanter

Ventralement à la tête du fémur, dans la région caudo-médiale, se trouve le petit trochanter, une pointe assez saillante chez les carnivores domestiques, où s'insère le tendon du muscle iliopsoas (6) (fig. 4). Le petit trochanter est donc impliqué dans la flexion de la hanche.

(d) La fosse trochantérique

La fosse trochantérique est située sur la face caudale du fémur, entre le grand trochanter et la tête du fémur (fig. 3). C'est au niveau de cette fosse que s'insèrent les muscles pelviens profonds (m. obturateur interne, les muscles jumeaux du bassin, m. obturateur externe) (6). Ces muscles jouent un rôle très important dans la stabilité de l'articulation coxo-fémorale : ils forment comme un manchon autour de l'articulation, renforçant et tonifiant ainsi l'articulation. Ils sont également importants pour la proprioception (réajustements

posturaux). Cette fosse trochantérique est bordée distalement par la crête intertrochantérique, reliant le petit trochanter au grand trochanter. Elle est incomplète chez le chien (5).

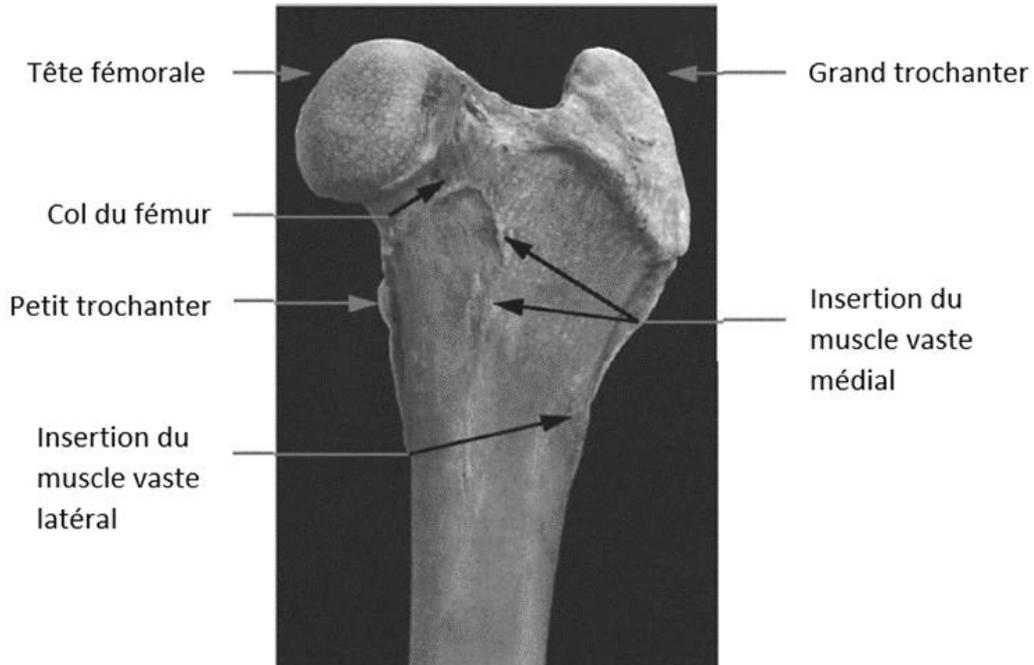


Figure 3 : Face crâniale de l'épiphyse proximale du fémur (7)

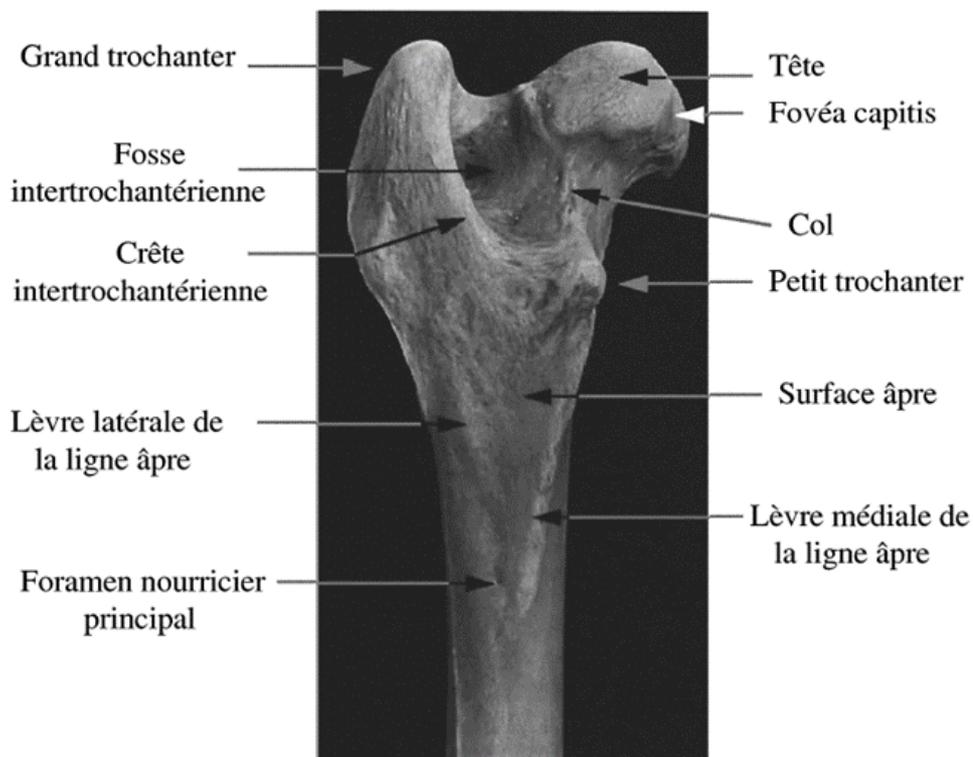


Figure 2 : Face caudale de la partie proximale du fémur (7)

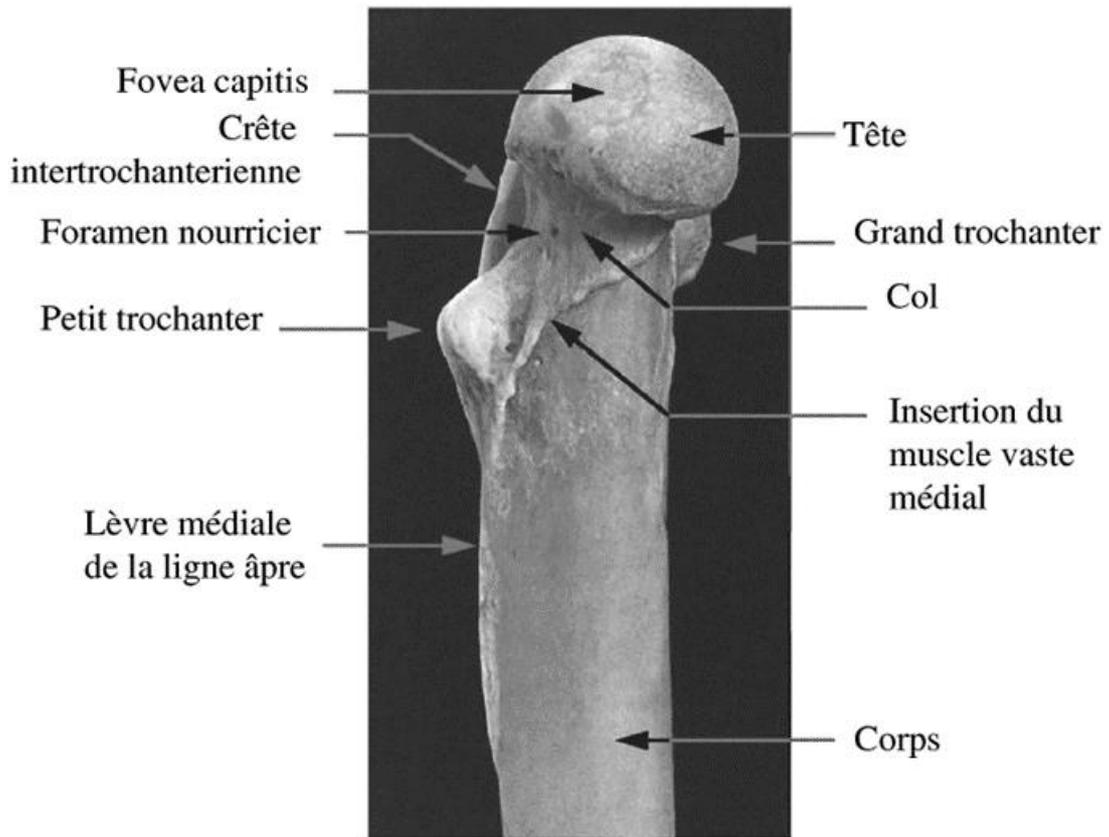


Figure 4 : Face médiale de l'épiphyse proximale du fémur (7)

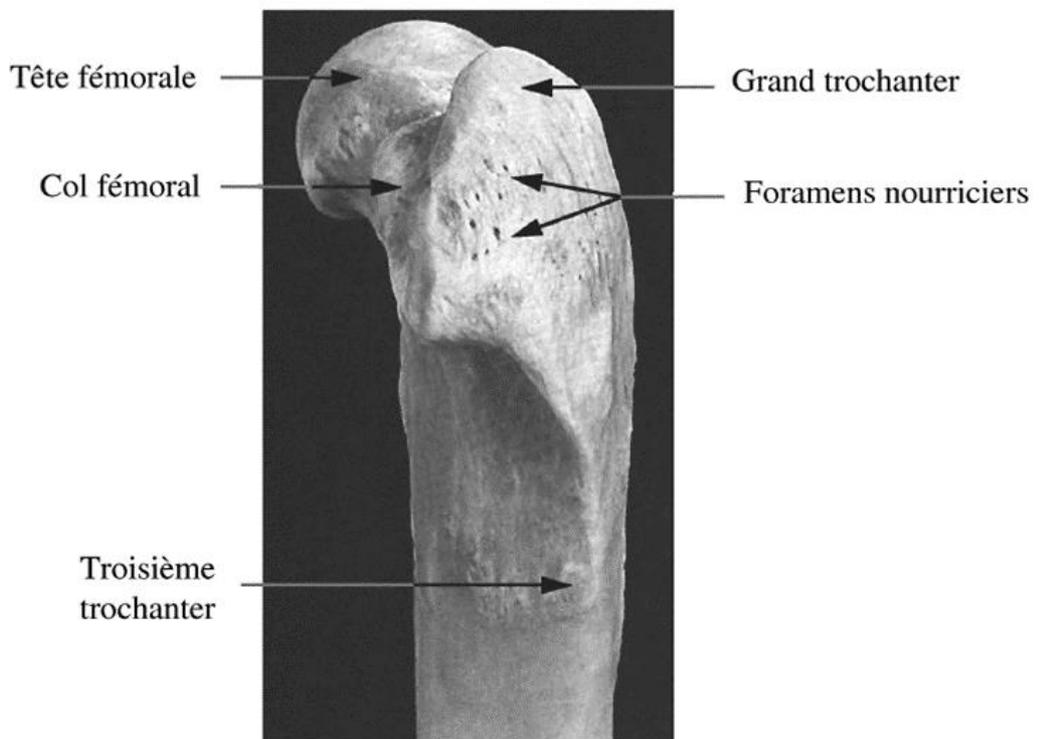


Figure 5 : Face latérale de l'épiphyse proximale du fémur (7)

2) *Architecture interne*

Le fémur est constitué de deux tissus osseux différents : l'os compact et l'os spongieux. Le centre de la diaphyse est représenté par la cavité médullaire, qui contient la moelle osseuse rouge et des vaisseaux sanguins (1).

L'os compact est constitué de lamelles osseuses concentriques, organisées autour de canaux communiquant les uns avec les autres. Il confère à l'os sa résistance mécanique. (8)

L'os spongieux est constitué de lamelles osseuses organisées en travées, dans lesquelles se trouve une partie de la moelle osseuse. L'os spongieux est localisé surtout au niveau des extrémités et a un rôle d'amortisseur. (8)

B. DÉFINITION DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES MORPHOLOGIQUES

Certains paramètres sont particulièrement pertinents quant à l'élaboration d'un modèle de prothèse de hanche et méritent donc d'être étudiés.

1) *Paramètres mesurés*

a. L'angle d'antéversion fémorale

L'angle d'antéversion fémoral est défini par l'intersection du plan contenant l'axe du fût fémoral et parallèle à l'axe trans-condyloïde, et le plan passant par l'axe du fût fémoral et du col du fémur (9) (fig. 6). Cet angle donne une information sur l'orientation de l'extrémité proximale du fémur, et en particulier sur la torsion de l'ensemble tête-col par rapport à l'axe du fémur. Il informe également sur l'état de l'articulation de la hanche et sur le transfert des forces et des pressions du fémur à l'acétabulum (9).

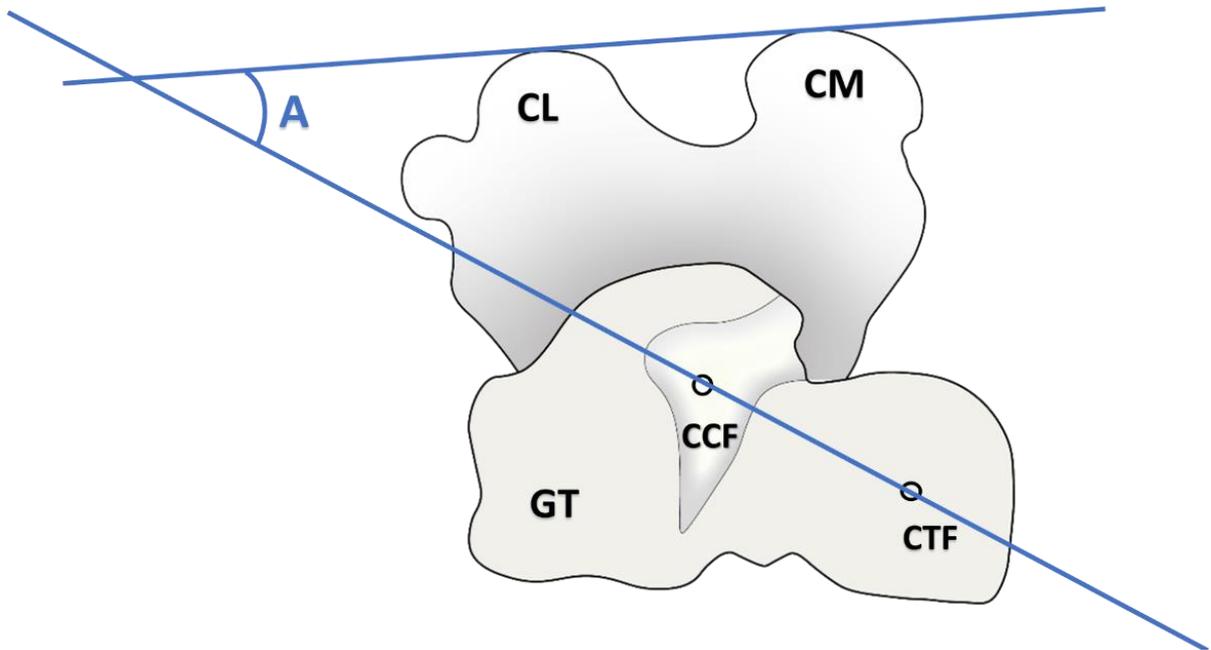


Figure 6 : Angle d'antéversion fémoral. Source : Dupland Marie

CL : Condyle latéral ; **CM** : Condyle Médial ; **GT** : Grand trochanter ; **CCF** : Centre du col du fémur ; **CTF** : Centre de la tête du fémur

b. L'angle cervico-céphalo-diaphysaire

L'angle cervico-céphalo-diaphysaire correspond à l'angle formé par l'intersection de l'axe du fût fémoral et l'axe du col du fémur (fig.7). Ce paramètre est primordial dans la compréhension et l'appréhension de la biomécanique de l'articulation coxo-fémorale (10).

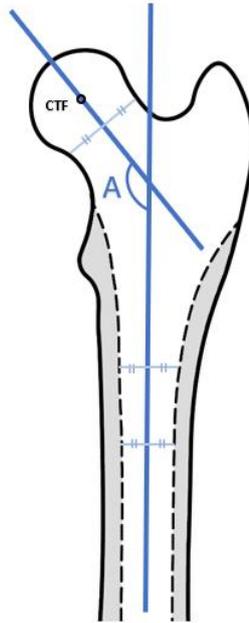


Figure 7 : Angle cervico-céphalo-diaphysaire. Source : Dupland Marie

c. Le diamètre de la tête du fémur

Il s'agit du diamètre de la tête fémorale, mesuré sur la coupe frontale (fig. 8). C'est un paramètre primordial pour la bonne congruence de la prothèse de hanche avec l'os coxal.

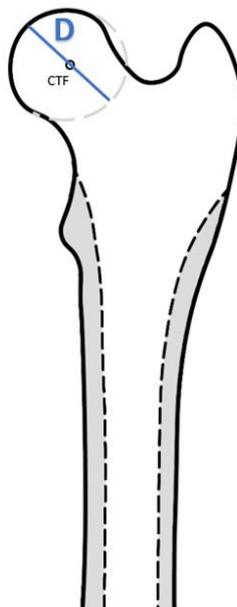


Figure 8 : Diamètre de la tête fémorale. Source : Dupland Marie

CTF : Centre de la tête du fémur ; D : Diamètre de la tête

d. L'excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral

L'excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral correspond à la longueur entre l'axe du fut fémoral et le centre de la tête du fémur (fig. 9).

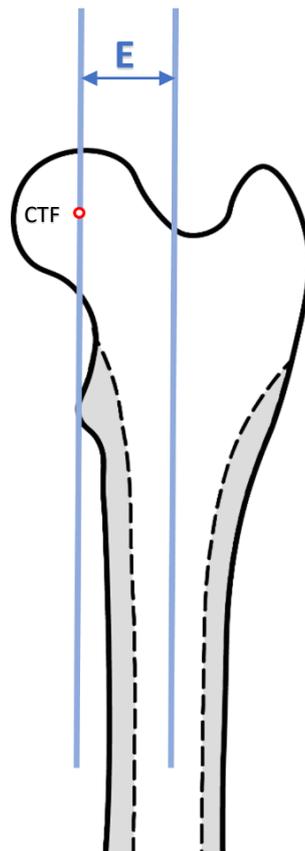


Figure 9 : Excentration de la tête fémorale. Source : Dupland Marie

CTF : Centre de la tête du fémur ; **E :** Excentration de la tête fémorale

e. La largeur du col au niveau du site d'ostéotomie intertrochantérienne

Il s'agit de la largeur du col au niveau de la droite passant par la ligne intertrochantérique et perpendiculaire à l'axe du col (11), elle est donc orientée de 45° par rapport au plan horizontal (fig. 10).

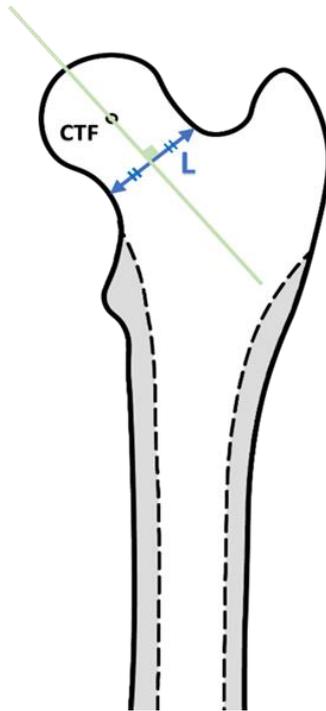


Figure 10 : Largeur du col au site d'ostéotomie inter-trochantérienne.
 Source : Dupland Marie

CTF : Centre de la tête du fémur ; L : largeur du col

f. Le rayon de courbure du cortex médial

Le rayon de courbure du cortex médial correspond au rayon du cercle dont la forme épouse le mieux le cortex médial du fémur (12) (fig. 11). Il informe donc sur la courbure médiale du col du fémur.

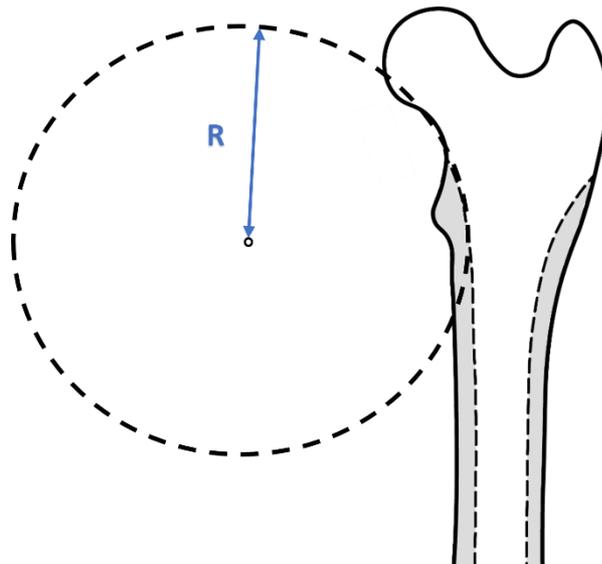


Figure 11 : Rayon de courbure du cortex médial. Source : Dupland Marie

2) Paramètre calculé : l'index d'évasement fémoral

L'index d'évasement fémoral ou Canal Flare Index (CFI) est un paramètre calculé par le rapport entre la largeur du fût fémoral au niveau du petit trochanter et la largeur du fut fémoral au niveau de l'isthme (fig. 12). Il représente l'évasement du canal médullaire proximal et informe donc sur la morphologie proximale interne du fémur. Le calcul de cet index a donc nécessité de mesurer au préalable la largeur du fût fémoral en ces différents points. Afin d'avoir une meilleure description en trois dimensions de la morphologie interne du fémur proximal et en particulier de son évasement, l'index d'évasement fémoral a été calculé dans le plan sagittal et dans le plan frontal.

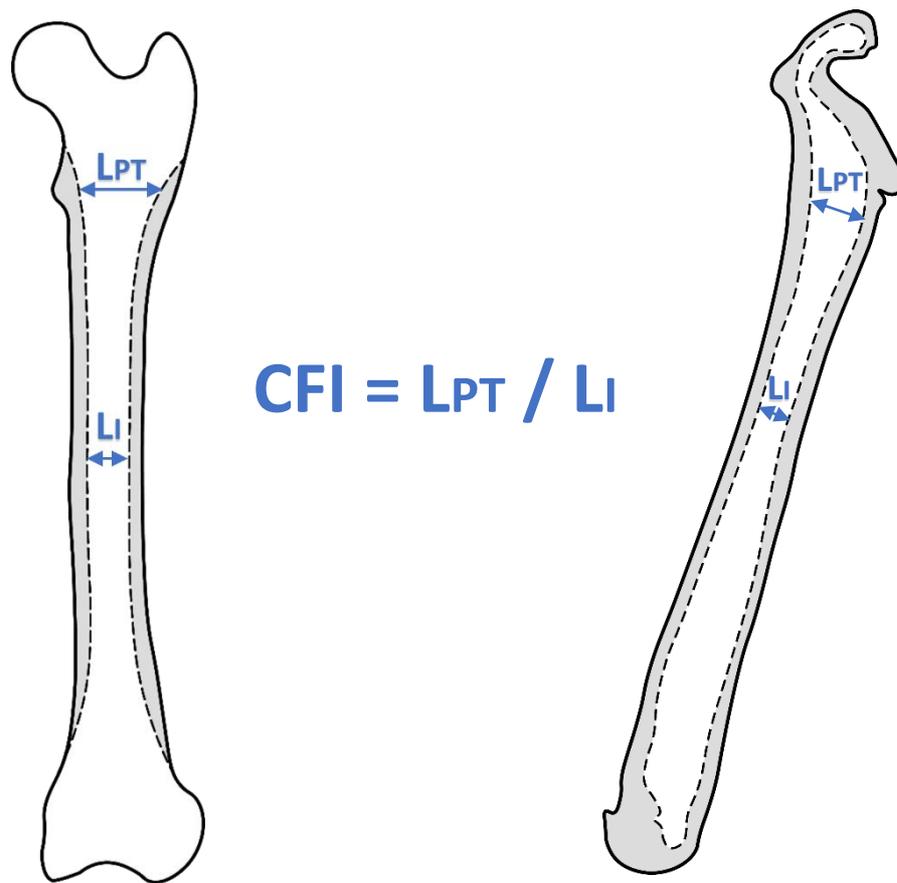


Figure 12 : Largeur du fût fémoral et calcul du CFI, en coupe frontale à gauche et sagittale à droite. Source : Dupland Marie

CFI : Canal Flare Index (index d'évasement fémoral) ; **LPT** : Largeur du fût fémoral au niveau du petit trochanter ; **Li** : Largeur du fût fémoral au niveau de l'isthme

II. LA MORPHOMÉTRIE FÉMORALE

A. DÉFINITION DE LA MORPHOMÉTRIE

La morphométrie est une discipline où l'on mesure des formes (« morpho » signifie forme en grec et « métrie » la mesure) (13).

Dans le cadre de cette étude, on parle de morphométrie osseuse, c'est-à-dire la mesure et l'analyse de divers paramètres présents sur un os (longueur, angle etc.), permettant ainsi d'en préciser son anatomie structurale. Ici c'est le fémur proximal qui a été étudié.

B. DOMAINES D'APPLICATION DE LA MORPHOMÉTRIE

La morphométrie est une discipline très utilisée en archéologie car elle permet d'étudier les variations de taille et de forme des os au fil de l'évolution des populations. Elle est alors la source de précieuses informations pour la classification et la compréhension de l'évolution des populations.

Mais l'ostéo-archéologie n'est pas la seule discipline faisant appel à la morphométrie osseuse. En effet, elle est aussi fréquemment utilisée en recherche fondamentale, afin de préciser les connaissances actuelles sur l'anatomie osseuse, mais également en recherche clinique, afin d'améliorer les techniques de réparation de fracture ou le diagnostic de dysplasie de la hanche par exemple. L'espèce humaine a particulièrement été étudiée, mais les restrictions concernant les expérimentations sur l'homme ont poussé les chercheurs à s'intéresser au modèle animal comme alternative (1). Le modèle canin s'est alors avéré être le modèle le plus adapté pour tout ce qui concerne l'orthopédie, ce qui en fait donc un modèle de choix (1). Ainsi, de nombreuses études sur la morphométrie canine ont été réalisées en vue de son application pour la médecine humaine. Mais depuis quelques années, avec le développement de la médecine vétérinaire, de nouvelles études sont réalisées afin de s'intéresser au modèle canin en vue de son application pour le chien.

C. LES DIFFÉRENTES MÉTHODES UTILISÉES

1) *Mesures directes*

a. Mesures directes externes

Cette méthode consiste à effectuer les mesures directement sur des pièces anatomiques, prélevées sur des cadavres. Elle permet donc de mesurer uniquement des paramètres morphologiques extra-corticaux. Cette méthode de mesure a notamment été utilisée par KUO et al. dans leur étude comparative sur la morphologie fémorale entre l'homme, le chimpanzé et le chien de race greyhound (14).

b. Mesures directes en coupe anatomique

Cette méthode, complémentaire de la précédente, permet grâce à la réalisation de coupes anatomiques de mesurer les paramètres morphologiques internes de l'os, comme le diamètre du canal médullaire par exemple.

Une fois les coupes réalisées, il convient soit d'effectuer les mesures directement sur les pièces anatomiques ainsi obtenues, soit de numériser ces coupes (par radiographie notamment), puis de les analyser informatiquement.

2) *Mesures radiographiques*

a. Mesures radiographiques in-vitro

Cette méthode de mesure consiste à radiographier des pièces anatomiques isolées depuis des cadavres. Elle a l'avantage de permettre le parfait positionnement des os avant la prise du cliché. Généralement, une vue crânio-caudale et médio-latérale sont réalisées, auxquelles s'ajoutent parfois d'autres vues plus spécifiques, selon les paramètres à mesurer (15). Cette méthode est communément utilisée en morphométrie osseuse.

b. Mesures radiographiques in-vivo

La radiographie in-vivo consiste à prendre des clichés directement sur l'animal vivant. Cette méthode, utilisée en recherche fondamentale et expérimentale présente l'avantage d'être très fidèle aux conditions réelles de terrain, ce qui permet son utilisation quotidienne au sein des cliniques. Elle est par exemple très largement utilisée pour le diagnostic des affections de la hanche (dysplasie notamment).

c. Les limites du système bi-dimensionnel

La radiographie in-vitro offre l'avantage de pouvoir disposer les fémurs d'une manière parfaitement définie et reproductible d'un cliché à l'autre. Il est donc assez facile de s'affranchir des variations de positionnement du fémur d'un os à l'autre lors de la prise de la radiographie. En revanche, la radiographie in-vivo ne permet pas la prise de clichés radiographiques rigoureusement reproductibles d'un individu à l'autre (difficulté de positionnement, mouvement de l'individu, contractions musculaires...). Or, dans son étude, Rubin a démontré qu'une rotation fémorale, même légère, lors de la prise de la radiographie peut entraîner des variations parfois importantes des paramètres linéaires et angulaires mesurés (16). Dans une autre étude également menée par Rubin (17), ils ont analysé in vitro la précision des mesures réalisées sur 32 fémurs, en comparant les valeurs obtenues par radiographie ou par tomодensitométrie et en les comparant aux vraies dimensions anatomiques. Il en est ressorti que la radiographie ne permet qu'une approximation grossière de la géométrie fémorale (différence moyenne : 2,4 +/- 1,4mm), ce qui est trop imprécis pour permettre la conception de prothèse de hanche (17).

3) *Mesures tomодensitométriques*

a. Méthode

Cette méthode peut être utilisée de deux manières différentes : soit par la réalisation de plusieurs coupes transversales à des localisations ciblées de l'os, ce qui permet d'effectuer des mesures sur la structure interne de l'os et au niveau de zones ciblées (largeur du fût

fémoral au niveau du petit trochanter par exemple), soit par une reconstruction en trois dimension (3D) totale de l'os, ce qui permet d'en étudier les structures internes et externes à n'importe quel endroit (1).

b. Avantage

La tomodynamométrie, par rapport à la radiographie, présente le net avantage de pouvoir travailler en trois dimensions (reconstruction 3D de l'os entier) et permet de s'affranchir des imprécisions liées au positionnement. Or comme expliqué ci-dessus, selon les paramètres mesurés, l'impact de ces imprécisions peut être important. La valeur de l'angle d'antéversion fémorale est par exemple fortement influencée par la méthode de mesure : il existe une différence moyenne de 8,6 degrés entre la méthode en deux dimensions et la méthode en trois dimensions (17).

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE MORPHOMÉTRIQUE DU FÉMUR PROXIMAL CHEZ LE CHIEN

L'essor que rencontre la chirurgie vétérinaire depuis plusieurs années a permis l'élaboration et la pose de prothèse totale de hanche chez le chien. L'élaboration de tels implants a nécessité des connaissances précises sur la morphométrie fémorale canine. Cependant, bien que des bases de données existent déjà pour certains paramètres, d'autres, comme le rayon de courbure médial, n'ont pas été étudiés. De plus, peu de données sont disponibles sur les différences observées en fonction du poids de l'animal. Or, ces variations pondérales peuvent être importantes à considérer lors de la conception d'une tige de prothèse de hanche. De même, une grande majorité des données mises à notre disposition sont basées sur des études radiographiques, or la tomодensitométrie a démontré qu'elle permettait une meilleure précision de mesure, au moins pour certains paramètres, il est donc intéressant d'établir de nouvelles données basées sur des mesures tomодensitométriques et non plus radiographiques (18). C'est pourquoi nous proposons dans cette étude de mesurer l'ensemble des paramètres répertoriés ci-dessus pour quatre catégories de poids différentes, afin d'en apprécier les éventuelles variations pondérales et de mettre à disposition une première base de données pour le rayon de courbure de cortex médial, et de compléter les bases de données existantes pour les autres paramètres.

I. MATÉRIEL ET MÉTHODE

A. Matériel

1) *Echantillon*

La base de données mise à notre disposition était constituée de 17 scanners de chiens. Pour chaque animal, seuls leur poids était connu. Nous n'avions donc aucune information sur leur âge, leur sexe ou encore leur race. L'ensemble des chiens de l'étude ont été séparés selon les catégories de poids suivantes :

Tableau I : Répartition des chiens de l'étude parmi les catégories de poids

0 – 10 kg	5 chiens
10 – 20 kg	4 chiens
20 – 35 kg	6 chiens
35 – 55 kg	2 chiens

Notons que pour chaque chien, les deux fémurs ont été étudiés, ce qui double donc le nombre de fémurs étudiés pour chaque catégorie (exemple : cinq chiens pour la catégorie 0 – 10kg, mais 10 fémurs au total).

Cette répartition par catégorie de poids avait pour but d'étudier l'existence ou non d'une corrélation linéaire entre le poids de l'animal et les mesures obtenues pour chaque paramètre.

2) *Traitement des images*

Les mesures ont donc été réalisées à partir d'images tomodensitométriques du bassin et des membres postérieurs.

Nous avons utilisé le logiciel HOROS (sur Mac iOs, version 3.3.0) pour traiter et analyser les images scanner. Pour chacun des paramètres, 3 mesures ont été réalisées successivement et par le même opérateur. Elles ont été réalisées grâce aux outils de mesure du logiciel Horos.

Enfin, le stockage, le traitement et l'analyse des données mesurées ont été réalisés à l'aide d'un tableur Microsoft Excel.

B. Méthode de mesures

Pour chaque animal, les images ont donc été importées dans Horos, et la vue MPR a été utilisée, permettant la réalisation de coupes dans les trois dimensions de l'espace (fig. 13). L'objectif est d'avoir une coupe frontale et sagittale du fémur. Pour cela on cherche à obtenir une coupe transversale sur une des vues afin d'avoir une vue axiale du fémur. On fait alors défiler les images jusqu'à voir apparaître le petit trochanter. On place ensuite les axes frontaux et sagittaux dans l'axe du fût fémoral. L'axe correspondant à la vue axiale permet de repérer la position du petit trochanter sur les vues sagittales et frontales. Cette technique a été utilisée pour la mesure du diamètre de la tête fémorale, de l'excentration de la tête fémorale, du rayon de courbure du cortex médial et enfin de la largeur du fût fémoral (permettant ensuite le calcul du Canal Flare Index).

Pour l'angle d'antéversion fémoral, l'angle cervico-céphalo-diaphysaire et la largeur du col, c'est la fonctionnalité permettant la reconstruction 3D de l'os qui a été utilisée, permettant ainsi d'avoir accès aux reliefs.

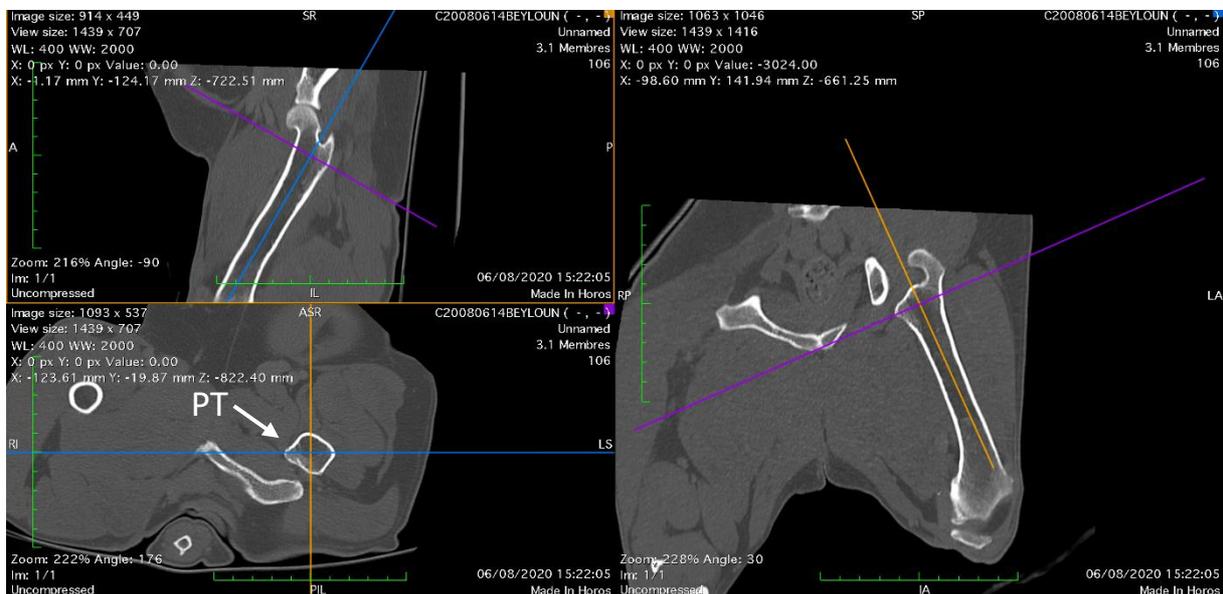


Figure 13 : Vues MPR sur HOROS permettant l'obtention de la coupe frontale en haut à gauche, la coupe transversale en bas à gauche et la coupe sagittale à droite.

Source : Marie Dupland

PT : Petit trochanter

1) Paramètres mesurés

a. L'angle d'antéversion fémoral

Pour mesurer cet angle nous avons suivi la méthode décrite par Al AIYAN (9). Pour cela, nous avons utilisé la fonction 3D proposé par Horos afin d'obtenir une reconstruction 3D du fémur. Nous avons ensuite positionné le fémur en vue axiale caudo-crâniale (fig. 14). Il a ensuite été nécessaire d'identifier le centre de la tête fémorale et le centre du col du fémur afin de tracer l'axe passant par ces deux points. Nous avons par la suite identifié les deux condyles (médial et latéral), afin de tracer l'axe trans-condyloire. L'angle d'antéversion fémoral est alors l'angle formé par l'intersection de ces deux axes.

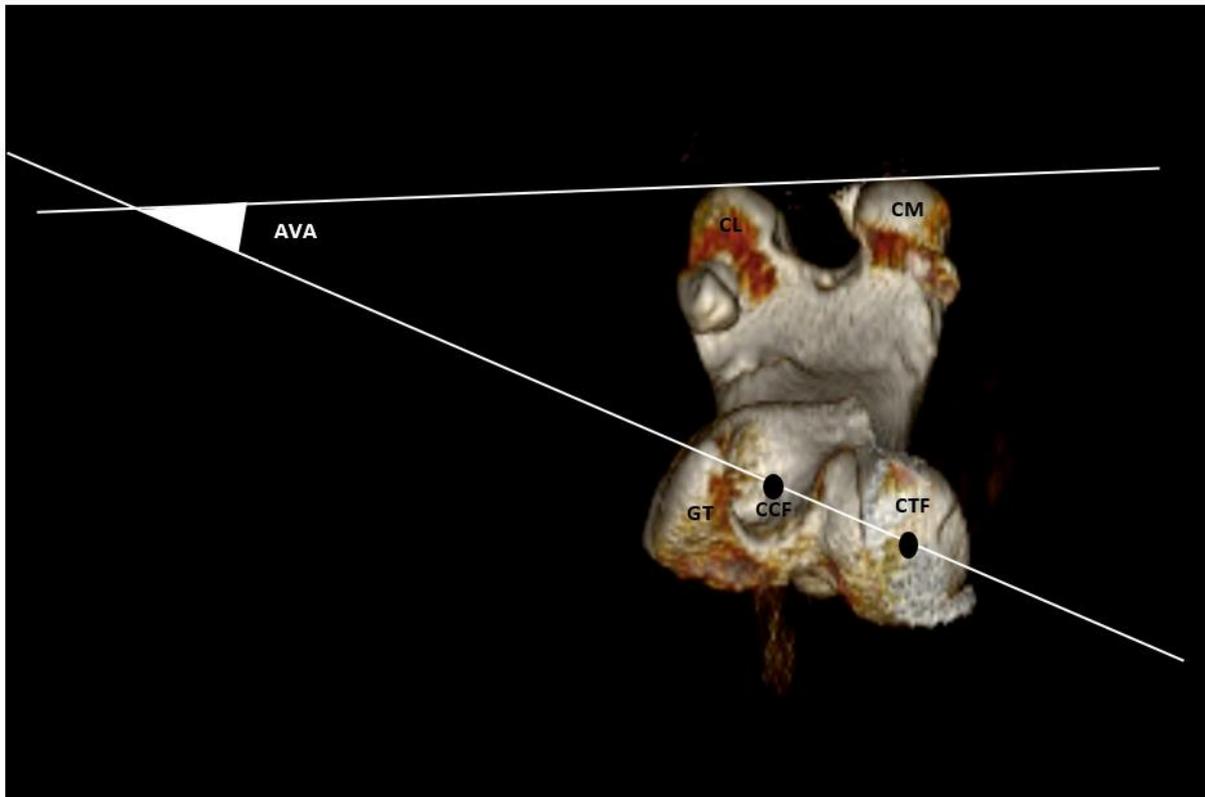


Figure 14 : Méthode de mesure de l'angle d'antéversion fémoral, d'après Al Ayian. Source : Dupland Marie

AVA : Angle d'antéversion fémoral ; **CL** : Condyle latéral ; **CM** : Condyle médial ; **GT** : Grand trochanter ; **CCF** : Centre du col du fémur ; **CTF** : Centre de la tête du fémur

b. L'angle cervico-céphalo-diaphysaire

L'angle cervico-céphalo-diaphysaire est l'angle formé par l'intersection de l'axe du fût fémoral et de l'axe du col du fémur. Pour le mesurer nous avons donc utilisé la fonction 3D, nous permettant de visualiser le fémur de face. Nous avons ensuite tracé ces deux axes et mesuré l'angle ainsi formé (fig. 15).

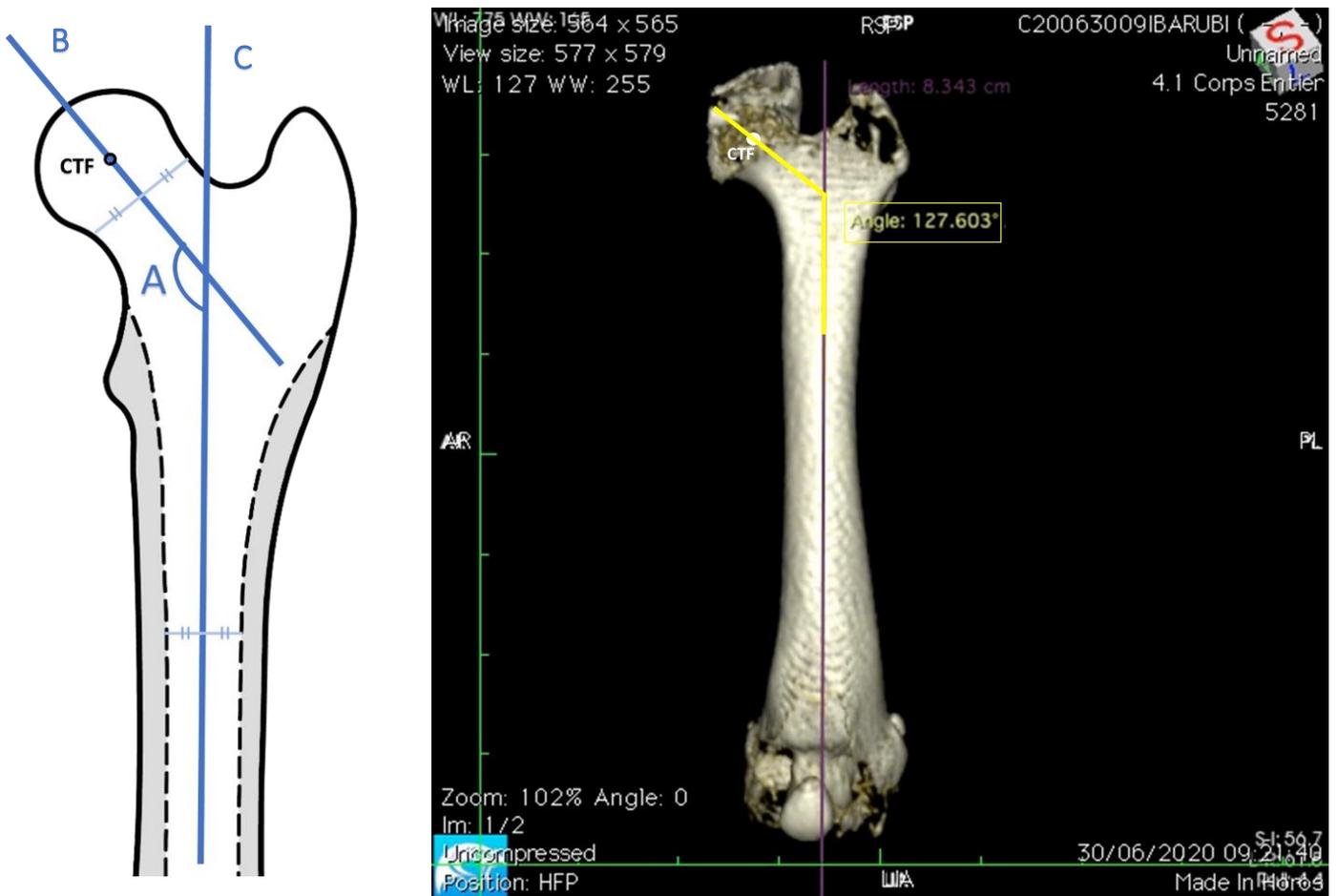


Figure 15 : Méthode de mesure théorique de l'angle cervico-céphalo-diaphysaire (à gauche) et son application pratique (à droite). Source : Dupland Marie

A : Angle cervico-céphalo-diaphysaire ; CTF : Centre de la tête du fémur ; B : Axe du col du fémur ; C : Axe du fût fémoral

c. Le diamètre de la tête fémorale

Pour mesurer le diamètre de la tête du fémur de face, nous avons utilisé la coupe frontale où nous avons tracé un cercle dont les contours s'adaptent au mieux à la forme de la tête du fémur. Nous avons ensuite mesuré le diamètre de ce cercle, nous indiquant alors le diamètre de la tête fémorale (fig. 16).

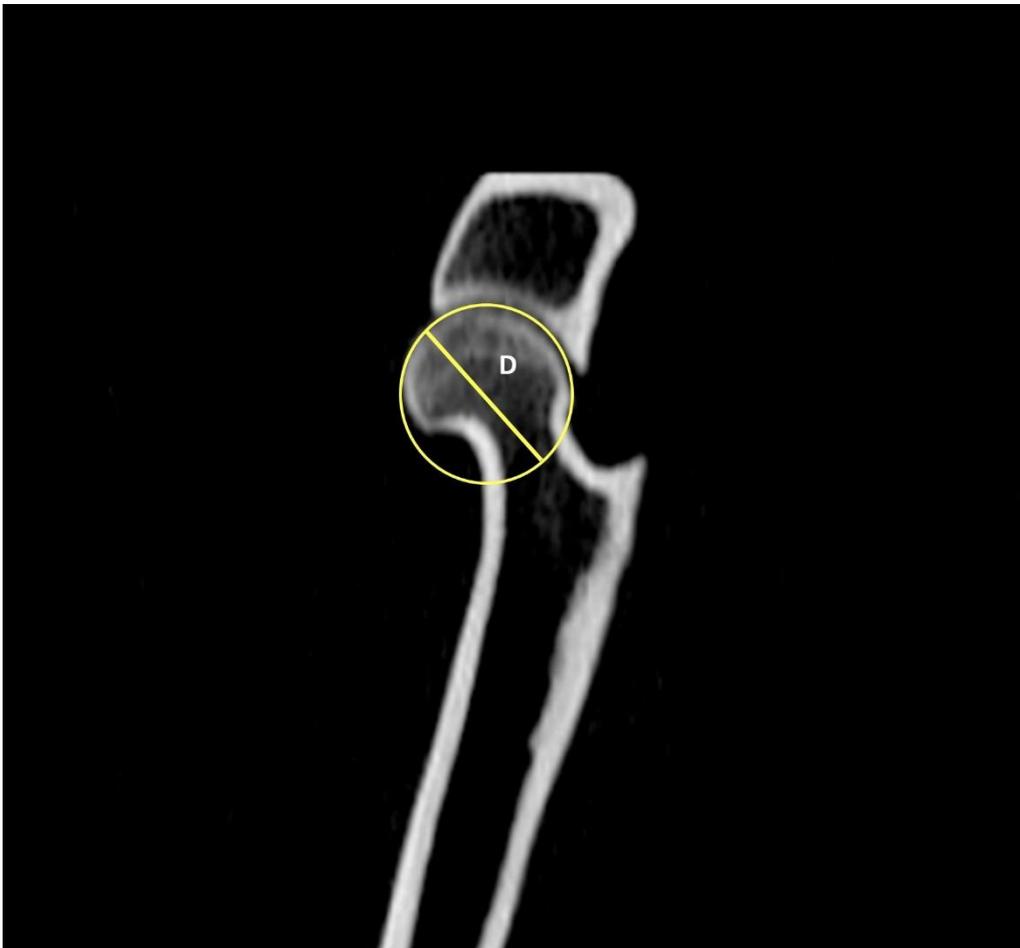


Figure 16 : Méthode de mesure du diamètre de la tête du fémur. Source : Dupland Marie

D : Diamètre de la tête du fémur

d. L'excentration de la tête fémorale

L'excentration de la tête fémorale est définie comme étant la distance entre le centre de la tête fémorale et l'axe du fût fémoral. Pour la mesurer nous avons donc utilisé la coupe frontale puis nous avons tracé l'axe du fût fémoral et un axe passant par le centre de la tête du fémur et parallèle à l'axe du fût fémoral. Nous avons ensuite mesuré la distance entre ces deux axes (fig. 17).



Figure 17 : Méthode de mesure de l'excentration de la tête du fémur de face. Source : Dupland Marie

A : Excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral ; **B** : Axe du fût fémoral ; **C** : Axe passant par le centre de la tête fémorale et parallèle à l'axe du fût fémoral

e. La largeur du col au site d'ostéotomie

Comme expliqué précédemment, la largeur du col au site d'ostéotomie intertrochantérienne correspond à la largeur du col au niveau de la droite passant par la ligne intertrochantérique et perpendiculaire à l'axe du col (11).

Pour mesurer la largeur du col à ce niveau nous avons donc tracé cette droite et mesuré la largeur associée (fig. 18).

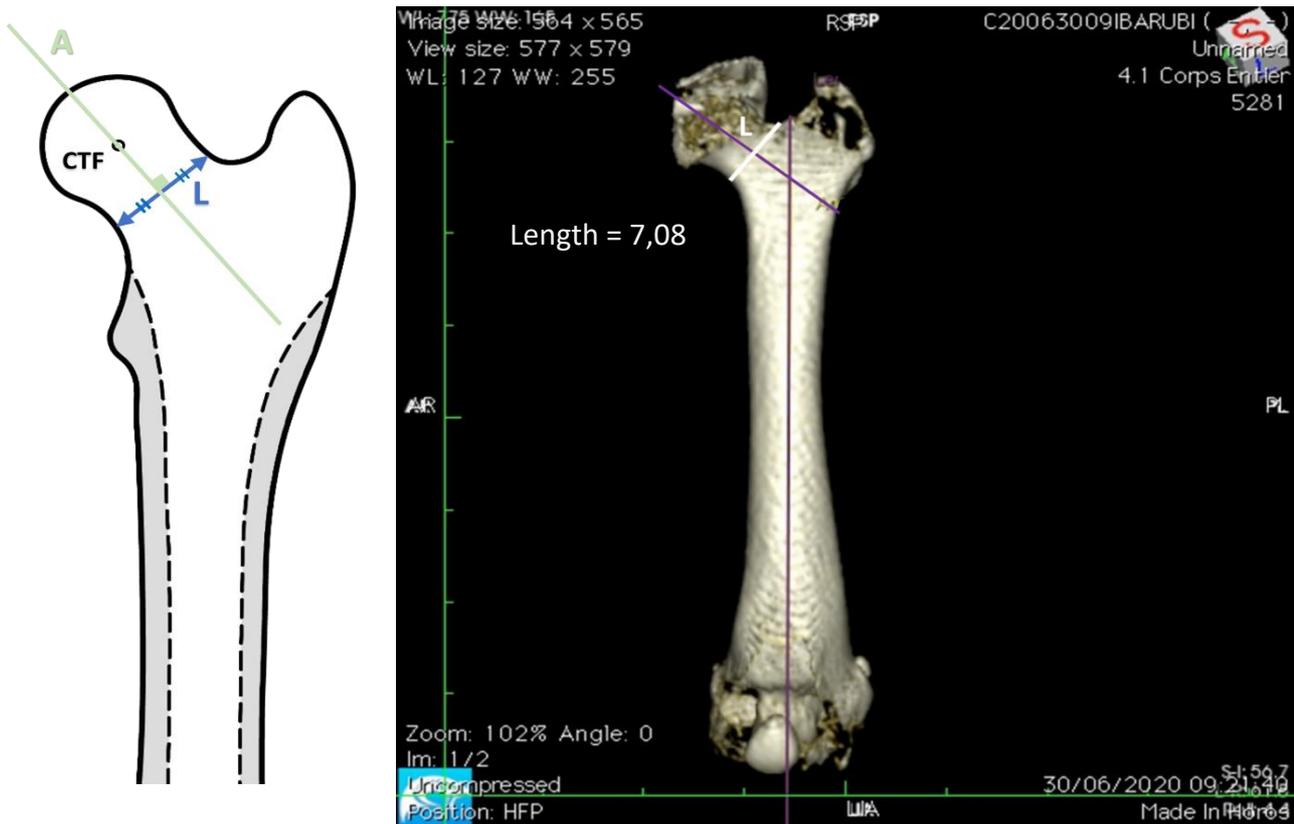


Figure 18 : Méthode de mesure théorique de la largeur du col au site d'ostéotomie (à gauche) et son application pratique (à droite). Source : Dupland Marie

L : Largeur du col du fémur au site d'ostéotomie inter-trochantérienne ; CTF : Centre de la tête du fémur ; A : Axe du col du fémur

f. Le rayon de courbure du cortex médial

Le rayon de courbure du cortex médial a été mesuré en coupe frontale, en traçant un cercle au niveau du cortex médial donc la forme épousait au mieux la forme du fémur. C'est le rayon de ce cercle qui correspond au rayon de courbure du cortex médial (fig. 19).



Figure 19 : Méthode de mesure du rayon de courbure du cortex médial.

Source : Dupland Marie

R : Rayon de courbure du cortex médial ; **TF** : Tête fémorale

2) Paramètre calculé : l'index d'évasement fémoral

Pour calculer l'index d'évasement fémoral nous avons d'abord mesuré la largeur du fût fémoral au niveau du petit trochanter et au niveau de l'isthme, en coupe frontale et en coupe sagittale (fig. 20 et 21). Nous avons ensuite calculé le rapport suivant :

$$CFI = \frac{\text{Largeur du canal médullaire au niveau du petit trochanter}}{\text{Largeur du canal médullaire au niveau de l'isthme}}$$

a. En coupe frontale

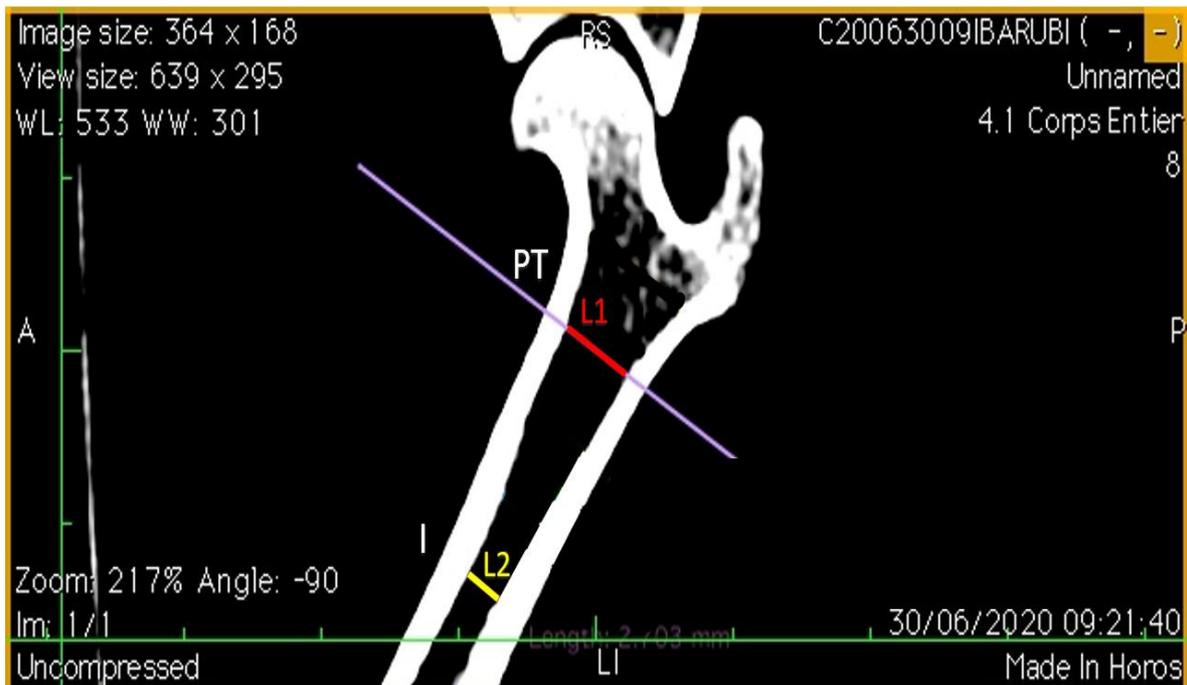


Figure 20 : Méthode de mesure de la largeur du fût fémoral au niveau du petit trochanter et de l'isthme en coupe frontale en vue du calcul du CFI. Source : Dupland Marie

I : Isthme ; PT : Centre du petit trochanter ; L1 : Largeur du canal au niveau du petit trochanter ; L2 : Largeur du canal au niveau de l'isthme ; CFI = L1 / L2

b. En coupe sagittale



Figure 21 : Méthode de mesure de la largeur du fût fémoral au niveau du petit trochanter et de l'isthme en coupe sagittale en vue du calcul du CFI. Source : Dupland Marie

I : Isthme ; PT : Centre du petit trochanter ; L1 : Largeur du canal au niveau du petit trochanter ; L2 : Largeur du canal au niveau de l'isthme ; $CFI = L1 / L2$

C. Étude statistique

L'analyse statistique de l'ensemble des paramètres a été réalisée sur Microsoft® Excel®, Microsoft 365, version 2206. Elle comprend la moyenne et l'ensemble des caractéristiques de dispersion, à savoir : l'écart-type, le minimum, le maximum et la médiane. De plus, nous avons calculé un intervalle de confiance au seuil de risque de 5% pour chacun des paramètres. Enfin, un coefficient de variation a également été calculé, représentant la dispersion des valeurs autour de la moyenne.

Par la suite, nous avons calculé le coefficient de corrélation entre le poids de l'animal et le paramètre considéré, et ce pour l'ensemble des paramètres étudiés dans cette étude, afin d'établir ou non l'existence d'une corrélation linéaire entre le poids et le paramètre. Ce coefficient de corrélation a été établi grâce à la méthode de Pearson, toujours avec Microsoft® Excel®. Cette corrélation linéaire a été matérialisée à l'aide d'un graphique en nuage de point. L'existence d'une corrélation linéaire a également été testée entre l'excentration de la tête fémorale, l'angle d'antéversion fémoral et l'angle cervico-céphalo-diaphysaire.

II. RÉSULTATS

Dans notre étude, l'ensemble des paramètres décrits ci-dessus ont été mesurés ou calculés sur 34 paires de fémurs (17 individus), qui ont été répartis en quatre catégories de poids.

Pour plus de lisibilité, les résultats sont présentés sous forme de tableaux, d'abord par catégorie de poids (un tableau pour chaque catégorie de poids, et un tableau regroupant l'ensemble des 34 fémurs) et ensuite par paramètre.

Chaque paramètre est représenté par sa moyenne et ses caractéristiques de dispersion (écart-type, minimum, maximum, médiane). Un intervalle de confiance au seuil de risque de 5 % a été calculé pour chaque paramètre et permet d'estimer la précision des mesures. Et enfin, un coefficient de variation.

A. Résultats par catégories de poids

1) *Catégorie 0 – 10 kg*

Tableau II : Données statistiques des paramètres morphologiques mesurés et calculés sur les fémurs appartenant à la catégorie 0 - 10kg

0-10kg	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Coefficient de variation	IC
Angle cervico-céphalo-diaphysaire	148,02	3,01	144,73	153,01	147,02	0,02	1,87
Angle d'antéversion fémoral	28,98	0,72	27,34	29,67	29,18	0,02	0,44
Diamètre de la tête	9,63	1,31	7,87	11,68	9,48	0,14	0,81
Excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral	8,99	1,41	7,53	11,94	8,59	0,16	0,87
Largeur du col au site d'ostéotomie	7,07	1,19	5,24	8,71	7,51	0,17	0,74
Canal flare index coupe sagittale	1,79	0,84	0,99	3,86	1,49	0,46	0,51
Canal flare index coupe frontale	1,78	0,40	1,25	2,43	1,67	0,22	0,25
Rayon de courbure du cortex médial	10,61	1,11	8,92	12,34	10,39	0,10	0,69

2) *Catégorie 10 – 20 kg*

Tableau III : Données statistiques des paramètres morphologiques mesurés et calculés sur les fémurs appartenant à la catégorie 10 - 20kg

10-20kg	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Angle cervico-céphalo-diaphysaire	145,15	2,82	141,45	148,28	145,43	0,02	1,96
Angle d'antéversion fémoral	29,25	3,11	25,96	33,64	28,53	0,10	2,16
Diamètre de la tête	13,34	1,71	12,48	17,23	15,50	0,13	1,18
Excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral	11,98	3,05	8,74	16,6	11,62	0,25	2,12
Largeur du col au site d'ostéotomie	12,15	2,51	9,71	16,54	10,92	0,21	1,74
Canal flare index coupe sagittale	1,51	0,18	1,35	1,91	1,47	0,12	0,12
Canal flare index coupe frontale	1,54	0,18	1,26	1,81	1,52	0,12	0,13
Rayon de courbure du cortex médial	15,97	2,22	13,50	18,90	15,37	0,14	1,54

3) *Catégorie 20 -35 kg*

Tableau IV : Données statistiques des paramètres morphologiques mesurés et calculés sur les fémurs appartenant à la catégorie 20 - 35kg

20-35kg	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Angle cervico-céphalo-diaphysaire	146,92	2,16	143,27	150,56	146,60	0,02	1,22
Angle d'antéversion fémoral	28,89	2,60	23,78	32,60	29,69	0,08	1,47
Diamètre de la tête	18,69	1,25	16,93	20,55	18,67	0,07	0,71
Excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral	15,55	1,54	13,27	17,65	15,80	0,09	0,87
Largeur du col au site d'ostéotomie	15,11	2,20	11,38	18,39	15,05	0,15	1,25
Canal flare index coupe sagittale	1,82	0,34	1,33	2,42	1,80	0,18	0,19
Canal flare index coupe frontale	1,73	0,39	1,33	2,80	1,63	0,22	0,22
Rayon de courbure du cortex médial	25,00	4,08	19,82	31,52	23,81	0,16	2,31

4) Catégorie 35 – 55 kg

Tableau V : Données statistiques des paramètres morphologiques mesurés et calculés sur les fémurs appartenant à la catégorie 35 – 55kg

35-55kg	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Angle cervico-céphalo-diaphysaire	154,21	3,33	151,09	157,81	153,96	0,02	3,27
Angle d'antéversion fémoral	29,80	1,20	28,62	31,04	29,76	0,04	1,18
Diamètre de la tête	24,85	0,71	24,16	25,46	24,88	0,03	0,70
Excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral	18,66	1,24	17,08	19,85	18,85	0,07	1,22
Largeur du col au site d'ostéotomie	16,71	1,05	15,30	17,83	16,86	0,06	1,03
Canal flare index coupe sagittale	1,84	0,18	1,68	2,02	1,82	0,09	0,17
Canal flare index coupe frontale	1,90	0,35	1,53	2,35	1,85	0,18	0,35
Rayon de courbure du cortex médial	36,04	1,61	34,46	38,01	35,85	0,04	1,58

5) Catégorie 0 – 55 kg (tous les fémurs réunis)

Tableau VI : Données statistiques des paramètres morphologiques mesurés et calculés sur les 34 fémurs de l'étude

TOUT	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Angle cervico-céphalo-diaphysaire	148,57	3,70	141,45	157,81	146,95	0,02	1,24
Angle d'antéversion fémoral	29,11	2,16	23,78	33,64	29,50	0,07	0,73
Diamètre de la tête	15,91	5,12	7,87	25,46	16,97	0,32	1,72
Excentration de la tête par rapport à l'axe fémoral	13,15	3,85	7,53	19,85	13,52	0,29	1,29
Largeur du col au site d'ostéotomie	12,24	4,12	5,24	18,39	12,05	0,34	1,38
Canal flare index coupe sagittale	1,74	0,51	0,99	3,86	1,57	0,29	0,17
Canal flare index coupe frontale	1,72	0,35	1,25	2,80	1,66	0,20	0,12
Rayon de courbure du cortex médial	19,95	8,84	8,92	38,01	18,72	0,44	2,97

B. Résultats par paramètres

1) *Angle d'antéversion fémoral*

Tableau VII : Données statistiques des mesures de l'angle d'antéversion fémoral pour les différentes catégories de poids étudiées

Angle d'antéversion (en °)	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Tout	29,11	2,16	23,78	33,64	29,50	0,07	0,73
0-10kg	28,98	0,72	27,34	29,67	29,18	0,02	0,44
10-20kg	29,25	3,11	25,96	33,64	28,53	0,10	2,16
20-35kg	28,89	2,60	23,78	32,60	29,69	0,08	1,47
35-55kg	29,80	1,20	28,62	31,04	29,76	0,04	1,18

2) *Angle cervico-céphalo-diaphysaire*

Tableau VIII : Données statistiques des mesures de l'angle cervico-céphalo-diaphysaire pour les différentes catégories de poids étudiées

Angle CCD (en °)	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Tout	148,57	3,70	141,45	157,81	146,95	0,02	1,24
0-10kg	148,02	3,01	144,73	153,01	147,02	0,02	1,87
10-20kg	145,15	2,82	141,45	148,28	145,43	0,02	1,96
20-35kg	146,92	2,16	143,27	150,56	146,60	0,02	1,22
35-55kg	154,21	3,33	151,09	157,81	153,96	0,02	3,27

3) Diamètre de la tête fémorale

Tableau IX : Données statistiques des mesures du diamètre de la tête fémorale pour les différentes catégories de poids étudiées

Diamètre de la tête (en mm)	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
TOUS	15,91	5,12	7,87	25,46	16,97	0,32	1,72
0-10kg	9,63	1,31	7,87	11,68	9,48	0,14	0,81
10-20kg	13,34	1,71	12,48	17,23	15,50	0,13	1,18
20-35kg	18,69	1,25	16,93	20,55	18,67	0,07	0,71
35-55kg	24,85	0,71	24,16	25,46	24,88	0,03	0,70

4) Excentration de la tête fémorale

Tableau X : Données statistiques des mesures de l'excentration de la tête fémorale pour les différentes catégories de poids étudiées

Excentration de la tête (en mm)	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Tous	13,15	3,85	7,53	19,85	13,52	0,29	1,29
0-10kg	8,99	1,41	7,53	11,94	8,59	0,16	0,87
10-20kg	11,98	3,05	8,74	16,6	11,62	0,25	2,12
20-35kg	15,55	1,54	13,27	17,65	15,80	0,09	0,87
35-55kg	18,66	1,24	17,08	19,85	18,85	0,07	1,22

5) *Largeur du col au site d'ostéotomie*

Tableau XI : Données statistiques de la largeur du col au site d'ostéotomie pour les différentes catégories de poids étudiées

Largeur du col (en mm)	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	Médiane	Coeff de variation	IC
Tout	12,24	4,12	5,24	18,39	12,05	0,34	1,38
0-10kg	7,07	1,19	5,24	8,71	7,51	0,17	0,74
10-20kg	12,15	2,51	9,71	16,54	10,92	0,21	1,74
20-35kg	15,11	2,20	11,38	18,39	15,05	0,15	1,25
35-55kg	16,71	1,05	15,3	17,83	16,86	0,06	1,03

6) *Rayon de courbure du cortex médial*

Tableau XII : Données statistiques du rayon de courbure du cortex médial pour les différentes catégories de poids étudiés

Rayon de courbure (en mm)	Moyenne	Ecart type	Min	Max	Médiane	Coeff de variation	IC
Tout	19,95	8,84	8,92	38,01	18,72	0,44	2,97
0-10kg	10,61	1,11	8,92	12,34	10,39	0,10	0,69
10-20kg	15,97	2,22	13,50	18,90	15,37	0,14	1,54
20-35kg	25,00	4,08	19,82	31,52	23,81	0,16	2,31
35-55kg	36,04	1,61	34,46	38,01	35,85	0,04	1,58

7) *Index d'évasement fémoral en coupe frontale*

Tableau XIII : Données statistiques de l'index d'évasement fémoral (CFI) en coupe frontale pour les différentes catégories de poids étudiés

CFI (en coupe frontale)	Moyenne	Ecart type	Min	Max	Médiane	Coeff de variation	IC
Tout	1,72	0,35	1,25	2,80	1,66	0,20	0,12
0-10kg	1,78	0,40	1,25	2,43	1,67	0,22	0,25
10-20kg	1,54	0,18	1,26	1,81	1,52	0,12	0,13
20-35kg	1,73	0,39	1,33	2,80	1,63	0,22	0,22
35-55kg	1,90	0,35	1,53	2,35	1,85	0,18	0,35

8) *Index d'évasement fémoral en coupe sagittale*

Tableau XIV : Données statistiques de l'index d'évasement fémoral (CFI) en coupe sagittale pour les différentes catégories de poids étudiés

CFI (en coupe sagittale)	Moyenne	Ecart type	Min	Max	Médiane	Coeff de variation	IC
Tout	1,74	0,51	0,99	3,86	1,57	0,29	0,17
0-10kg	1,79	0,84	0,99	3,86	1,49	0,46	0,51
10-20kg	1,51	0,18	1,35	1,91	1,47	0,12	0,12
20-35kg	1,82	0,34	1,33	2,42	1,80	0,18	0,19
35-55kg	1,84	0,18	1,68	2,02	1,82	0,09	0,17

III. DISCUSSION

A. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'ensemble des résultats de notre étude ont été séparés par catégories de poids. Or, très peu voire pas d'autres études ont présenté leurs résultats par catégorie de poids. Il n'est donc pas possible de comparer et d'interpréter les résultats pour chacune des catégories séparément.

En revanche, la majorité des études utilisées pour comparer les résultats aux nôtres avaient un poids moyen des individus utilisés de 25kg. Or le poids moyen de l'ensemble des chiens utilisés dans notre étude est de 20,4kg. Les résultats sont donc comparables aux autres études si l'on se base sur nos résultats concernant l'ensemble des fémurs de l'étude.

1) *Paramètres mesurés*

a. L'angle cervico-céphalo-diaphysaire

Concernant l'angle cervico-céphalo-diaphysaire, il est en moyenne de $148,57 \pm 3,70^\circ$ dans notre étude, ce qui est légèrement plus élevé que la majorité des résultats rencontrés dans la littérature.

Tableau XV : Comparaison des résultats de l'angle cervico-céphalo-diaphysaire chez le chien dans la littérature et dans notre étude

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	CV	IC
Palierne (1)	140.9	5,15	130,0	154,0	0,04	1,115
Jornet (19)	143.7	5.5	129	154	0.003	
Kuo et al. (14)	136,7	4,5				
Kara et al. (20)	146,24	5,49				
Notre étude	148,57	3,70	141,45	157,81	0,02	1,24

En revanche, les coefficients de variation calculés pour chacune des catégories de poids sont très faibles : CV = 2 %, ce qui en fait les plus faibles de tous les paramètres étudiés dans cette étude. Cela suggère que l'angle cervico-céphalo-diaphysaire est un paramètre très stable, qui varie peu parmi les différents fémurs étudiés.

Enfin, avec un coefficient de corrélation $r = 0,5$ l'angle cervico-céphalo-diaphysaire apparaît faiblement corrélé au poids (fig. 22).

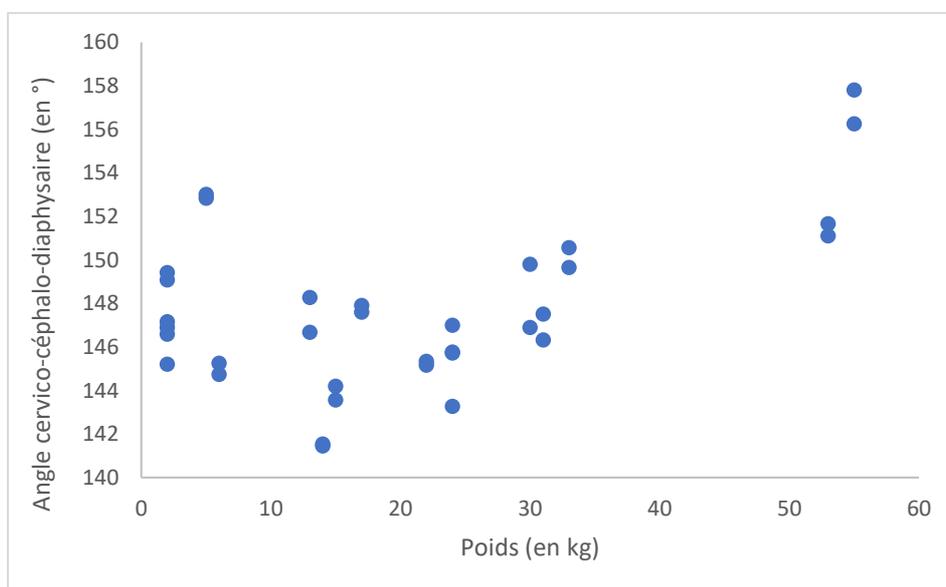


Figure 22 : Graphique de corrélation linéaire entre le poids et l'angle cervico-céphalo-diaphysaire

b. L'angle d'antéversion fémoral

Dans notre étude, l'angle d'antéversion fémoral est en moyenne de $29,11 \pm 2,16^\circ$ et les résultats que nous avons obtenus sont en accord avec les résultats rencontrés dans la littérature.

Tableau XVI : Comparaison des résultats de l'angle d'antéversion fémoral chez le chien dans la littérature et dans notre étude

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	CV	IC
Palierne (1)	30	6,33	16,7	45	0,26	1,37
Al Aiyan et al. (9)	30,99	4,02				
Shalaby et al. (21)	36,47	5,8	25	47		
Kara et al. (20)	26,86	11,46				
Martins et al. (22)	26,4	4,5	11,3	39,2		
Notre étude	29,11	2,16	23,78	33,64	0,07	0,73

Les coefficients de variation associés à chacune des catégories de poids sont très faibles pour ce paramètre (CV compris entre 2 % et 10 %). C'est donc aussi un paramètre très stable.

En revanche l'angle d'antéversion fémoral n'est pas corrélé au poids : $r = 0,13$ (fig. 23).

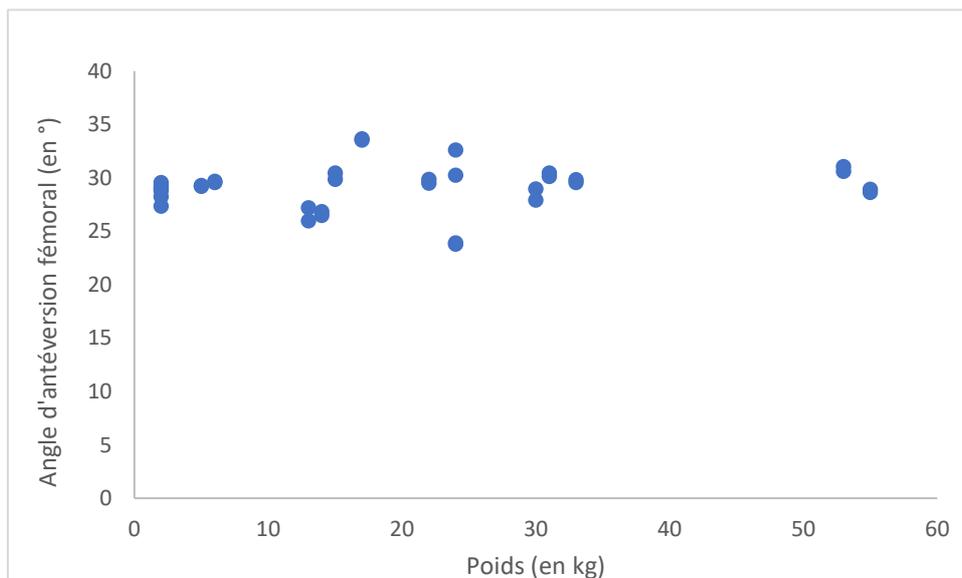


Figure 23 : Graphique de corrélation linéaire entre le poids et l'angle d'antéversion fémoral

c. Excentration de la tête du fémur par rapport à l'axe fémoral

L'excentration de la tête fémorale est en moyenne de $13,15 \pm 3,85$ mm. Nos résultats sont cohérents avec les résultats des études précédentes.

Tableau XVII : Comparaison des résultats de l'excentration de la tête fémorale chez le chien dans la littérature et dans notre étude

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	CV	IC
Palierne (1)	13,6	3,07	6,0	20,0	0.33	0.665
Kuo et al. (14)	19,5	2,5				
Notre étude	13,15	3,85	7,53	19,85	0,29	1,29

De plus, il existe une forte corrélation linéaire entre le poids de l'animal et l'excentration de la tête fémorale : $r = 0,88$ (fig. 24).

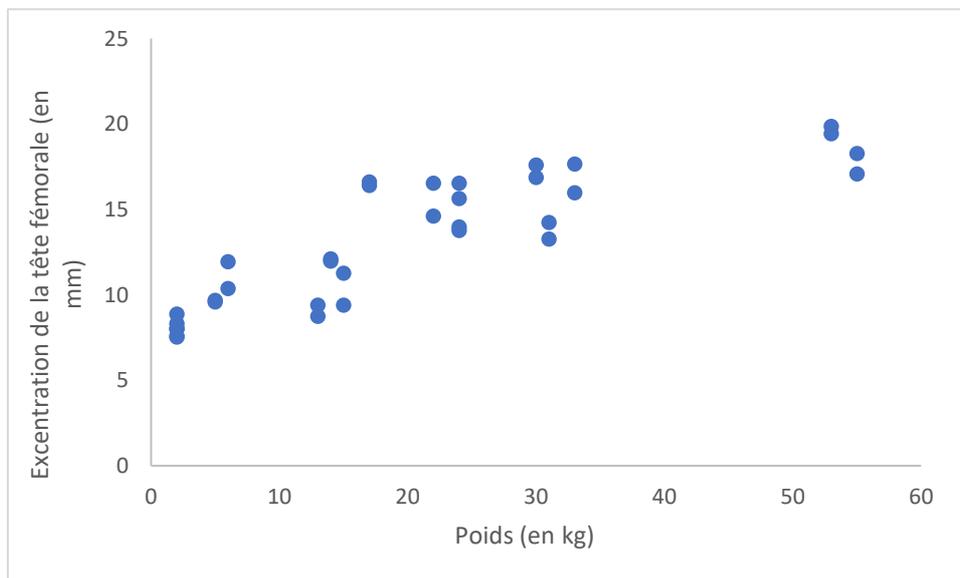


Figure 24 : Graphique de corrélation linéaire entre le poids et l'excentration de la tête fémorale

Cependant, le coefficient de variation pour la catégorie regroupant les 34 fémurs est de 29 %, ce qui est assez élevé, mais cela s'explique aisément puisque l'excentration est corrélée au poids. Or, si l'on considère l'ensemble des 34 fémurs de notre étude, le poids des chiens varie de deux à 55kg, ce qui est très large. L'excentration variant avec le poids, il y a donc logiquement une assez grande dispersion des valeurs autour de la moyenne. En revanche si l'on considère une catégorie de poids définie, les coefficients de variation sont beaucoup plus faibles (CV allant de 7 % à 16 %), sauf pour la catégorie 10 - 20 kg (CV = 25 %). Cela confirme donc le lien entre les grandes variations de poids au sein de l'échantillon et la dispersion des valeurs autour de la moyenne de l'excentration de la tête fémorale.

Mais il est tout de même intéressant de se demander s'il existe de potentielles corrélations entre l'excentration de la tête fémorale et d'autres paramètres pouvant aussi expliquer ces variations, notamment l'angle cervico-céphalo-diaphysaire (fig. 25) et l'angle d'antéversion fémoral (fig. 26).

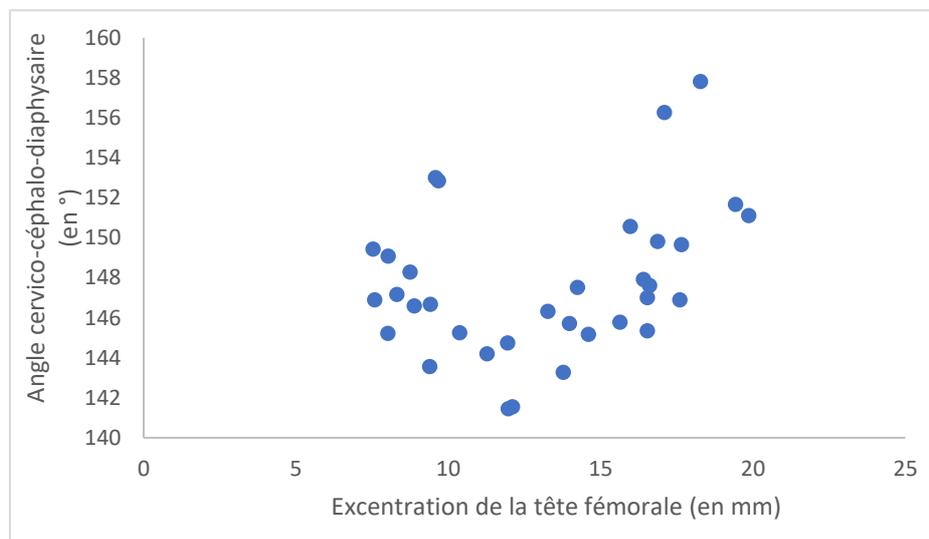


Figure 25 : Graphique de corrélation linéaire entre l'excentration de la tête fémorale et l'angle cervico-céphalo-diaphysaire

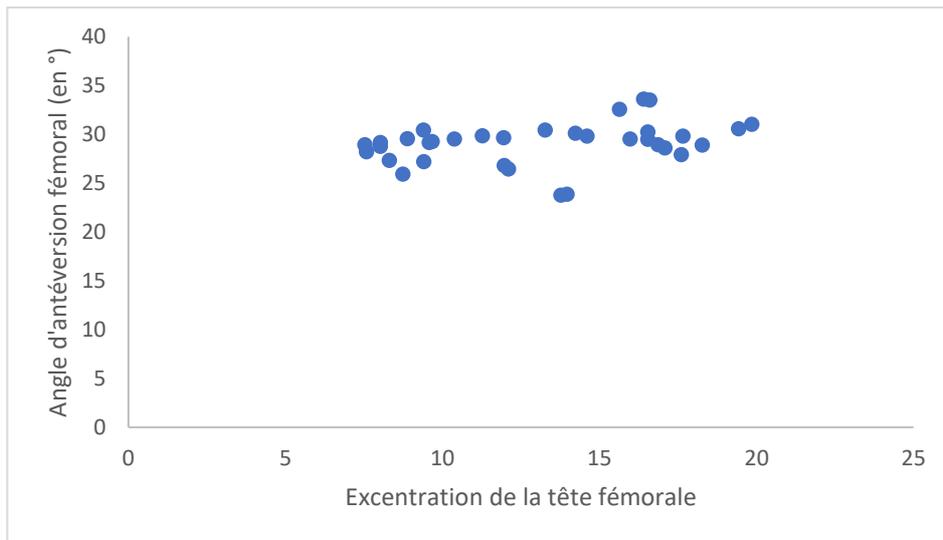


Figure 26 : Graphique de corrélation linéaire entre l'excentration de la tête fémorale et l'angle d'antéversion fémoral

Comme le montrent les figures ci-dessus, il existe une faible corrélation linéaire entre l'excentration de la tête fémorale de face et l'angle cervico-céphalo-diaphysaire ($r = 0,32$) ou l'angle d'antéversion fémorale ($r = 0,31$). Cela s'explique parce que ces angles ne varient que très peu parmi les fémurs étudiés (CV faibles), ils influencent donc peu l'excentration de la tête. Cette dernière dépend donc d'autres paramètres, et en particulier de la longueur du col du fémur comme l'a montré Palierne dans sa thèse (1) où le coefficient de corrélation entre ces deux paramètres s'élève à 0,88. Toujours d'après Palierne (1), il existerait aussi une corrélation linéaire entre l'excentration de la tête de profil et l'angle d'antéversion ($r = 0,67$). (Remarque : dans notre étude nous avons mesuré l'excentration de la tête fémorale de face et non de profil). L'excentration de la tête fémorale serait donc fortement corrélée à la longueur du col et à l'angle d'antéversion fémoral (pour l'excentration de profil), et faiblement corrélée à l'angle cervico-céphalo-diaphysaire et l'angle d'antéversion fémoral (pour l'excentration de face).

Ces quatre paramètres (longueur du col, angle céphalo-cervico-diaphysaire, angle d'antéversion fémorale et excentration de la tête) sont donc plus ou moins reliés les uns aux autres.

On comprend alors que la connaissance préalable des valeurs de ces paramètres avant une pose de prothèse totale de hanche est primordiale. En effet, imaginons par exemple que l'angle céphalo-cervico-diaphysaire soit surestimé, l'excentration de la tête fémorale serait alors quant à elle sous-estimée entraînant une valgisation de la tige prothétique et donc une médialisation du fémur (1). Les conséquences pourraient alors être dramatiques : perte d'efficacité des muscles fessiers (liée au raccourcissement du bras de levier causé par la valgisation) entraînant une gêne locomotrice et une instabilité de la hanche pouvant aller jusqu'à une luxation de la prothèse (1).

d. Diamètre de la tête

Le diamètre moyen de la tête du fémur est de $15,91 \pm 5,12$ mm. Ces résultats sont conformes aux résultats des études citées ci-dessous.

Tableau XVIII : Comparaison des résultats du diamètre de la tête fémorale chez le chien dans la littérature et dans notre étude

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	CV	IC
Palierne (1)	19,7	4.48	9.5	26.0	0.23	0,969
Kuo et al. (14)	23,4	1,3				
Notre étude	15,91	5,12	7,87	25,46	0,32	1,72

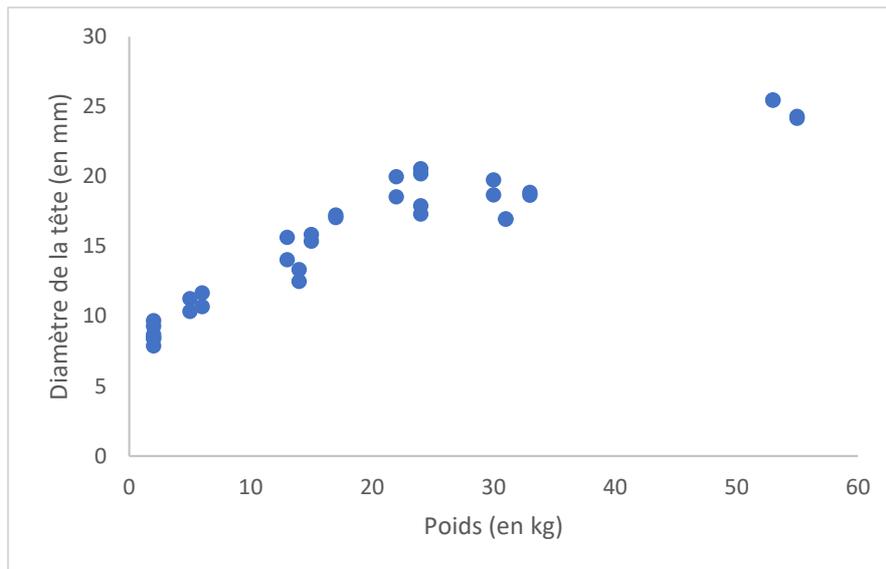


Figure 27 : Graphique de corrélation linéaire entre le poids et le diamètre de la tête fémorale

Avec un minimum de 7,87 mm et un maximum de 25,46 mm de diamètre, il existe de grandes variations de diamètre au sein de la population étudiée. En effet, le coefficient de variation est de 32 %, ce qui confirme la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Cela est logique puisque le diamètre de la tête fémorale est un paramètre très fortement corrélé au poids : $r = 0,94$ (fig. 27). Il est donc logique que le diamètre varie (et en l'occurrence ici augmente) avec le poids.

Concernant les prothèses de hanche, un diamètre de taille adapté est absolument nécessaire pour assurer une bonne congruence entre la prothèse et l'acétabulum. Il est donc particulièrement important de bien estimer le diamètre de la tête fémorale du patient, pour ensuite choisir le modèle de prothèse le plus adapté. Pour cela, il est possible de le mesurer directement sur des images tomodensitométriques. S'il n'est pas envisageable de réaliser un scanner préopératoire pour effectuer ces mesures, on peut imaginer utiliser l'équation de corrélation linéaire obtenue ci-dessus pour estimer au mieux le diamètre de la tête fémorale.

e. Rayon de courbure

Dans cette étude, le rayon de courbure moyen est de $19,95 \pm 8,84$ mm.

Le coefficient de variation pour chacune des catégories est faible ($CV < 16\%$ pour toutes les catégories). La variation inter-individuelle de ce paramètre au sein des individus est donc faible pour une catégorie de poids donnée. En revanche, si l'on considère l'ensemble des fémurs, le coefficient de variation est de 44% . Il y a donc une grande dispersion des valeurs autour de la moyenne lorsqu'il existe une grande variation de poids entre les individus considérés.

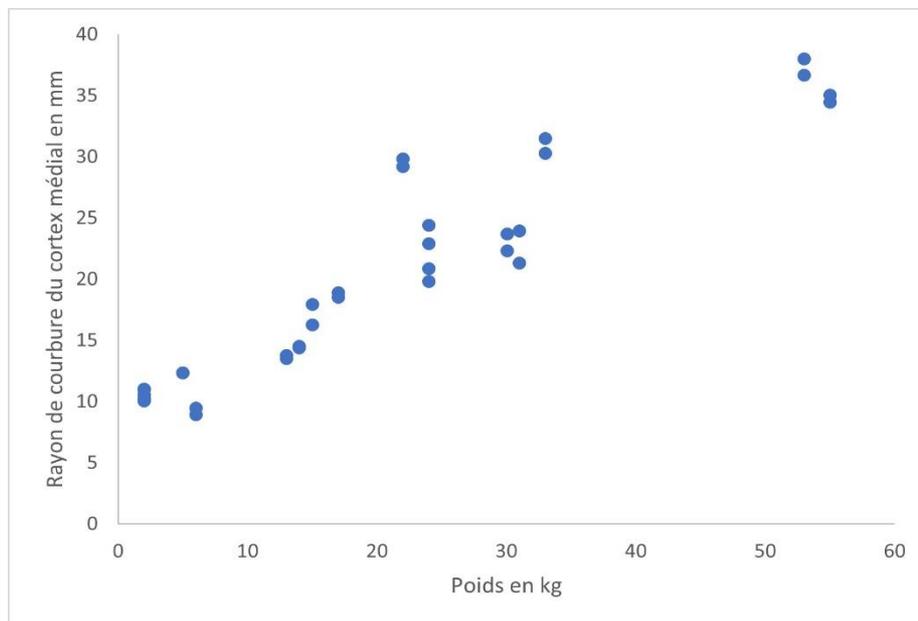


Figure 28 : Graphique de corrélation linéaire entre le poids et le rayon de courbure du cortex médial

Le rayon de courbure est un paramètre très fortement corrélé au poids : $r = 0,94$ (fig. 28). Cela est cohérent avec les observations effectuées ci-dessus.

Enfin, aucune valeur de référence n'a été trouvée dans la littérature, il n'est donc pas possible de comparer ces valeurs à des valeurs existantes.

2) Paramètre calculé : l'index d'évasement fémoral

Le Canal Flare Index moyen est de $1,74 \pm 0,51$ en coupe sagittale et de $1,72 \pm 0,35$ en coupe frontale. De manière générale, les valeurs des CFI calculées dans notre étude sont très légèrement plus basses que les résultats attendus dans la littérature.

Tableau XIX : Comparaison des résultats du canal flare index de face (coupe frontale) chez le chien dans la littérature et dans notre étude

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	CV	IC
Palierne (1)	2,0	0,28	1,5	2,8	0,14	0,06
Palierne et Asimus (15)	2,4	0,32	1,8	3,4	0,13	
Notre étude	1,72	0,35	1,25	2,8	0,20	0,12

L'important coefficient de variation associé à ces mesures ($9\% \leq CV \leq 46\%$ en coupe sagittale et $12\% \leq CV \leq 22\%$ en coupe frontale) témoigne d'une assez grande dispersion des valeurs autour de la moyenne, ce qui reflète la diversité morphologique inter-individuelle des fémurs étudiés.

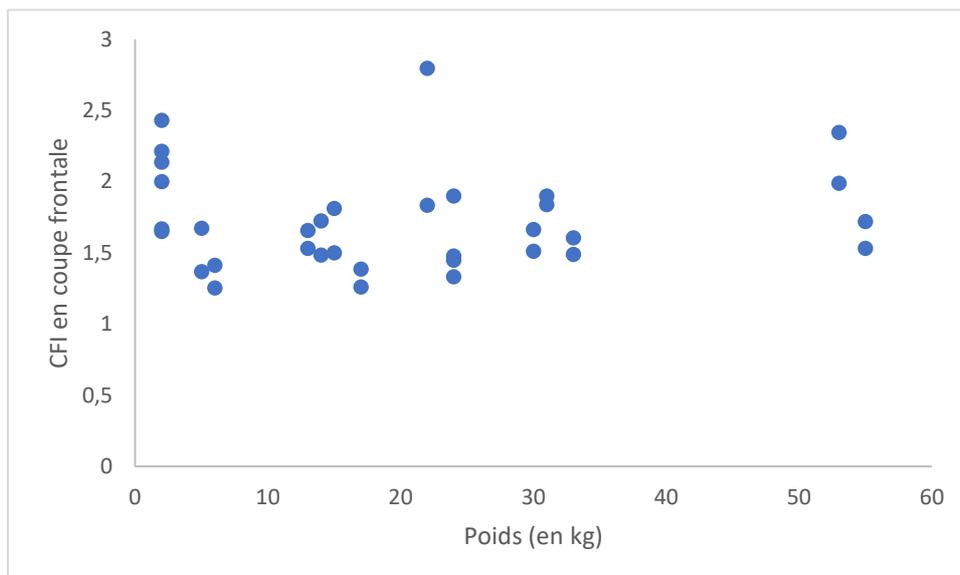


Figure 29 : Graphique de corrélation linéaire entre le poids et le canal flare index en coupe frontale

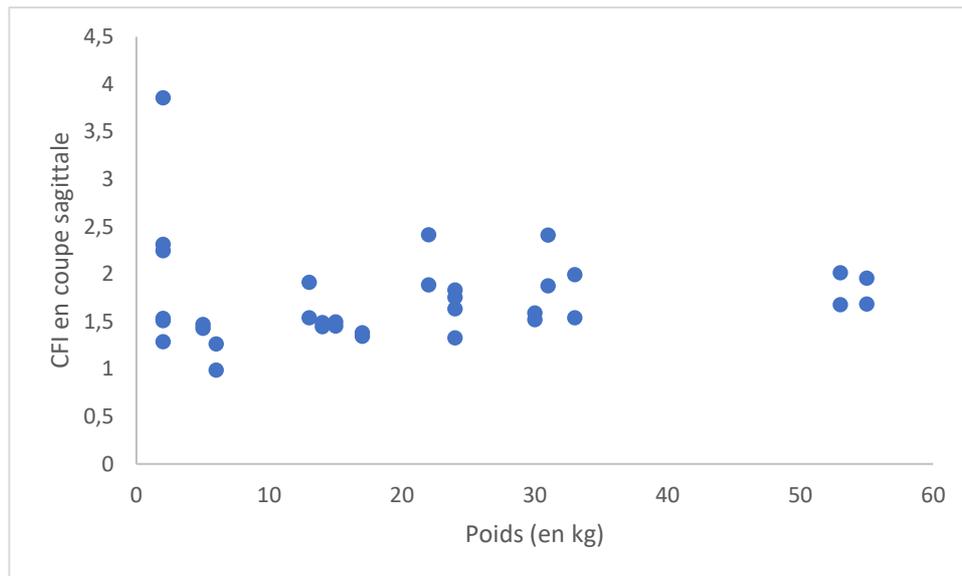


Figure 30 : Graphique de corrélation linéaire entre le poids et le canal flare index en coupe sagittale

Cependant, aucune corrélation ne peut être faite entre le poids et l'index d'évasement fémoral (coefficient de corrélation respectivement de 0,05 pour la coupe sagittale et de 0,04 pour la coupe frontale) (fig. 29 et fig. 30).

Il existe des classifications basées sur cet index d'évasement et utilisées pour le design et le choix des modèles de prothèse de hanche et la préparation opératoire (18). Selon sa valeur, les fémurs sont classés en trois catégories : « Stovepipe » ou « tuyau de poêle » si le $CFI \leq 1.8$; « Normal » si $1.8 \leq CFI \leq 2.5$ et « Champagne fluted » ou « En coupe de champagne » si le $CFI \geq 2.5$ (23). Cette classification permet par exemple de savoir à l'avance qu'un fémur « en tuyau de poêle » présente un risque plus important de subsidence de la prothèse et donc de fracture après la pose d'une prothèse non-cimentée, et qu'il est donc recommandé de placer un cerclage en prévention ou d'utiliser une tige cimentée (24). Dans notre étude, l'écrasante majorité des fémurs sont dans la catégorie dit « en tuyau de poêle » (65 % pour la coupe frontale et sagittale), alors que seulement un tiers sont normaux (33 % en coupe sagittale et 35 % en coupe frontale) (fig. 31 et fig. 32). Seul un fémur a un CFI correspondant à la catégorie flûte de champagne. Cette répartition est cohérente avec l'étude de Palierno et al où 99 % des fémurs appartiennent à la catégorie « en tuyau de poêle » (1). On notera que

chez l'homme, la part de fémurs « en tuyau de poêle » est beaucoup moins importante (9 % d'après Noble (25) et 20 % d'après Massin (26)).

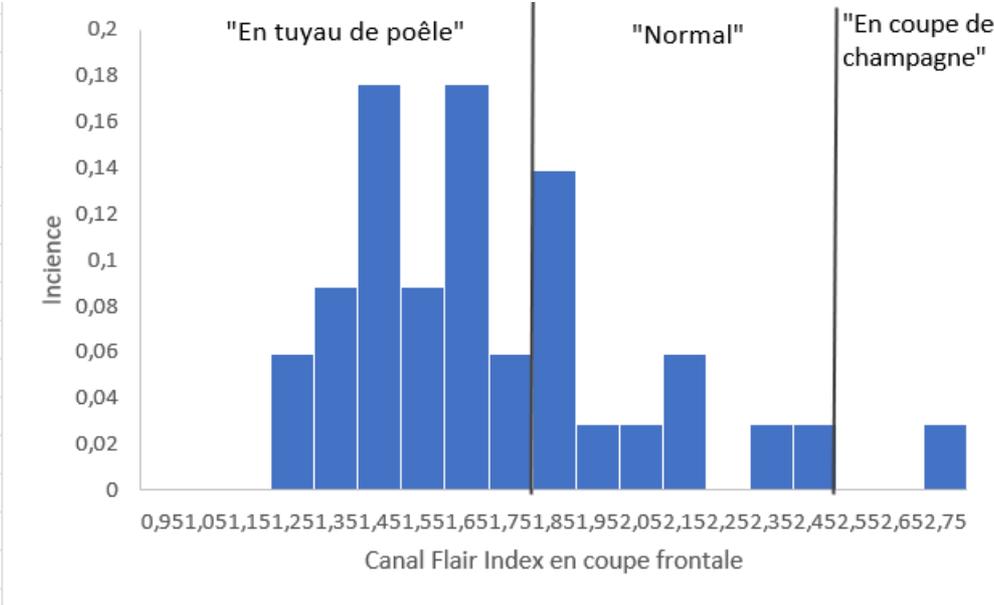


Figure 31 : Distribution des valeurs du canal flare index en coupe frontale et classification correspondante

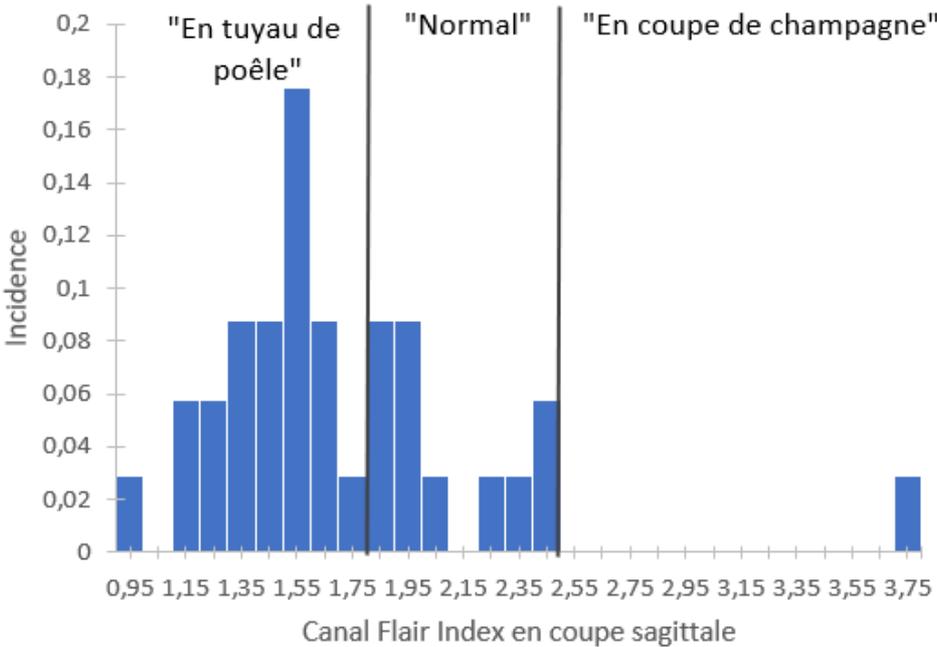


Figure 32 : Distribution des valeurs du canal flare index en coupe sagittale et classification correspondante

Seulement, ces classifications se basent essentiellement sur des mesures radiographiques du CFI (donc en deux dimensions). Or comme il a été expliqué plus haut, ces méthodes de mesures présentent de trop nombreuses sources d'imprécisions (mauvais positionnement du patient, contraction musculaire etc.) (27). La mesure par tomodensitométrie du CFI est donc beaucoup plus précise et pertinente pour notre étude.

Par ailleurs, des études ont montré que la valeur du CFI était très largement dépendante de la façon dont on le mesure, c'est-à-dire selon si l'on considère le rapport entre le centre du petit trochanter et l'isthme, ou le centre du petit trochanter et le centre du fémur ou encore entre le bord proximal du petit trochanter et l'isthme (23). Et ces variations de résultats entraînent parfois de gros changements dans la classification du fémur. En effet, un fémur considéré comme normal avec une méthode de mesure peut se révéler « En tuyau de poêle » avec une autre méthode de mesure (23). Cependant, il ne semble pas ressortir des études précédentes qu'une de ces méthodes soit meilleure que les autres. En revanche, la méthode consistant à calculer le rapport entre la largeur du fût fémoral au petit trochanter par rapport à la largeur du fût fémoral au niveau de l'isthme semble être la méthode la plus utilisée en morphométrie canine (23), c'est donc pour cette raison que nous avons choisi d'utiliser cette méthode pour notre étude.

B. CHOIX DU MATÉRIEL ET MÉTHODE

1) *Matériel*

Cette étude a été réalisée sur 17 chiens et donc 34 fémurs, ce qui est peu mais tout de même raisonnable. Un échantillon de plus grande taille aurait toutefois permis une meilleure pertinence statistique.

De plus, les chiens de l'étude ne sont distingués les uns des autres que par leur poids. Aucune considération raciale ou de sexe n'a été prise en compte. Or, des variations morphométriques osseuses liées à l'ethnicité ou au sexe ont été démontrées chez l'homme (28, 29) et chez le chien, où il a par exemple été démontré que les angles anatomique et mécanique proximaux latéraux varient entre les races (ici entre les Golden Retriever, Labrador Retriever, Rottweilers et les Bergers Allemands) (30). Ainsi, un faible échantillon tel que le nôtre ne permet pas de représenter toute la diversité phénotypique raciale ou encore la diversité inter-individuelle rencontrée entre les individus d'une même race.

La classification par catégorie de poids est néanmoins une bonne façon de répartir les individus, c'est un premier indicateur qui permet de visualiser comment évoluent les paramètres selon le poids et donc logiquement la taille des individus. Cependant, deux chiens de races différentes peuvent avoir le même poids et pourtant une conformation osseuse totalement différente.

Enfin, n'ayant pas accès au dossier médical des individus, aucune information sur leurs antécédents médicaux nous a été fourni, et notamment sur d'éventuelles fractures ayant pu modifier la conformation osseuse du fémur par exemple.

2) *Méthode*

Les mesures ont été réalisées à partir de scanner, ce qui présente tout un tas d'intérêts comme précisé au préalable, mais aussi l'inconvénient de ne pas bien visualiser les tissus cartilagineux.

Enfin, pour chaque paramètre seulement trois mesures ont été réalisées, ce qui limite aussi la viabilité statistique de l'étude. De plus, ces mesures ont été réalisées d'affilée, et non sur des jours différents, ce qui peut réduire la variabilité des mesures.

CONCLUSION

La chirurgie en médecine vétérinaire est en plein essor depuis quelques années et les progrès techniques ne cessent d'augmenter. La pose de prothèse totale de hanche chez le chien se développe et l'intérêt d'avoir des modèles d'implants adaptés à la conformation du fémur proximal de cette espèce est grandissant. Pour cela, la connaissance de la morphométrie du fémur proximal est essentielle. Cette étude s'est donc proposée de mesurer divers paramètres nécessaires à la conception de tige fémorale à partir d'images tomodensitométriques et pour un échantillon représentatif des variations de taille et de poids de la population canine. Elle permet de compléter les bases de données actuelles sur la morphométrie canine à partir d'images scanner plus précises que la simple radiographie. Les mesures sont répétables et les données décrites en médecine humaine ont pu être transposées au chien. Enfin, elle met en lumière des différences notables de la morphométrie proximale du fémur en fonction du poids de l'animal.

Ces données, si elles sont utiles pour concevoir une gamme de prothèse de hanche adaptée aux diverses variations anatomiques du chien, portent néanmoins sur un petit échantillon. Une étude plus large est nécessaire afin de conforter ces résultats et de permettre de mieux adapter les implants orthopédiques chez le chien.

BIBLIOGRAPHIE

1. PALIERNE S. *Etude morphométrique du fémur chez le chien*. Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse. 2002.
2. BELOT N. Prothèse de hanche sur mesure et voie d'abord antérieure de Hanche. [en ligne] *Chirurgie orthopédique et traumatologie à Rennes*. 2018.
Disponible sur : <https://www.chirurgie-orthopedique-rennes.fr/prothese-de-hanche-sur-mesure-et-voie-dabord-anterieure-de-hanche/>
3. MOUKOKO, D. Le périoste vascularisé et la reconstruction osseuse [en ligne]. *Chirurgie de la Main*. 1 décembre 2010. Vol. 29, pp. S214-S220. DOI 10.1016/j.main.2010.09.008.
Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1297320310001599>
4. PAULIN A. *Comparaison du comportement mécanique de quatre fémurs de chien*. Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse. 2007.
5. BARONE R. *Ceinture et membre pelvien*. In : Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 1, Ostéologie. Paris : Vigot, 1986.
6. CARTON M. *Développement d'un logiciel de modélisation 3D destiné à l'apprentissage de l'anatomie de la hanche et à la compréhension de la luxation de l'articulation coxo-fémorale et de sa prise en charge thérapeutique chez le chien*. Thèse de doctorat d'exercice vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon. 2020.
7. ANDERSON W.D., ANDERSON, B.G. *Atlas of canine anatomy*. Philadelphia : Lea & Febiger, 1994.
8. EVANS H.E. et MILLER M.E. *Miller's anatomy of the dog*. . Fourth edition. St. Louis, Missouri : Elsevier, 2013.
9. AL AIYAN A., RICHARDSON K., MANCHI G., GINJA M. et BRUNNBERG L. Measurement of the Femoral Anteversion Angle in Medium and Large Dog Breeds Using Computed Tomography. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021. Vol. 8, pp. 540406. DOI 10.3389/fvets.2021.540406.
10. WEI Q., HAN J., JIA Y., ZHU L., ZHANG S., LU Y., YANG B. et TANG S. An approach for fully automatic femoral neck-shaft angle evaluation on radiographs. *The Review of Scientific Instruments*. 1 janvier 2020. Vol. 91, n° 1, pp. 013706. DOI 10.1063/1.5089738.
11. JAHEL, A. et LATIFI, M. *Les ostéotomies fémorales de valgisation dans le traitement des pseudarthroses du col du fémur*. PhD Thesis. Thèse de médecine. Faculté de Marrakech, 2008.
12. ROBERTSON, D. D., ESSINGER, J. R., IMURA, S., KUROKI, Y., SAKAMAKI, T., SHIMIZU, T. et TANAKA, S. Femoral deformity in adults with developmental hip dysplasia. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. juin 1996. N° 327, pp. 196-206. DOI 10.1097/00003086-199606000-00025.

13. Définition de morphométrie - Encyclopædia Universalis. [en ligne]. [Consulté le 22 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://www.universalis.fr/dictionnaire/morphometrie/>
14. KUO, T. Y., SKEDROS, J. G. et BLOEBAUM, R. D. Comparison of human, primate, and canine femora: implications for biomaterials testing in total hip replacement. *Journal of Biomedical Materials Research*. 5 juin 1998. Vol. 40, n° 3, pp. 475-489. DOI 10.1002/(sici)1097-4636(19980605)40:3<475::aid-jbm19>3.0.co;2-i.
15. PALIERNE S., ASIMUS E., MATHON D., MEYNAUD-COLLARD P. et AUTEFAGE A. Geometric analysis of the proximal femur in a diverse sample of dogs. *Research in Veterinary Science*. 1 juin 2006. Vol. 80, n° 3, pp. 243-252. DOI 10.1016/j.rvsc.2005.07.010.
16. RUBIN, P. J., LEYVRAZ, P. F. et HEEGAARD, J.-H. Variations radiologiques des paramètres anatomiques du fémur proximal en fonction de sa position en rotation. *Revue de Chirurgie Orthopédique*, 1989. 1989. Vol. 75, pp. 209-215.
17. RUBIN, P. J., LEYVRAZ, P. F., AUBANIAC, J. M., ARGENSON, J. N., ESTÈVE, P. d et DE ROGUIN, B. The morphology of the proximal femur. A three-dimensional radiographic analysis. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*. 1992. Vol. 74, n° 1, pp. 28-32.
18. KIM, J. S., PARK, T. S., PARK, S. B., KIM, J. S., KIM, I. Y. et KIM, S. I. Measurement of femoral neck anteversion in 3D. Part 1: 3D imaging method. *Medical & Biological Engineering & Computing*. novembre 2000. Vol. 38, n° 6, pp. 603-609. DOI 10.1007/BF02344864.
19. HUSMANN O., RUBIN P.J., LEYVRAZ, P.F., DE ROGUIN B. et ARGENSON J.N. Three-dimensional morphology of the proximal femur. *The Journal of Arthroplasty*. 1 juin 1997. Vol. 12, n° 4, pp. 444-450. DOI 10.1016/S0883-5403(97)90201-1.
20. JORNET M. *Etude de la courbure crânio-caudale centromédullaire du fémur du chien*. [en ligne]. other. 2006. [Consulté le 22 juin 2022]. Disponible à l'adresse: <https://oatao.univ-toulouse.fr/1683/>
21. KARA M.E., SEVIL-KILIMCI F., DILEK Ö.G. et ONAR V. Proximal and distal alignment of normal canine femurs: A morphometric analysis. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*. 1 mai 2018. Vol. 217, pp. 125-128. DOI 10.1016/j.aanat.2018.02.006
22. SHALABY M.H., SAMIR S. et DEIF A. CT measurement of femoral anteversion angle in patients with unilateral developmental hip dysplasia: A comparative study between 2D and 3D techniques. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 1 septembre 2017. Vol. 48, n° 3, pp. 639-643. DOI 10.1016/j.ejrn.2017.02.007.
23. MARTINS, J., FERREIRA, A. J. et GINJA, M. M. Morphometric assessment of the hip joint in the Estrela Mountain Dog breed. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.* 2012. Vol. 25, n° 3, pp. 202-210. DOI 10.3415/VCOT-11-07-0101.
24. SEVIL-KILIMCI F. et KARA M.E. Canal Flare Index in the Canine Femur Is Influenced by the Measurement Method. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.* mai 2020. Vol. 33, n° 3, pp. 198-204. DOI 10.1055/s-0040-1701501.

25. GANZ S.M., JACKSON J. et VANENKEVORT B. Risk factors for femoral fracture after canine press-fit cementless total hip arthroplasty. *Veterinary surgery: VS.* août 2010. Vol. 39, n° 6, pp. 688-695. DOI 10.1111/j.1532-950X.2010.00694.x.
26. NOBLE, P C, ALEXANDER, J W, LINDAHL, L J, YEW, D T, GRANBERRY, W M et TULLOS, H S. The anatomic basis of femoral component design. *Clinical orthopaedics and related research.* 1 octobre 1988. N° 235, pp. 148-165.
27. MASSIN, P., GEAIS, L., ASTOIN, E., SIMONDI, M. et LAVASTE, F. The anatomic basis for the concept of lateralized femoral stems: a frontal plane radiographic study of the proximal femur. *The Journal of Arthroplasty.* janvier 2000. Vol. 15, n° 1, pp. 93-101. DOI 10.1016/s0883-5403(00)91337-8.
28. RUBIN, P. J., LEYVRAZ, P. F. et HEEGAARD, J. H. [Radiologic changes of anatomic parameters of the proximal femur as a function of its position in rotation]. *Revue De Chirurgie Orthopedique Et Reparatrice De L'appareil Moteur.* 1989. Vol. 75, n° 4, pp. 209-215.
29. HSU, Chi-Pin, LEE, Pei-Yuan, WEI, Hung-Wen, LIN, Shang-Chih, LU, Yung-Chang, LIN, Jian-Cheng et HUANG, Chang-Hung. Gender differences in femoral trochlea morphology. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 1 février 2021. Vol. 29, n° 2, pp. 563-572. DOI 10.1007/s00167-020-05944-3.
30. MAHFOUZ, Mohamed, ABDEL FATAH, Emam ElHak, BOWERS, Lyndsay Smith et SCUDERI, Giles. Three-dimensional Morphology of the Knee Reveals Ethnic Differences. *Clinical Orthopaedics and Related Research®.* 1 janvier 2012. Vol. 470, n° 1, pp. 172-185. DOI 10.1007/s11999-011-2089-2.
31. TOMLINSON, James, FOX, Derek, COOK, James L. et KELLER, G. Greg. Measurement of femoral angles in four dog breeds. *Veterinary surgery: VS.* août 2007. Vol. 36, n° 6, pp. 593-598. DOI 10.1111/j.1532-950X.2007.00309.x.

MORPHOMÉTRIE DU FÉMUR PROXIMAL : ÉTUDE TOMODENSITOMÉTRIQUE À PARTIR DE 17 CAS

Auteur

DUPLAND Marie

Résumé

Il a été constaté depuis maintenant plusieurs années que le nombre de chiens atteints de dysplasie de la hanche est en constante augmentation, augmentant ainsi le nombre de candidats potentiels à la pose de prothèse totale de hanche. Ainsi, c'est dans ce contexte et avec l'ambition de permettre la conception d'implants mieux adaptés à chaque individu que nous avons souhaité récolter des données sur la morphométrie fémorale proximale canine acquises grâce à des images tomodensitométriques. L'objectif était alors de compléter les bases de données existantes en présentant nos résultats par catégorie de poids.

Ce manuscrit rassemble dans un premier temps des connaissances théoriques sur l'anatomie de la hanche et sur la morphométrie osseuse. La seconde partie est consacrée à l'étude morphométrique de la partie proximale du fémur, au moyen de mesures réalisées sur des scanners. Un traitement statistique et une discussion autour des résultats obtenus composent également cette partie.

Mots-clés

Morphométrie / Chien / Fémur proximal / Tomodensitométrie

Jury

Président du jury : **Madame la Professeure VOLPE HAEGELEN Claire**
Directeur de thèse : **Monsieur le Professeur CACHON Thibaut**
2nd Assesseur : **Monsieur le Docteur GILLET Benoît**