

# MISE AU POINT D'UN OUTIL DE CALCUL AUTOMATISE DE LA DATE DE MISE-BAS CHEZ LA CHIENNE ET LA CHATTE À PARTIR DES DONNEES DE LA LITTERATURE

---

THÈSE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**Sarah CLOCHARD**  
Née, le 25/02/1995 à POITIERS (86)

---

**Directeur de thèse : Mme Sylvie CHASTANT**

---

## JURY

PRESIDENT :  
**M. Jean PARINAUD**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :  
**Mme Sylvie CHASTANT**  
**Mme Hanna MILA**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE  
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation  
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

**Directeur** : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie - Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

**PROFESSEURS 1° CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

**PROFESSEURS 2° CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*

**PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE**

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*  
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

#### **MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)**

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*  
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*  
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*  
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*  
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*  
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*  
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie – Analgésie*  
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*  
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*  
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*  
M. **LHERMIE Guillaume**, *Economie de la santé animale*  
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*  
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*  
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*  
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*  
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*  
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

#### **ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS**

- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*  
Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*  
Mme **ROMANOS Lola**, *Pathologie des ruminants*

#### **ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS**

- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*  
M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*  
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*  
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*  
M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

# REMERCIEMENTS

**Au président de thèse,**

**A Monsieur le Professeur Jean PARINAUD,**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse  
Praticien hospitalier  
*Médecine de la Reproduction*

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,  
Hommage respectueux et sincères remerciements.

**Au jury de thèse,**

**A Madame le Professeur Sylvie CHASTANT,**

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Reproduction*

Qui a accepté d'encadrer ce travail de thèse et m'a fait confiance pour  
mener à bien cette étude,  
Sincères remerciements pour vos conseils.

**A Madame le Docteur Hanna MILA,**

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
*Reproduction*

Qui m'a fait l'honneur d'accepter le rôle d'assesseur de ce jury de thèse,  
Sincères remerciements.



# TABLE DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>15</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS.....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>19</b>
<b>PREMIÈRE PARTIE - BIOMÉTRIE EMBRYONNAIRE ET FŒTALE PAR ÉCHOGRAPHIE CHEZ LA CHIENNE ET LA CHATTE : ANALYSE DE LA LITTÉRATURE .....</b>	<b>25</b>
<b>1. Méthode de sélection des études.....</b>	<b>25</b>
<b>2. Analyse des études portant sur la biométrie par échographie.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1. Période d'étude.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2. Populations étudiées.....</b>	<b>28</b>
2.2.1. Chiennes.....	28
2.2.1.1. Effectifs	28
2.2.1.2. Formats des femelles	30
2.2.1.3. Race des femelles	31
2.2.1.4. Age des femelles	32
2.2.1.5. Taille des portées	32
2.2.2. Chattes .....	33
2.2.2.1. Effectifs	33
2.2.2.2. Formats et races des femelles	34
2.2.2.3. Age des femelles et taille des portées	34
<b>2.3. Méthodologies .....</b>	<b>34</b>
2.3.1. Recrutement des femelles .....	34
2.3.2. Point de repère.....	35
2.3.2.1. Jour de la gestation (DG)	35
2.3.2.2. Jours avant parturition (DBP)	36
2.3.3. Modèles et types de régression .....	37
2.3.4. Evaluation de la précision.....	37
2.3.5. Facteurs de variation .....	39

<b>2.4. Paramètres biométriques étudiés .....</b>	<b>40</b>
2.4.1. Gestation précoce.....	41
2.4.1.1. Diamètre interne de la cavité chorionique	41
2.4.1.2. Longueur de l'embryon	46
2.4.1.3. Diamètre externe de la corne utérine	48
2.4.1.4. Epaisseur et longueur du placenta	51
2.4.2. Gestation tardive .....	53
2.4.2.1. Diamètre Bipariétal	53
2.4.2.2. Diamètre abdominal	60
2.4.2.3. Diamètre de la partie profonde de la vésicule diencephalo-télecephalique	63
2.4.2.4. Autres paramètres fœtaux	64
<b>3. Mise au point des arbres de décision .....</b>	<b>67</b>
<b>3.1. Choix des paramètres .....</b>	<b>69</b>
3.1.1. Chez la chienne.....	69
3.1.2. Chez la chatte .....	72
<b>3.2. Formats .....</b>	<b>74</b>
3.2.1. Chez la chienne.....	74
3.2.2. Chez la chatte .....	79
<b>3.3. Morphologie crânienne.....</b>	<b>85</b>
3.3.1. Influence du caractère « brachycéphale » sur les modèles d'ICC.....	85
3.3.2. Influence du caractère « brachycéphale » sur les modèles du BP.....	87
<b>3.4. Races .....</b>	<b>90</b>
3.4.1. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de format miniature .....	90
3.4.2. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de petit format .....	96
3.4.3. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de format moyen .....	98
3.4.4. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de grand format .....	101
3.4.5. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de format géant .....	106



<b>3.5. Facteurs de variation .....</b>	<b>109</b>
3.5.1. La taille de la portée.....	109
3.5.2. L'âge de la mère avant gestation.....	111
3.5.3. Le « sex ratio » de la portée.....	112
3.5.4. Autres facteurs de variation .....	112
<b>3.6. Période de gestation.....</b>	<b>113</b>
<b>3.7. Mode de calcul : jour de gestation (DG) ou nombre de jours pré-partum (DBP) ....</b>	<b>114</b>
<b>DEUXIÈME PARTIE - DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL DE CALCUL AUTOMATISÉ DE LA DATE DE MISE-BAS.....</b>	<b>117</b>
<b>1. Objectifs .....</b>	<b>117</b>
<b>2. Méthode de mise au point .....</b>	<b>117</b>
<b>3. Utilisation de l'outil de calcul.....</b>	<b>120</b>
<b>TROISIÈME PARTIE - DISCUSSION .....</b>	<b>123</b>
<b>1. La méthodologie des études .....</b>	<b>123</b>
1.1.1. Les paramètres étudiés et le type de modèles développés.....	123
1.1.2. Les protocoles d'étude .....	124
<b>2. L'outil.....</b>	<b>126</b>
<b>2.1. La fiabilité de prédiction de l'outil.....</b>	<b>126</b>
2.1.1. Variabilité liée au format.....	127
2.1.2. Variabilité liée à la forme de la tête .....	128
2.1.3. Variabilité liée à la race.....	129
2.1.4. Variabilité liée à la période de gestation .....	130
2.1.5. Variabilité liée à la taille de la portée.....	131
<b>2.2. L'utilisation de l'outil de calcul .....</b>	<b>132</b>
<b>2.3. Les intérêts de l'outil de calcul.....</b>	<b>133</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>135</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>137</b>

<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>145</b>
<b>ANNEXE 1 : Etudes sur la biométrie embryonnaire et fœtale chez la chienne (n = 26)</b>	<b>147</b>
<b>ANNEXE 2 : Etudes sur la biométrie embryonnaire et fœtale chez la chatte (n = 11)....</b>	<b>154</b>
<b>ANNEXE 3 : Arbre de décision pour les chiennes.....</b>	<b>157</b>
<b>ANNEXE 4: Arbre de décision pour les chattes .....</b>	<b>160</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Variations des concentrations sanguines hormonales autour du jour d'ovulation chez la chienne (Evans et de Lahunta, 2013) .....	22
Figure 2 : Répartition du nombre d'études incluses chez la chienne (n = 26) et chez la chatte (n = 11) .....	27
Figure 3 : Répartition des études chez la chienne selon leur objectif, par périodes de 5 ans (n = 26) .....	27
Figure 4 : Effectifs totaux des études chez la chienne (n = 26) .....	28
Figure 6 : Répartition des groupes d'étude selon le nombre de chiennes échographiées pour développer des formules biométriques (n = 27 groupes d'étude) .....	29
Figure 5 : Effectifs des études sur les chiennes à l'origine de formules biométriques (n = 16 études) .....	29
Figure 7 : Nombre d'étude par format racial chez la chienne (n = 26 études) .....	30
Figure 8 : Nombre d'études par format racial chez la chienne (n = 26 études) .....	31
Figure 9 : Effectifs des études à l'origine de formules biométriques chez la chatte .....	33
Figure 10 : Précision de prédiction à plus ou moins un et deux jours de la date prédite par le modèle linéaire utilisant le diamètre bipariétal (BP) (Groppetti et al., 2015) chez des chiennes Berger Allemand (n=17) (Cecchetto et al., 2017) .....	38
Figure 11 : Fréquence de prise en compte des différents facteurs maternels et gestationnels chez la chienne (n = 26 études) et la chatte (n = 11 études) .....	40
Figure 12 : Mesure du diamètre interne de la cavité chorionique sur une image échographique chez une chienne 36 jours avant mise-bas (Beccaglia et Luvoni, 2006) et schéma explicatif de la méthode de mesure (Hermanson et al., 2018) .....	41
Figure 13 : Répartition des valeurs du diamètre interne de la cavité chorionique en fonction du jour de gestation, mesurées chez 16 chattes croisées, ainsi que la fonction polynômiale associée (Garcie Mitacek et al., 2015) .....	42
Figure 14 : Répartition des valeurs du diamètre interne de la cavité chorionique selon le nombre de jours pré-partum(A) chez 23 chattes Maine Coon entre 10 et 40 jours de gestation environ (Socha et Janowski, 2019) et (B) chez 9 chiennes de format géant entre 23 et 41 jours de gestation environ (Alonge et al., 2016) .....	43
Figure 15 : Mesure de la longueur de l'embryon en coupe longitudinale sur une image échographique (Lopate, 2018) et schéma explicatif de la mesure (CR) (Nuez, 1994) .....	46
Figure 16 : Répartition des valeurs de la longueur de l'embryon en fonction du jour de la gestation après accouplement chez 16 chattes de races croisées (Garcia Mitacek et al., 2015) .....	47

Figure 17 : Mesure du diamètre externe de la corne utérine en coupe transverse (ODUH) chez une chienne 31 jours avant mise-bas (Luvoni et Beccaglia, 2006) et schéma explicatif de la mesure en coupe longitudinale (Hermanson et al., 2018) .....	49
Figure 18 : Valeurs moyennes du diamètre externe de la corne uérine chez 10 chiennes Yorkshire Terrier et 8 chiennes Bichon Maltais, en fonction du nombre de jours après ovulation (Son et al., 2001).....	49
Figure 19 : Mesure de la longueur du placenta (PL) sur une coupe longitudinale d'une vésicule embryonnaire (Luvoni et Beccaglia, 2006) et mesure de l'épaisseur du placenta sur une coupe transverse (PT) d'une vésicule embryonnaire (Luvoni et Beccaglia, 2006) .....	51
Figure 20 : Mesure du diamètre bipariétal sur une coupe frontale d'un crâne (Topie et al., 2015) et schéma explicatif de la mesure sur une coupe dorsale d'un crâne (Hermanson et al., 2018)...	53
Figure 21 : Représentation graphique de la répartition des valeurs du diamètre bipariétal en fonction du nombre de jours avant mise-bas chez 57 chiennes de grand format, ainsi que la régression linéaire associée (Cuevas, 2019) .....	54
Figure 22 : Représentation graphique de la répartition des valeurs du diamètre bipariétal en fonction du nombre de jours avant mise-bas chez 5 chattes de tous formats ainsi que la régression linéaire associée (Blaise, 2006).....	55
Figure 23 : Répartition des mesures du diamètre bipariétal chez 6 chiennes de race Beagle entre 30 et 60 jours de gestation après le dernier accouplement (Moriyoshi et al., 1995) .....	55
Figure 24 : Valeurs moyennes du diamètre bipariétal en fonction de l'âge gestationnel chez 8 chattes de format moyen, ainsi que les modèles linéaire (grands tirets), paraboliques (petits tirets) et exponentiel (ligne) associés (Zambelli et al., 2004) .....	56
Figure 25 : Mesure du diamètre abdominal (BD) sur une coupe transverse de l'abdomen d'un foetus chez une chienne 9 jours avant mise-bas (Luvoni et Grioni, 2000) et schéma explicatif (Tainturier, 2005).....	60
Figure 26 : Courbe de croissance du diamètre abdominal en fonction du nombre de jours avant parturition (JPP) chez 5 chattes de tous formats (Blaise, 2006).....	61
Figure 27 : Répartition des valeurs du diamètre abdominal en fonction du nombre de jours restants avant mise-bas (DBP) chez 20 chiennes de race Berger Allemand (Cecchetto et al., 2017) .....	61
Figure 28 : Mesure du diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-télocéphalique sur une coupe dorsale du crâne d'un foetus (Lopate, 2012) .....	63
Figure 29 : Mesure de la longueur du fémur en coupe longitudinale chez une chatte 6 jours précédents la mise-bas (Gatel et al., 2014) .....	65
Figure 30: Nœuds de l'arbre de décision conduisant à la sélection des équations applicables (ordonnés de gauche à droite) .....	67

Figure 31 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des régressions linéaires moyennes de chaque format racial chez la chienne.....	76
Figure 32 : Variations de prédiction du nombre de jours pré-partum entre la formule basée sur l'ICC tenant compte du poids de la mère (Alonge et al., 2016a) et celles des différents formats raciaux, pour un ICC mesurant entre 5 et 30 mm.....	77
Figure 33 : Variations de prédiction du nombre de jours pré-partum entre la formule basée sur le BP tenant compte du poids de la mère (Alonge et al., 2016a) et celles des différents formats raciaux, pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm.....	78
Figure 34 : Variations de prédiction du nombre de jours pré-partum entre les formules basées sur le diamètre abdominal (BD) des différents formats raciaux, pour un BD mesurant entre 5 et 30 mm .....	79
Figure 35 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des modèles pour chattes de format moyen (Zambelli et al., 2002 ; Garcia Mitacek et al., 2015) et pour chattes de race Maine Coon (Socha et Janowski, 2019).....	80
Figure 36 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction de la mesure du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des formules pour chattes de format moyen (Becke t al., 1990 ; Zambelli et al., 2004 ; Blaise, 2006 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015), tout format (Beccaglia et al., 2008) et Maine Coon (Socha et Janowski, 2019) .....	81
Figure 37 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre abdominal (BD) ; Comparaison des formules pour chattes de format moyen (Beck et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004 ; Blaise, 2006 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015) .....	84
Figure 38 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des formules pour chiennes de format miniature de races non brachycéphales (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011) et mixtes (Socha et Janowski, 2018) .....	86
Figure 39 : Nombre de jours rpré-partum(DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des formules pour chiennes de grand format de races non brachycéphales (Socha et Janowski, 2011 ; Groppetti et al., 2015) et mixtes (Alonge et al., 2016b) .....	86
Figure 40 : Différences maximales et minimales du nombre de jours pré-partum (DBP) entre les modèles brachycéphales (Feliciano et al., 2015; Cuevas, 2019) (intervalles de gauches pour chaque mesure) et entre les modèles brachycéphales et non brachycéphales (Luvoni et Grioni, 2000 ; Cuevas, 2019) (intervalles de droite) pour le petit format .....	88
Figure 41 : Différences maximales et minimales du nombre de jours pré-partum (DBP) prédit entre les modèles brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) (intervalles de gauche pour chaque mesure) et entre les modèles brachycéphales et non brachycéphales (Luvoni et Grioni, 2000 ; Cuevas, 2019) (intervalles de droite) pour le format moyen.....	89

Figure 42 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des modèles spécifiques aux Yorkshire Terrier et aux Bichon Maltais et du modèle établi pour d'autres races de format miniature .....	91
Figure 43 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Précision de prédiction du modèle pour petit format (Luvoni et Grioni, 2000) à plus ou moins un et deux jours chez des chiennes (n=7) Bichon Maltais (Son et al., 2001).....	95
Figure 44 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des modèles pour Carlin et Shih Tzu (Feliciano et al., 2015), pour brachycéphales (Cuevas, 2019) et pour non brachycéphales (Luvoni et Grioni, 2000), pour petit format.....	97
Figure 45 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des modèles pour chiennes brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) et non brachycéphales (Yeager et al., 1992 ; Luvoni et Grioni, 2000 ; Cuevas, 2019) pour format moyen .....	100
Figure 46 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des modèles pour chiennes Golden Retriever (Luvoni et Grioni, 2000 ; Socha et Janowski, 2011), Berger Allemand (Groppetti et al., 2015) et d'autres races (Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019) de grand format.....	106
Figure 47 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du BP (mm) ; Comparaison des modèles pour chiennes de plusieurs races non brachycéphales (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b) et brachycéphales ou non (Cuevas, 2019) de format géant.....	107
Figure 48 : Durée de gestation moyenne estimée à partir de l'ovulation en fonction du nombre de chiots dans la portée (Mir et al., 2011) .....	110
Figure 49: Page de tableur contenant les caractéristiques et les listes déroulantes .....	118
Figure 50 : Exemple de combinaisons de caractéristiques possibles et des formules associées	119
Figure 51 : Espace vétérinaire de l'outil de calcul.....	120
Figure 52 : Durée de gestation à partir du jour d'ovulation estimé chez 151 chiennes de différents formats (Mir et al., 2011).....	128
Figure 53 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (Cecchetto et al., 2017) et du diamètre abdominal (AD ; Topie et al., 2015) autour des droites de régression	131

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Durée de gestation chez la chienne en fonction de l'évènement considéré comme J0 .....	22
Tableau 2 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique selon le format racial .....	45
Tableau 3 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique selon le format racial .....	45
Tableau 4 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction de la longueur de l'embryon selon le format racial .....	48
Tableau 5 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction de la longueur de l'embryon selon le format racial .....	48
Tableau 6 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre externe de la corne utérine selon le format racial .....	50
Tableau 7 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre externe de la corne utérine selon le format racial .....	50
Tableau 8 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction de l'épaisseur et de la longueur du placenta selon le format racial .....	52
Tableau 9 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre bipariétal selon le format racial .....	58
Tableau 10 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre bipariétal selon le format racial .....	59
Tableau 11 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre abdominal selon le format racial .....	62
Tableau 12 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre abdominal selon le format racial .....	62
Tableau 13 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique selon le format racial .....	64
Tableau 14 : Formule de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique selon le format racial .....	64
Tableau 15 : Formule de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre de l'estomac selon le format racial .....	65
Tableau 16 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du de la longueur du fémur selon le format racial .....	66

Tableau 17: Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du de la longueur du fémur selon le format racial .....	66
Tableau 18 : Formules basées sur l'ICC et équations moyennes pour chaque format racial chez la chienne .....	75
Tableau 19 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours restants avant la mise-bas prédit par les formules établies chez la chatte .....	82
Tableau 20 : Précisions de prédiction des formules basées sur le BP chez la chatte, à plus ou moins un et deux jours autour de la date prédite, à partir des mesures et nombre de jours restants réellement avant la mise-bas chez 5 chattes de format moyen (Beck et al., 1990).....	83
Tableau 21 : Précisions de prédiction des formules basées sur le BD chez la chatte, à plus ou moins un et deux jours autour de la date prédite, à partir des mesures et nombre de jours restants réellement avant la mise-bas chez 3 chattes de format moyen (Beck et al., 1990).....	84
Tableau 22 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) pour format miniature .....	92
Tableau 23 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour format miniature.....	94
Tableau 24 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédit entre les modèles brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) et non brachycéphale (Luvoni et Grioni, 2000) basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour petit format .....	97
Tableau 25 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour format moyen.....	99
Tableau 26 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour grand format.....	104
Tableau 27 : Tableau présentant les précisions de prédiction en fonction de la taille de la portée, des modèles du diamètre interne de la cavité chorionique et du diamètre bipariétal de Luvoni et Grioni (2000) pour des chiennes de formats petit et moyen (Beccaglia et Luvoni, 2006) .....	111
Tableau 28 : Précisions de prédiction des modèles basés sur le diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) et sur le diamètre bipariétal (BP) chez la chienne (Luvoni et Grioni, 2000) et chez la chatte (Beccaglia et al., 2008a) de la 4ème à la 9ème semaine de gestation (Beccaglia et Luvoni, 2012).....	113
Tableau 29 : Valeurs du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) à 25-26 jours de la mise-bas (MB) et du diamètre bipariétal (BP) à 1-2 jours de la mise-bas (MB) chez les chiennes, en fonction du format (Alonge et al., 2016b ; Socha et Janowksi, 2018 ; Limmanontet al., 2019)...	127



## LISTE DES ABREVIATIONS

**BD** : Body Diameter = Diamètre abdominal

**BP** : Biparietal Diameter = Diamètre bipariétal

**CRL** : Crown-Rump Length = Longueur de l'embryon

**DBP** : Days Before Parturition = Nombre de jours pré-partum

**DG** : Day of gestation = Jour de gestation

**DPTV** : Deep Portion of the Diencephalo-Telencephalic Vesicle = Portion profonde de la vésicule diencéphalo-télocéphalique

**EVD** : Embryonic Vesicle Diameter = Diamètre de la vésicule embryonnaire (ou **GSD** : inner Diameter of Gestational Sac)

**FL** : Femur length = Longueur du fémur

**GA** : Gestational age = Age gestationnel

**GD** : Gastric diameter = Diamètre de l'estomac

**HD** : Head Diameter = Diamètre de la tête

**ICC** : Inner diameter of the Chorionic Cavity = Diamètre interne de la cavité chorionique

**MB** : Mise-bas

**ODUH** : Outer Diameter of Uterine Horn = Diamètre externe de la corne utérine

**PL** : Placenta Length = Longueur du placenta

**PT** : Placental thickness = Epaisseur du placenta



## INTRODUCTION

La mise-bas est un évènement stressant pour les propriétaires ou éleveurs de chiens et de chats, ainsi que pour les vétérinaires, car à risque pour les nouveau-nés et parfois pour la mère. La mortinatalité, correspondant à la naissance d'un chiot ou d'un chaton mort, s'élève autour de 7,4% chez les chiens et 8,5% chez les chats (Chastant-Maillard et al., 2017 ; Fournier et al., 2017). Cette mortalité élevée représente une perte sentimentale et parfois économique importante, ainsi qu'un problème en termes de bien-être animal.

Une mortinatalité élevée est fréquemment rencontrée dans des contextes de dystocie (Darvelid et Linde-Forsberg, 1994), situations fréquentes puisqu'on estime qu'entre 5 et 28% des mise-bas chez les chiennes et environ 6 et 18% chez les chattes nécessitent une césarienne d'urgence ou une assistance médicale (Gunn-Moore et Thrusfield, 1995 ; Hollinshead et Hanlon, 2017).

L'incidence des dystocies varie grandement entre les races. Dans l'espèce canine, une forte incidence est rapportée chez les formats miniature et petit (Gaudet, 1985 ; Munnich et Kuchenmeister, 2009). C'est également le cas chez les races sélectionnées pour leur morphologie crâniale large, causant une disproportion fœto-pelvienne, comme les races brachycéphales chez les chiennes et brachycéphales ou dolicocephales chez les chattes (Gunn-Moore et Thrusfield, 1995 ; Hollinshead et Hanlon, 2017). Or ces races sont de plus en plus couramment adoptées en France, avec par exemple un nombre d'inscriptions au Livre des Origines Français multiplié par presque 14 pour la race Bouledogue Français entre 1990 et 2019 (Société Centrale Canine, 1990 ; Société Centrale Canine ; 2019). De nombreuses études rapportent une fréquence plus élevée des dystocies également lorsque les portées sont de petite taille chez la chienne (1 ou 2 fœtus), associées à une augmentation du poids des fœtus, ce qui peut causer des dystocies par obstruction (Gaudet, 1985 ; Munnich et Kuchenmeister, 2009 ; Hollinshead et Hanlon, 2017). De plus, les portées de très petite taille sont à l'origine d'une stimulation hormonale insuffisante pour initier la parturition (Bennett, 1974 ; Linde-Forsberg et Persson, 2007). Il s'agit donc de situations où il est important de prévoir une assistance médicale ou chirurgicale adaptée et pour cela, connaître le moment du terme. De façon générale, pouvoir assurer une présence humaine lors de la mise-bas permet de diminuer le risque de mortalité périnatale.

Le terme d'une gestation correspond au moment où les fœtus sont suffisamment matures pour survivre dans l'environnement extra-utérin (De Cramer et Nothling, 2018). Cette transition soudaine des conditions intra-utérines aux conditions extra-utérines implique des changements physiologiques complexes, connus comme « l'adaptation néonatale ». Cette adaptation n'est possible que si les fœtus sont matures, ce qui nécessite

entre autres qu'ils aient eu suffisamment de temps pour se développer dans l'utérus (Veronesi, 2018).

Chez la femme, le terme est défini comme un intervalle de 4 semaines pendant lequel la naissance peut avoir lieu sans augmenter les risques de complication pour le nouveau-né (De Cramer et Nothling, 2018). Cependant, cet intervalle sans risque est encore très mal connu en médecine vétérinaire et probablement plus réduit que chez la femme. En effet, la gestation chez la chienne et la chatte est relativement courte et le développement de certains organes majeurs est important en fin de gestation (Lopate, 2008), laissant une marge de sécurité limitée. Peu d'études se sont portées sur le sujet, mais on considère souvent chez la chienne que les fœtus ne sont pas viables avant 58 jours post-ovulation, et les césariennes sont programmées à 60 ou 61 jours post-ovulation. De plus, de par la nature du placenta chez cette espèce, l'apport nutritionnel deviendrait insuffisant lorsque la gestation dépasse la mise-bas spontanée de plus de 2 jours, augmentant le risque de mort intra-utérine (Lopate, 2008). Ces données suggèrent une période de mise-bas sans risque restreinte.

Pouvoir déterminer avec précision la date de parturition est donc essentiel pour assurer des soins adaptés au bon moment. Un bon suivi de mise-bas permet d'augmenter le taux de survie néonatale chez les chiots (Maenhoudt, 2017), notamment dans le cas de césariennes planifiées, en les réalisant au moment du terme. Cette pratique est parfois réalisée chez les races à haut risque de dystocie, telles que les races brachycéphales (Hollinshead et Hanlon, 2017). Cette nouvelle approche de la gestion de la mise-bas reflète des changements dans la pratique des vétérinaires et des propriétaires.

Face à ces enjeux et à une demande croissante de suivi de gestation dans le domaine de l'élevage, de nombreuses techniques de datation de la gestation continuent de se développer, permettant de prédire la date de mise-bas et ainsi anticiper et préparer cet évènement. Ces outils sont nécessaires car la seule connaissance de la date d'accouplement ne permet pas de prédire avec précision le moment de la parturition ni chez la chienne ni chez la chatte. Chez la chienne, la gestation peut s'étendre de 57 à 72 jours à partir de l'accouplement (Concannon, 2000 ; Luvoni et Grioni, 2000 ; Socha et al, 2012). Cette grande variabilité est liée à plusieurs caractéristiques physiologiques de la reproduction canine. D'une part, une partie des spermatozoïdes peuvent survivre et rester viables jusqu'à 7 voire 9 jours dans le tractus reproducteur de la chienne (Concannon, 2000 ; Tainturier, 2005). D'autre part, les ovocytes sont fécondables en moyenne 48h après maturation (2-3 jours post-ovulation) puis dégènèrent, mais certains auteurs rapportent des ovocytes restés fécondables plus longtemps (5 jours, Tsutsui et Shimizu ; 1975). De plus, la chienne peut accepter l'accouplement pendant toute la période de l'œstrus et plusieurs fois. Tous ces facteurs expliquent la durée très variable de la gestation apparente lorsque l'on se base sur le jour de la saillie.

A l'inverse, la durée de gestation est moins variable si l'on prend comme repère l'ovulation ou le pic d'hormone lutéinisante (LH) qui la précède. Chez la majorité des chiennes, la parturition a lieu entre 63 et 67 jours après le pic de LH (90% des gestations dans un intervalle de plus ou moins 2 jours autour de la moyenne, de 65 jours) (Luvoni et Grioni, 2000 ; Kutzler et al., 2003). Celui-ci correspond à une augmentation brutale de la concentration plasmatique en LH. Il a lieu en moyenne 48 heures avant l'ovulation et déclenche celle-ci, mais cette durée peut aller jusqu'à 120 heures. La durée de gestation à partir de l'ovulation est donc de 63 jours en moyenne. Néanmoins, lorsque l'on s'intéresse à la dispersion réelle, on observe une variabilité de l'ordre de 5 à 7 jours entre les chiennes (Mir et al., 2011 ; De Cramer et Nöthling, 2017).

Chez la chatte, la durée de gestation est généralement calculée à partir du premier accouplement. Celle-ci dure en moyenne 65 jours, avec une variabilité apparente pouvant aller jusqu'à 24 jours (Sparkes et al., 2006 ; Gatel, 2011 ; Socha et Janowski, 2019). Chez cette espèce, l'ovulation est déclenchée par l'accouplement, qui induit la sécrétion de LH. Au-delà de la grande variabilité de la durée de gestation, la difficulté pour prédire la date de mise-bas est liée au retour rapide en chaleur des femelles, parfois tous les 8 jours même lorsqu'elles sont gestantes. Il est donc difficile de déterminer quelle saillie est à l'origine de la gestation, d'autant plus qu'il est fréquent que les propriétaires n'aient pas vu les accouplements.

Estimer la date de mise-bas en fonction du jour de la saillie est donc peu fiable. En revanche, il existe d'autres moyens de prédiction mis en œuvre vers le moment de l'ovulation, au cours de la gestation ou à l'approche du terme.

Les méthodes basées sur les événements péri-ovulatoires, utilisés chez la chienne, consistent à dater le jour de l'ovulation et ainsi déduire la date de mise-bas (tableau 1). Parmi elles, le dosage de la concentration de LH sérique permet d'estimer le moment du pic (Fontbonne, 2008). Il est aussi possible de doser la concentration de la progestérone plasmatique. En effet, la libération de LH s'accompagne d'une augmentation de la concentration en progestérone chez la chienne car les follicules commencent à se lutéiniser avant l'ovulation (figure 1). La concentration en progestérone est comprise entre 2 et 3 ng/mL lors du pic de LH (Kim et al., 2007, Beccaglia et al., 2016) et supérieure à 4 ng/mL lors de l'ovulation (Cuevas, 2019 ; Son et al., 2001 ; Beccaglia et al., 2016). Ces dosages hormonaux permettent d'estimer avec une bonne précision ces événements chez la chienne (Kim et al., 2007). Cependant, ils sont peu pratiques d'utilisation car ils nécessitent plusieurs mesures rapprochées sur plusieurs jours. De plus, ces dosages ne sont pas utilisables chez la chatte car il n'existe pas de lutéinisation pré-ovulatoire chez cette espèce et la libération de LH est déclenchée par le coït (Beccaglia et Luvoni, 2012).

Il est également possible de déterminer le début de la période de diœstrus, à partir duquel la gestation dure en moyenne 57 jours (Kim et al., 2007 ; Tainturier, 2005), grâce à des

cytologies vaginales répétées, ou encore de visualiser l'ovulation par échographie chez la chienne. Cependant ces méthodes ne sont pas utilisées chez la chatte (Beccaglia, 2011) et sont moins précises que les dosages de LH ou de progestérone chez la chienne pour prédire la mise-bas (Socha et al., 2012 ; De Cramer et Nöthling ; 2017).

Tableau 1 : Durée de gestation chez la chienne en fonction de l'évènement considéré comme J0

Choix du jour J0 de gestation	Durée de la gestation chez la chienne	
	Moyenne (jours)	Dispersion (jours)
Saillie	63 <i>(Tainturier, 2005)</i>	57 – 72 <i>(Concannon, 2000)</i>
Début du diœstrus	57 <i>(Kim et al., 2007)</i>	51 – 60 <i>(Kim et al., 2007)</i>
Pic de LH	65 ± 1,9 <i>(Hollinshead et Halon, 2017)</i>	61 – 69 <i>(Kutzler et al., 2003)</i>
Ovulation	63 ± 0,1 <i>(Mir et al., 2011)</i>	60 – 68 <i>(Mir et al., 2011)</i>

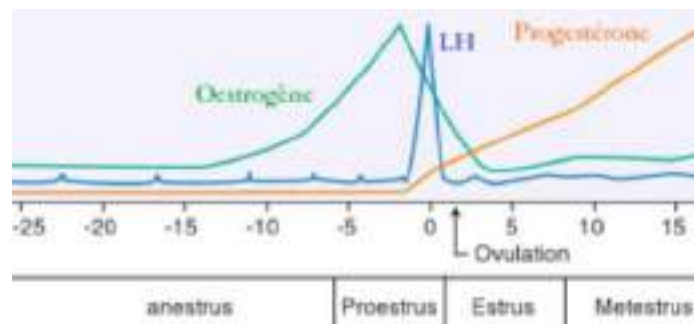


Figure 1 : Variations des concentrations sanguines hormonales autour du jour d'ovulation chez la chienne (Evans et de Lahunta, 2013)

Des signes annonciateurs peuvent également être observés à proximité du terme tel qu'un changement de comportement et une nidification. Chez la chienne, il est possible de doser la concentration plasmatique en progestérone, qui chute en-dessous de 2ng/mL dans les 12 à 48h avant la mise-bas (Concannon, 2000). Cette diminution de la progestéronémie s'accompagne d'une baisse de température d'environ 1°C 12 à 36 heures avant la parturition, car la progestérone est une hormone hyperthermisante (Concannon, 2000 ; Cuevas, 2019). Toutefois, cette baisse de température n'est pas observable chez toutes les chiennes (environ 80%) et n'est pas présente chez la chatte car la progestéronémie ne diminue qu'après la parturition (Beccaglia et al., 2016). De plus, ces outils sont tardifs et

donc non adaptées dans des cas de mise-bas à risque où il faut anticiper et préparer celle-ci.

Outre les paramètres péri-ovulatoires ou en pré-partum immédiat, les méthodes d'imagerie sont les plus fréquemment utilisées en pratique au cours de la gestation pour estimer le moment de la parturition chez la chienne et la chatte.

Le suivi du développement embryonnaire ou fœtal permet de dater la gestation en visualisant pour la première fois des structures spécifiques, apparaissant à l'examen radiographique ou échographique au cours de la gestation (Beccaglia et al., 2016 ; Lopate, 2008). Cependant, cette technique est peu utilisée en pratique car nécessite de nombreuses visites chez le vétérinaire tout au long de la gestation, ce qui est rarement réalisable.

En revanche, l'imagerie est très utilisée dans le cadre de la biométrie embryonnaire ou fœtale. Cette pratique s'appuie sur la mesure de structures, embryonnaires ou fœtales selon le moment de la gestation, pour lesquelles les valeurs sont étroitement corrélées à l'âge gestationnel. Elle permet ainsi de dater la gestation et de prédire par calcul la date de mise-bas en utilisant des formules spécifiques du paramètre mesuré. La biométrie par radiographie n'est pas suffisamment fiable et trop tardive pour prévoir avec précision le terme (Lopate, 2008 ; Gatel et al., 2014 ; Limmanont et al., 2019). La biométrie par mesure échographique est quant à elle un outil précis couramment utilisé. Elle permet de fournir une prédiction de la date de mise-bas grâce à des formules établies à partir des courbes de croissance des structures embryonnaires et fœtales. En effet, cette technique de datation de la gestation est réalisable en un seul examen échographique. En pratique clinique, il est rare de réaliser des suivis de gestation, les chiennes ou chattes sont généralement présentées chez leur vétérinaire pour un diagnostic de gestation, souvent sans connaître la date d'ovulation ou d'accouplement. L'échographie permet alors d'obtenir beaucoup d'informations en limitant le temps passé par le vétérinaire. Ainsi, celui-ci peut, en un seul examen, confirmer la gestation, évaluer l'âge gestationnel, mais également s'assurer du développement correct des embryons ou fœtus et de leur viabilité et estimer la taille de la portée,

Un grand nombre de travaux ont produit des critères de prédiction du moment de la mise-bas par biométrie échographique et ont permis d'établir des formules chez la chienne et la chatte. Néanmoins, elles souffrent de la variabilité de la durée de gestation. Celle-ci est due à de nombreux facteurs de variation, d'origine maternelle ou gestationnelle (le stade de la gestation, le format racial, la taille de la portée, l'âge de la mère, etc), qui expliquent pourquoi il n'existe pas une seule formule pour toutes les chiennes ou toutes les chattes (Sparkes et al., 2006 ; Billault, 2008 ; Mir et al., 2011 ; Hollinshead et Halon, 2017 ; Cuevas, 2019). Il peut donc être difficile de trouver la formule adéquate pour un praticien parmi les nombreuses équations disponibles. L'objectif de

notre étude est donc de rassembler ces équations issues de la littérature et de comparer leurs résultats et leur efficacité de prédiction, dans le but de déterminer la ou les formules les plus adaptées pour chaque facteur de variation. Un outil de prédiction sera mis au point à partir de ce travail, permettant de calculer de façon automatique le nombre de jours restants avant mise-bas en fonction des caractéristiques de la chienne ou de la chatte, et ainsi de faciliter l'utilisation de la biométrie échographique en pratique clinique.

Ainsi, après avoir rassemblé un maximum d'études portant sur la biométrie embryonnaire ou fœtale par mesures échographiques chez la chienne et la chatte, nous analyserons les connaissances de la littérature et comparerons les équations biométriques disponibles. Cette analyse nous permettra d'établir des arbres de décision des formules à utiliser, qui nous serviront de base pour développer un outil informatique de prédiction de la date de mise-bas, selon les caractéristiques des femelles. Enfin, nous discuterons des paramètres susceptibles d'affecter la prédiction de cette méthode et des avantages de notre outil.



# **PREMIÈRE PARTIE - BIOMÉTRIE EMBRYONNAIRE ET FOÉTALE PAR ÉCHOGRAPHIE CHEZ LA CHIENNE ET LA CHATTE : ANALYSE DE LA LITTÉRATURE**

Dans un premier temps, nous avons rassemblé un maximum d'études portant sur la biométrie échographique chez la chienne et la chatte à partir de différentes bases de données. Dans un second temps, nous avons analysé ces travaux en fonction de différents critères (année, caractéristiques des populations étudiées, méthodologie, ...), afin d'avoir une vision globale des connaissances, méthodologies employées et formules disponibles. Nous avons également analysé les formules biométriques disponibles, en réalisant une étude comparative, et en avons tiré des conclusions pour établir les matériels et méthodes de la construction de notre outil de calcul.

## **1. Méthode de sélection des études**

Quatre bases de données bibliographiques en ligne ont été utilisées (PUBMED, GOOGLE SCHOLAR, CAB ABSTRACTS et WEB OF SCIENCE), ainsi que la base française rassemblant les thèses vétérinaires soutenues en France (Portail des Bibliothèques Vétérinaires Françaises : <http://sbev.vetagro-sup.fr/>). Les recherches ont été réalisées à partir de mots-clés en anglais et en français. Dans le cas des chiennes, les mots-clés suivants ont été appliqués aux moteurs de recherche : (prediction OU détermination OU datation OU date) ET (parturition OU delivery OU whelping OU gestation OU gestational age) ET (dog OU bitch) ET (echography OU ultrasound OU ultrasonography OU imaging) ; (prédiction OU détermination OU datation) ET (parturition OU mise-bas OU gestation OU âge gestationnel) ET (chienne OU canine) ET (échographie OU imagerie OU ultrasons). Les mêmes mots-clés ont été recherchés pour les études sur les chattes, en remplaçant (dog OU bitch) et (chienne OU espèce canine) par (queen OU cat) et (chatte OU espèce féline).

Nous avons également consulté des résumés de congrès ou conférences portant sur la médecine vétérinaire canine et féline ou sur la reproduction des petits animaux de compagnie : ISCFR-ESSVAR (International Symposium on Canine and Feline Reproduction & European Veterinary Society for Small Animal Reproduction) (2012, 2016) et AFVAC (Association Française des Vétérinaires pour Animaux de Compagnie) (2017).

La sélection des travaux a été réalisée par un seul observateur. Les études ont d'abord été sélectionnées par lecture du titre et du résumé seulement. Puis, une deuxième vague de sélection a été effectuée par lecture complète des articles en s'appuyant sur

plusieurs critères. Les études ont été incluses si elles rapportaient au moins une nouvelle équation pour la datation de la gestation par des mesures échographiques de structures embryonnaires ou fœtales, ou si elles testaient la fiabilité de prédiction de formules existantes. De plus, les publications devaient également préciser la méthodologie utilisée pour réaliser les mesures et les analyses statistiques. Les articles proposant uniquement un résumé des connaissances actuelles sur le sujet ont été exclus. Nous n'avons pu considérer que des études rédigées en anglais et en français.

Au total, nous avons rassemblé 26 études chez la chienne (annexe 1) et 11 chez la chatte (annexe 2). Cependant, nous n'avons pas eu accès à certaines études, en raison du choix de la langue pour la rédaction (autre qu'anglais ou français) ou de l'indisponibilité du texte complet en ligne.

## **2. Analyse des études portant sur la biométrie par échographie**

Les études rassemblées ont été classées par ordre chronologique. Leur analyse a porté sur le nombre de femelles échographiées pour développer les modèles biométriques, les caractéristiques de ces femelles (format racial, race, âge) et des gestations (stade de gestation, taille de la portée), les facteurs de variations pris en compte ou non, les différentes méthodologies employées par les auteurs, les structures embryonnaires ou fœtales mesurées, le type d'équation et les informations statistiques fournies sur la précision des formules. Chaque colonne représente un de ces éléments d'analyse dans les deux tableaux en annexe.

### **2.1. Période d'étude**

La méthode de détermination de la date de mise-bas par biométrie échographique se développe pour l'espèce canine et l'espèce féline depuis une trentaine d'années. Cette méthode de datation de la gestation a vu le jour dans les années 80-90 chez la chienne et la chatte. A cette période, l'échographie était de plus en plus utilisée pour réaliser des diagnostics de gestation précoces et suivre le développement au cours de la gestation.

Les études que nous avons réunies ont été publiées entre 1990 et 2019, avec 35.1% au cours des 5 dernières années pour les deux espèces rassemblées (9 études chez la chienne et 4 chez la chatte). La figure 2 montre une augmentation de l'intérêt pour cette méthode de détermination du moment de la mise-bas depuis une vingtaine d'années, et plus particulièrement ces 5 dernières années. Le nombre croissant d'études sur la période 2015-2019 suggère que la biométrie par échographie est toujours un sujet actif de

recherche chez ces espèces et que les connaissances actuelles ne permettent pas encore de prévoir avec une fiabilité suffisante la date de mise-bas chez chaque individu.

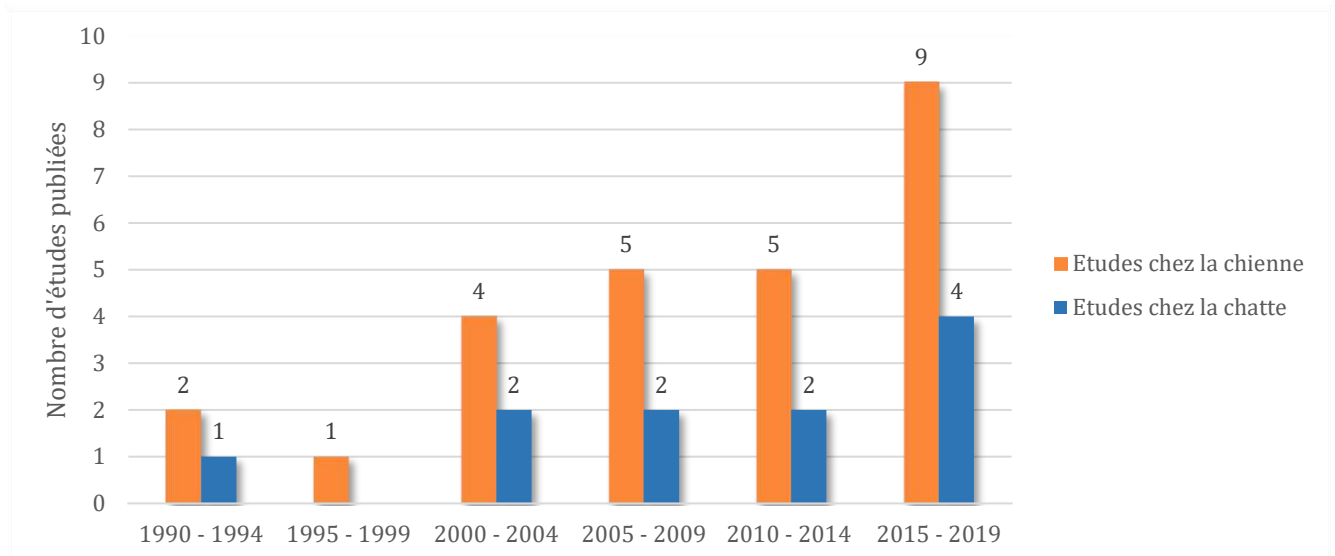


Figure 2 : Répartition du nombre d'études incluses chez la chienne (n = 26) et chez la chatte (n = 11)

Parmi ces études, certaines ont été réalisées dans le but d'établir de nouvelles formules biométriques et d'autres pour évaluer la fiabilité de prédiction de formules déjà existantes. Lorsque l'on s'intéresse à la répartition de ces travaux selon leur objectif depuis 30 ans chez la chienne (figure 3), on observe une majorité d'études sur l'évaluation de la fiabilité des modèles biométriques entre 2005 et 2014, puis une forte augmentation du nombre d'études pour développer de nouvelles formules sur les 5 dernières années. Cette observation évoque une volonté de continuer à développer cette méthode de prédiction, pour en améliorer sa performance.

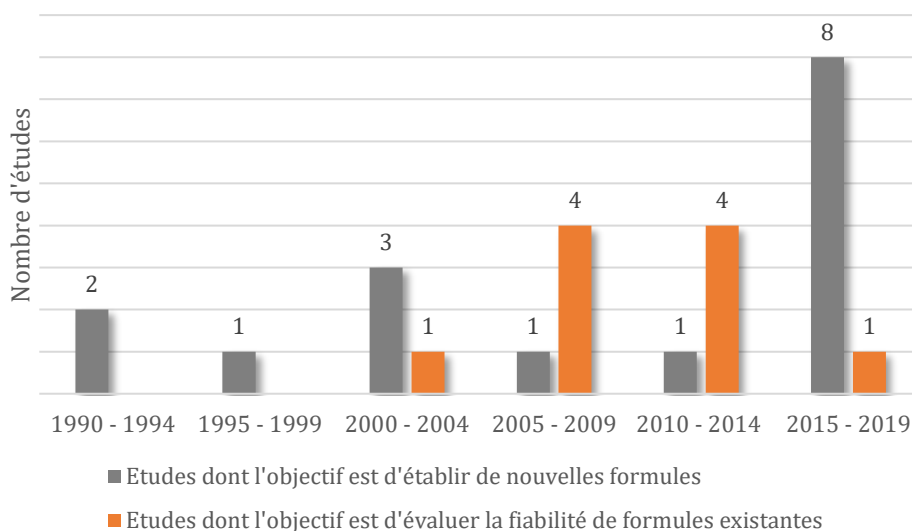


Figure 3 : Répartition des études chez la chienne selon leur objectif, par périodes de 5 ans (n = 26)

## 2.2. Populations étudiées

### 2.2.1. Chiennes

#### 2.2.1.1. Effectifs

Parmi les études recensées portant sur l'espèce canine, la moyenne des effectifs s'élève à  $49,7 \pm 41,2$  (6 – 150) chiennes par étude. Le nombre de femelles n'a pas été précisé dans deux d'entre elles. Si on s'intéresse à la taille de ces populations de plus près, on s'aperçoit que les cohortes utilisées pour établir des formules biométriques sont en réalité plus petites. En effet, pour s'intéresser réellement au nombre de chiennes étudiées, il faut différencier l'effectif total, qui semble assez élevé avec plus de 30 femelles dans plus de 50% des travaux (figure 4), et le nombre de chiennes échographiées pour établir une formule. Dans l'étude de Son et al. (2001), qui porte sur 23 chiennes de race Bichon Maltais, les mesures échographiques de 8 chiennes ont été utilisées pour la création d'équations tandis que celles des 15 autres ont servi à tester celles-ci. De plus, sur les 26 études recensées, 10 ont uniquement évalué la fiabilité de formules existantes, avec des effectifs en moyenne plus élevés ( $64,5 \pm 42,8$  chiennes).

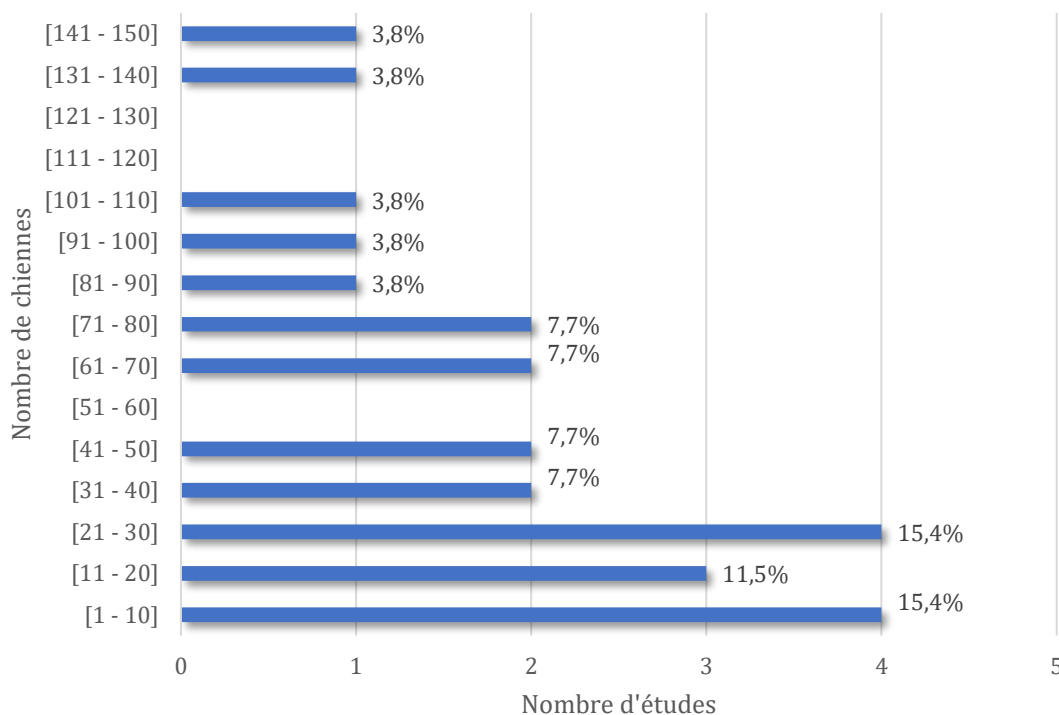


Figure 4 : Effectifs totaux des études chez la chienne (n = 26)

En considérant uniquement les études à l'origine de modèles biométriques, la moyenne des effectifs descend à  $30,1 \pm 34,9$  chiennes. Cependant, ce chiffre diminue encore car dans une grande partie des études, les cohortes sont divisées selon le format ou la race des chiennes. Par exemple, Cuevas (2019) a suivi un total de 150 chiennes, séparées en 5 groupes selon leur format étudiés séparément, à raison de 13 à 57 chiennes par groupe.

Ainsi, la moyenne réelle est de  $16,8 \pm 14,4$  (3 - 57) chiennes échographiées par formule biométrique établie. L'analyse comparée de la répartition des effectifs par sous-catégorie d'étude (format, race, etc) est présentée dans la figure 5. 75% des formules ont été obtenues avec des cohortes de 23 chiennes ou moins, avec un minimum de 3 chiennes échographiées dans 2 études anciennes (Luvoni et Grioni, 2000 ; Beccaglia et Luvoni, 2004) et un maximum de 57 chiennes dans la dernière recensée (Cuevas, 2019). Ainsi, bien qu'au total plus de 1190 chiennes aient été suivies depuis le début du développement de la datation par biométrie, la taille des cohortes utilisées pour la création de chaque formule est généralement restreinte, avec plus de la moitié des groupes d'étude incluant moins de 10 chiennes (figure 6).

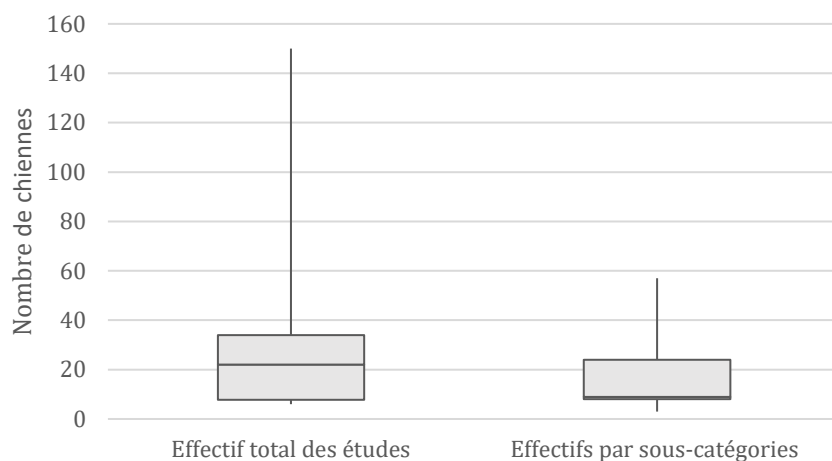


Figure 6 : Effectifs des études sur les chiennes à l'origine de formules biométriques (n = 16 études)  
Les sous-catégories sont constituées selon le format racial ou la race

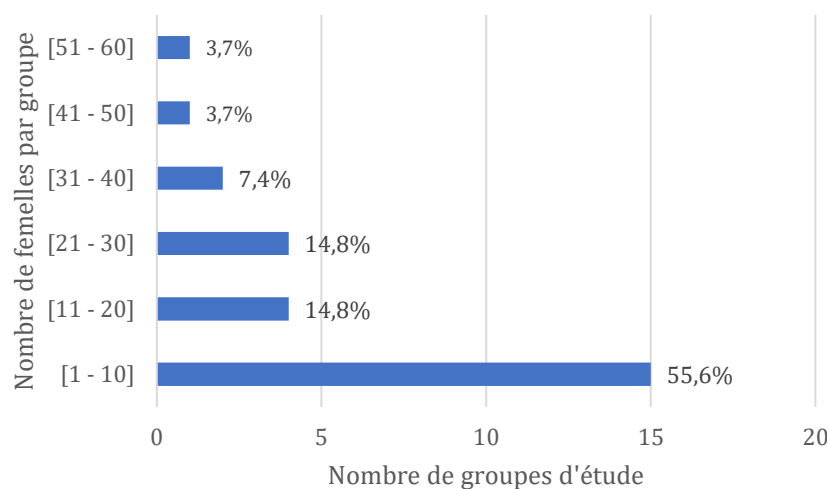


Figure 5 : Répartition des groupes d'étude selon le nombre de chiennes échographiées pour développer des formules biométriques (n = 27 groupes d'étude)

### 2.2.1.2. Formats des femelles

Les études ont distingué 5 formats de chiennes pour lesquels des formules spécifiques ont été créées. Ces formats sont définis par le poids des femelles avant gestation. Dans les premières études réalisées, les auteurs ne définissent pas tous les mêmes intervalles de poids pour un format. Ainsi, Lenard et al. (2007) parlent de format moyen pour des chiennes entre 10 et 20 kg, tandis que Beccaglia et al. (2008b) y incluent des femelles allant de 11 à 25 kg. Cependant, cette classification s'est standardisée à partir de 2014 et la répartition des poids par format s'établit comme suit : *format miniature* pour les chiennes pesant moins de 6 kg, *petit format* pour les chiennes de moins de 11 kg, *format moyen* entre 11 et 25 kg inclus, *grand format* entre 26 et 40 kg inclus et *format géant* pour 41 kg et plus. Nous utiliserons donc cette classification dans la suite de notre travail.

Les premières études ont d'abord porté sur des chiennes de formats petit à grand, comme le montre la figure 7. La recherche de formules spécifiques ou d'évaluation de la fiabilité de formules pour les formats miniature et géant est récente, principalement au cours des 5 dernières années. Les premières équations adaptées au format géant ont été publiées en 2016, bien que ces races soient très représentées dans les 100 races de chiens les plus populaires (Alonge et al., 2016a).

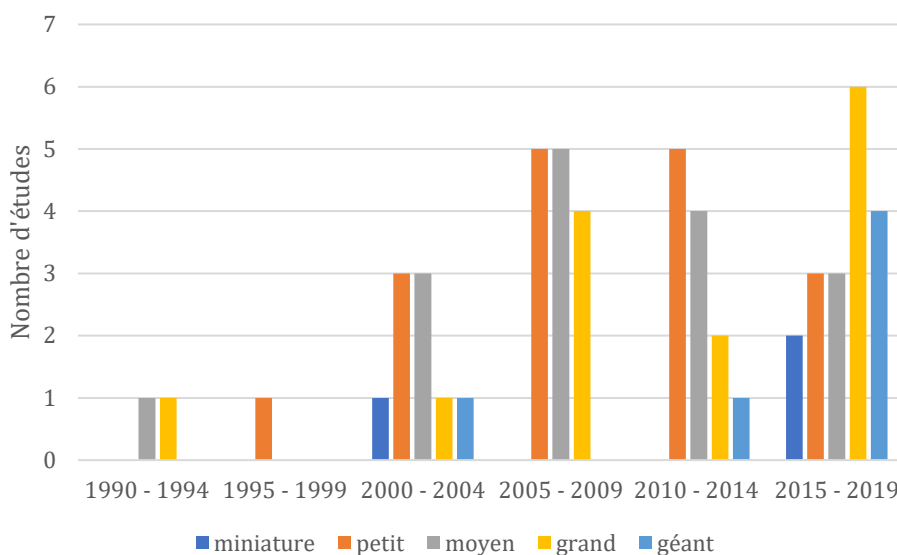


Figure 7 : Nombre d'étude par format racial chez la chienne (n = 26 études)

Certaines études se sont intéressées à plusieurs formats, ce qui explique un nombre total d'études supérieur à 26 sur le graphique

Certains auteurs ont travaillé sur plusieurs formats au cours d'une même étude. Au total, 17, 16 et 14 études ont établies des formules biométriques pour les formats petit, moyen et grand respectivement (figure 8). En revanche, seulement 6 études se sont intéressées au format géant. Ce chiffre est encore moins élevé pour le format miniature, avec seulement 3 études, probablement car les chiennes de ce format ont été incluses initialement dans le format petit. De plus, ceci peut s'expliquer par l'apparition récente des races toys, avec la sélection d'individus de plus en plus petits.

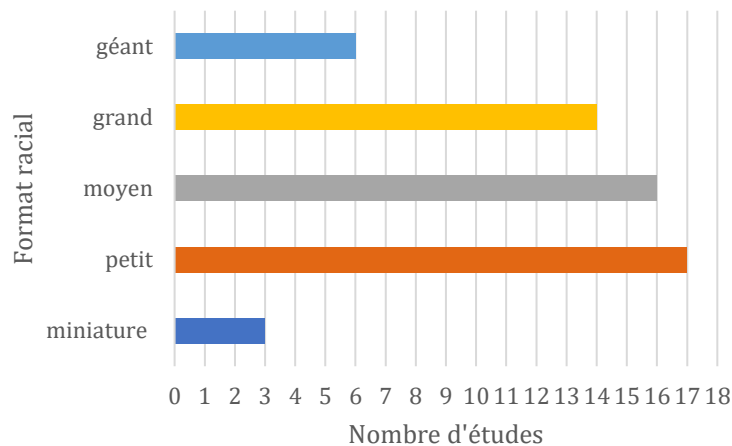


Figure 8 : Nombre d'études par format racial chez la chienne (n = 26 études)

### 2.2.1.3. Race des femelles

Un grand nombre de formules biométriques ont été obtenues à partir d'études multi-raciales, les femelles étant généralement réparties par format selon leur poids. Toutefois, compte-tenu de la variabilité morphologique entre races au sein d'un même format, certains auteurs se sont intéressés à établir des équations spécifiques pour certaines races. Sur les 26 études, 9 portent spécifiquement sur une race et 12 sur des plusieurs races. Les races étudiées n'ont pas été précisées dans 5 travaux.

Nous avons recensé 9 races pour lesquelles des formules biométriques spécifiques ont été créées : Beagle (Yeager et al., 1992 ; Moriyoshi et al., 1995), Jack Russel Terrier (Luvoni et Grioni, 2000 ; Beccaglia et Luvoni, 2004), Bichon Maltais (Son et al., 2001), Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011), Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011), Berger Allemand (Groppetti et al., 2015 ; Cecchetto et al., 2017 ; Socha et Janowski, 2017), Carlin (Feliciano et al., 2015), Shih Tzu (Feliciano et al., 2015) et Bouledogue Anglais (Feliciano et al., 2015).

Concernant les races brachycéphales, nous avons recensé une seule étude raciale, ayant fourni des formules spécifiques pour des chiennes de race Carlin, Shih Tzu et Bouledogue Anglais (Feliciano et al., 2015). Cette étude a également développé des formules multi-raciales spécifiques aux brachycéphales à partir de ces races. Au cours de sa thèse, Cuevas (2019) s'est intéressée à un échantillon de 150 chiennes, dont 70 de races brachycéphales, et a développé des formules multi-raciales pour brachycéphales, non brachycéphales ou les deux. Parmi les 10 autres études multi-raciales à l'origine de formules biométriques, les groupes de chiennes échographiées sont soit non brachycéphales, soit mixtes, c'est-à-dire incluant des races brachycéphales et non brachycéphales. Cependant, les femelles brachycéphales ne représentent généralement que quelques individus dans les populations étudiées.

#### *2.2.1.4. Age des femelles*

Sur les 26 études, 13 ont précisé l'âge des femelles étudiées, allant de 1 an à 10 ans sur l'ensemble des travaux. Dans la majorité des cas, les amplitudes d'âge sont importantes parmi les chiennes échographiées. Seulement 2 études ont rapporté des chiennes d'âges très homogènes, avec un groupe de 6 Beagle âgées d'1 à 2 ans pour Moriyoshi et al. (1995) et un groupe de 6 chiennes croisées de 3 à 4 ans pour Socha et al. (2012), probablement du fait que ces femelles ont été sélectionnées pour ces études. Une grande partie des autres travaux, à l'inverse, sont des études rétrospectives, qui utilisent des données conservées et incluent donc des chiennes de tout âge.

#### *2.2.1.5. Taille des portées*

Le nombre de chiots par portée n'a pas été précisé par tous les auteurs, probablement parce que l'information n'était pas toujours disponible notamment dans le cas d'études rétrospectives.

Certains auteurs ont défini des portées de taille « normale » et de taille « extrême » pour chaque format de chiennes. Le nombre de chiots dans chacune de ces catégories varie parfois d'un auteur à l'autre, mais la classification issue de l'étude de Beccaglia et Luvoni (2006) est souvent employée (Beccaglia et al., 2008b ; Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019). Celle-ci est basée sur le calcul de la moyenne et des écarts-types de la taille des portées chez 57 chiennes pesant moins de 10 kg inclus et 77 chiennes pesant entre 11 et 40 kg inclus. Une portée est dite de taille normale lorsque le nombre de chiots est compris dans l'intervalle moyenne  $\pm$  écart-type du groupe. Ainsi, selon cette définition, une portée est normale lorsqu'elle compte 2 à 6 chiots chez une chienne de petit format ( $\leq$  10 kg) et 5 à 9 chiots chez une chienne de format moyen ou grand (11 – 40 kg). En-



dessous ou au-delà de ces intervalles, les portées sont considérées petites ou grandes respectivement. Ces intervalles n'ont pas été définis pour le format géant. nous considérerons donc des portées de 5 à 9 chiots de taille normale chez ce format pour la suite de notre étude.

Parmi les données connues, 7 études ont inclus des chiennes avec des portées de toute taille (petite, normale, grande), allant de 1 à 14 chiots par gestation, et 6 n'ont inclus que des chiennes avec des portées normales pour leur format.

## 2.2.2. Chattes

### 2.2.2.1. Effectifs

La moyenne des effectifs inclus dans les études biométriques félines est légèrement inférieure à celle des travaux sur les chiennes, avec  $13,0 \pm 8,1$  chattes échographiées par formule. L'intervalle de taille des cohortes étudiées est également moins étendu, comme le montre la figure 9. En effet, les effectifs vont de 5 chattes observées au minimum à 24 au maximum. Aucune étude ne comportait plus de 30 chattes parmi les 10 travaux qui ont développé des équations biométriques, contrairement aux recherches sur les chiennes, pour lesquelles 15,3% des groupes étudiés comportent plus de 30 femelles. Au total, 190 chattes ont été échographiées au cours de ces études.

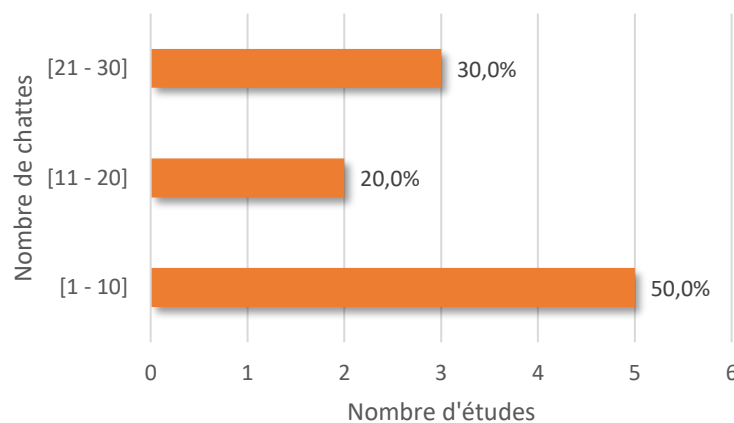


Figure 9 : Effectifs des études à l'origine de formules biométriques chez la chatte

Contrairement à ce qui a été observé dans les études canines, les groupes n'ont pas été divisés en sous-catégories dans les travaux chez les chattes. Les tailles des cohortes étudiées correspondent donc aux effectifs totaux. Sur les 11 études répertoriées, 1 seule a porté uniquement sur l'évaluation de la fiabilité de prédiction de formules existantes. Celle-ci a été réalisée sur un nombre plus important de femelles, avec 60 chattes (Beccaglia et Luvoni, 2012).

### *2.2.2.2. Formats et races des femelles*

Dans l'espèce féline, aucune classification des femelles par format n'a été utilisée. Néanmoins, on peut distinguer deux types de formats raciaux : les chattes de grand format incluant les races Maine Coon, Norvégien et Bengal et les chattes de format moyen (toutes les autres races) (annexe 2). Parmi les modèles biométriques développés chez la chatte, 4 ont été établis avec des groupes de femelles de tous formats, 3 avec des groupes de femelles de format moyen et 1 avec des femelles de grand format. Le poids des chattes n'est pas rapporté dans 2 études.

Nous avons recensé une seule étude raciale, qui s'est intéressée spécifiquement à des femelles Maine Coon. Pour les autres études, les cohortes sont multi-raciales et comprennent entre 2 et 11 races félines différentes.

### *2.2.2.3. Age des femelles et taille des portées*

L'âge des femelles échographiées a été rapporté dans 9 études sur les 11. Celui-ci s'étend de 10 mois à 8,5 ans environ. Dans certains cas, l'amplitude d'âge est limitée car seules des femelles jeunes ont été sélectionnées spécialement pour l'étude. C'est le cas des études de Zambelli et al. en 2002 et en 2004, qui portent sur 12 et 8 chattes respectivement, âgées de 2 à 5 ans, et de l'étude de Garcia Mitacek et al. (2015), avec 16 chattes âgées de 2 à 3 ans.

L'information sur la taille des portées est également fournie dans la majorité des études, soit 8 sur 11 d'entre elles. De la même façon que pour l'âge des femelles, certains auteurs ont sélectionné uniquement des chattes dont la portée était de taille standard, c'est-à-dire de 3 à 5 chatons, bien que ces valeurs n'aient pas été standardisées comme pour l'espèce canine.

## **2.3. Méthodologies**

### 2.3.1. Recrutement des femelles

Les méthodologies utilisées par les différents auteurs varient d'une étude à l'autre, ce qui rend parfois complexe la comparaison entre les résultats. Dans l'ensemble, toutes les études ont consisté à échographier un groupe de femelles (chiennes ou chattes)

gestantes, à mesurer une ou des structures embryonnaires ou fœtales selon les paramètres d'intérêt du projet, puis à corréliser les mesures obtenues à l'âge gestationnel.

Néanmoins, les études diffèrent d'abord par le mode de recrutement : le choix des femelles varie selon les études. La majorité d'entre elles sont des études prospectives (n=33) sur plusieurs années, qui conservent les informations nécessaires et les images échographiques obtenues au cours de suivi de gestation sur des groupes de chiennes ou de chattes appartenant à des particuliers. Certains auteurs ont travaillé avec des femelles sélectionnées et gardées dans un milieu de vie contrôlé tout au long de l'étude. Dans certains cas, il s'agit d'études rétrospectives (n=4) utilisant des données conservées de suivi de gestation, lorsque celles-ci sont suffisantes et que les images échographiques sont disponibles.

La majorité des travaux sont des études longitudinales (n=32) où plusieurs mesures ont été prises au cours d'une gestation, à différentes dates, et chacune d'entre elles ont été considérées indépendantes, c'est-à-dire traitées comme une nouvelle gestation. Ce procédé augmente artificiellement la taille des échantillons, une même gestation pouvant fournir un grand nombre de données. Par exemple, Groppetti et al. (2015) ont réalisé un total de 230 mesures sur 40 chiennes de race Berger Allemand. Seules quelques études ont récolté des données sur des femelles venant une seule fois en consultation à un jour j de gestation (n=5) (Beck et al., 1990 ; Luvoni et Grioni, 2000 ; Zambelli et al., 2002 ; Socha et al., 2012 ; Cuevas, 2019). De plus, dans quelques études, les mesures ont été réalisées sur un maximum de fœtus d'une même portée et chacune de ces mesures ont été traitées indépendamment également. Cette méthode augmente encore l'échantillon mais permettrait peut-être de tenir compte des variations au sein d'une portée en incluant les mesures de plusieurs fœtus et non la moyenne des mesures.

### 2.3.2. Point de repère

Deux méthodes de calcul ont été utilisées en considérant soit le nombre de jours écoulés depuis le début de la gestation, soit le nombre de jours restants jusqu'à la mise-bas.

#### 2.3.2.1. *Jour de la gestation (DG)*

Dans une partie des études (n=9/16 chez la chienne et n=3/10 chez la chatte parmi les études qui ont établi des équations biométriques), l'âge gestationnel a été défini par le jour de la gestation, ou Day of Gestation (DG), qui correspond au nombre de jours depuis

un point de référence considéré comme le premier jour de la gestation (J0). Ainsi, cette méthode permet de tracer des courbes de croissance des structures embryonnaires ou fœtales tout au long de la gestation, en associant les mesures réalisées au jour de la gestation correspondant. Des formules biométriques permettant de calculer le jour de la gestation à partir de la mesure de la structure en sont déduites. Cette méthode a été utilisée dans 9 études sur les 16 qui ont permis d'établir des modèles biométriques chez la chienne et dans 3 études sur les 10 réalisées chez la chatte.

Cependant, le DG n'a pas été exprimé à partir du même évènement péri-ovulatoire de référence dans toutes les études. Ainsi, le J0 de la gestation ne correspond pas toujours au même moment. Chez la chienne, les évènements de référence sont le pic pré-ovulatoire de LH, une valeur de progestéronémie correspondante au pic de LH ou à l'ovulation, ou bien le diœstrus, déterminés par dosages hormonaux et/ou cytologie vaginale. Cependant, il existe un écart allant de 36 à 50 heures au minimum jusqu'à 120 heures parfois entre le pic de LH et l'ovulation. Les courbes de croissances obtenues ne sont alors pas comparables si on ne tient pas compte du moment choisi comme J0. Chez la chatte, les dosages de progestérone ou de LH ne permettent pas de déterminer le moment de l'ovulation puisque ces modifications sont induites par la saillie. L'accouplement a donc été utilisé comme évènement de référence dans les études félines, en choisissant soit le premier jour d'accouplement soit le dernier comme J0.

Dans certains cas, les équations ont ensuite été modifiées afin de prédire non pas le jour de la gestation mais, de façon opérationnelle, le nombre de jours restants avant la mise-bas, ou Days Before Parturition (DBP). Pour cela, les formules ont été transformées en calculant «  $DBP = \text{durée de gestation} - DG$  », en prenant 65 jours de durée de gestation si J0 correspondait au jour du pic de LH ou de la valeur de progestéronémie correspondante (2 ng/mL ; Fontbonne, 2008), ou 63 jours pour l'ovulation chez la chienne et 65 jours chez la chatte.

Dans la suite de notre étude, nous utiliserons le terme DG pour parler de cette méthode de calcul et des formules qui en découlent.

### *2.3.2.2. Jours avant parturition (DBP)*

Dans les autres études, l'âge gestationnel a été directement défini par le nombre de jours avant la parturition, ou Days Before Parturition (DBP). Dans ces études, des mesures échographiques ont été réalisées sur des embryons ou fœtus au cours de la gestation, conservées et ensuite associées au nombre de jours précédant la mise-bas une fois que

celle-ci a eu lieu et que la date est connue. Des courbes de croissance de ces structures en fonction de l'approche du terme sont ensuite tracées et des formules en sont déduites. Ce mode de calcul permet de prédire le nombre de jours pré-partum et non pas le jour de gestation auquel la femelle se trouve, et ainsi d'en déduire une date de mise-bas estimée. Cette méthode de calcul a été employée dans 7 études sur 16 chez la chienne et dans 7 études sur 10 chez la chatte, en ne prenant en compte que les études à l'origine de modèles biométriques.

De la même façon que pour le DG, nous utiliserons le terme DBP pour parler de cette méthode et des formules associées dans la suite de notre étude.

### 2.3.3. Modèles et types de régression

La majorité des formules ont été obtenues sous forme de régressions linéaires simples, basées sur l'aspect des nuages de points représentant les valeurs des structures mesurées en fonction du DBP ou DG associé. Quelques modèles non linéaires ont été développés mais restent très anecdotiques chez les chiennes comme chez les chattes. Ainsi, pour la chienne, nous avons recensé 3 fonctions de type polynôme du second degré (Yeager et al., 1992) et 1 fonction linéaire multiple (England et al., 1990) sur un total de 55 formules biométriques. Chez la chatte, 20 équations ont été rassemblées dont 3 fonctions exponentielles (Zambelli et al., 2004) et 2 fonctions polynômes de second degré (Garcia Mitacek et al., 2015). Nous avons également recensé 3 formules linéaires multi-variées, c'est-à-dire tenant compte de la mesure du paramètre biométrique étudié et d'autres facteurs maternels ou gestationnels. Ainsi, Alonge et al. (2016a) ont publié des équations incluant le poids de la mère chez la chienne, tandis que Gatel et al. (2014) ont inclus dans leur modèle le poids de la mère, l'âge de celle-ci et la taille de la portée chez la chatte.

De plus, des tables de prédiction utilisant un ou deux paramètres ont été créées dans quelques études, afin de faciliter leur utilisation (England et al., 1990 ; Son et al., 2001 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015).

### 2.3.4. Evaluation de la précision

Outre l'établissement d'équations biométriques, plusieurs études se sont intéressées à évaluer la fiabilité de la prédiction de la date de mise-bas par les formules existantes. Pour cela, des cohortes de chiennes ou de chattes gestantes, pour lesquelles les dates d'ovulation et d'accouplement étaient inconnues, ont été suivies et des mesures

échographiques ont été prises au cours de leur gestation. A partir de celles-ci, une estimation de la date de mise-bas est calculée en appliquant une formule biométrique. Le résultat est ensuite comparé à la date de mise-bas réelle.

La fiabilité d'une formule est alors estimée en calculant le nombre de mise-bas qui ont lieu dans des intervalles proches de la date de mise-bas prédite. Pour cela, la différence entre la date de mise-bas prédite et la date de mise-bas réelle est calculée. Lorsque cette différence est strictement inférieure à 1 jour, la prédiction est considérée exacte au jour près. Lorsqu'elle est strictement inférieure à 2 (soit 1,9 jours maximum) et à 3 jours (soit 2,9 jours maximum), les auteurs considèrent que l'écart entre la prédiction et la mise-bas réelle, sans arrondie à la virgule, est de 1 et 2 jours respectivement. Ils parlent alors de plus ou moins 1 et 2 jours autour de la date de mise-bas prédite, soit des intervalles de presque 4 et 6 jours au total. La précision de prédiction est ensuite exprimée sous forme de pourcentages de mise-bas ayant eu lieu dans ces intervalles, par rapport au nombre de mise-bas total. Ainsi, contrairement aux techniques classiques de statistique où l'on cherche à déterminer l'intervalle de prédiction à 95%, les intervalles sont ici toujours identiques et les auteurs évaluent les pourcentages correspondant à ces intervalles. Par exemple, Cecchetto et al. (2017) ont calculé, à partir de 40 mesures chez 17 chiennes Berger Allemand, les pourcentages de mises-bas qui ont eu lieu à plus ou moins un (72,5%) et deux jours (85%) de la date prédite, en comptant le nombre de cas où le DBP réel se situe à moins de 2 et 3 jours de la prédiction de Gropetti et al. (2015) (figure 10). Dans la suite de notre étude, nous utiliserons les termes « précision à  $\pm 1$  jour et à  $\pm 2$  jours » pour parler de ces pourcentages.

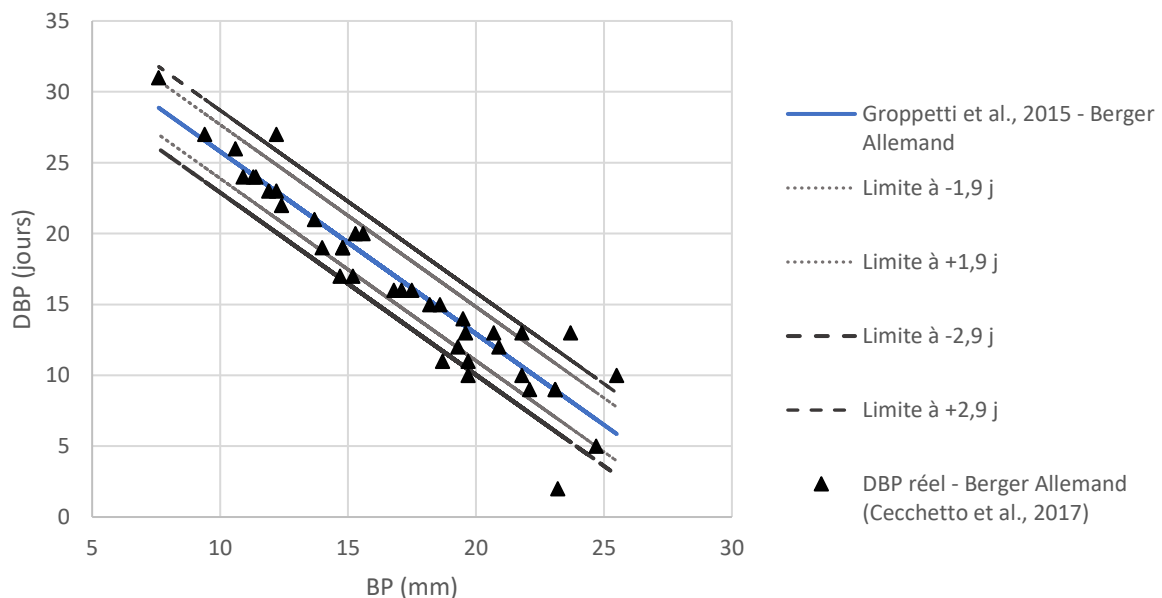


Figure 10 : Précision de prédiction à plus ou moins un et deux jours de la date prédite par le modèle linéaire utilisant le diamètre bipariétal (BP) (Gropetti et al., 2015) chez des chiennes Berger Allemand (n=17) (Cecchetto et al., 2017)

*Les précisions obtenues sont de 72,5% à plus ou moins un jour de la date prédite (soit une différence strictement inférieure à 2 jours) et de 85% à plus ou moins deux jours de la date prédite (soit une différence strictement inférieure à 3 jours)*

De la même façon que dans les études pour développer des formules, plusieurs examens échographiques ont souvent été réalisés au cours d'une même gestation à des dates différentes et traités indépendamment les uns des autres, multipliant ainsi les données sans augmenter la taille des effectifs de femelles. De plus, ces pourcentages de précision pour une formule ont parfois été évalués à partir des mêmes mesures qui ont servi à établir l'équation.

La précision de prédiction a été évaluée pour 22 formules chez la chienne et 9 chez la chatte. Dans certains cas, nous disposons de plusieurs pourcentages de précision pour une même formule, car celle-ci a été évaluée par plusieurs études. De plus, certains auteurs ont testé des formules développées initialement pour un certain groupe de femelles sur des femelles ayant des caractéristiques différentes, dans le but de savoir si leur utilisation pouvait être étendue à d'autres types de femelles et avec quelle fiabilité. C'est le cas par exemple de Socha et Janowski (2014) qui ont testé sur 11 chiennes de format géant des équations issues de l'étude de Luvoni et Grioni (2000) développées à partir de 4 chiennes de format moyen à grand.

Cependant, les pourcentages de précision rapportés dans les études ont une valeur relative, notamment lorsque l'on souhaite les comparer, car ces résultats ont été obtenus à partir d'effectifs de tailles différentes. Ainsi, une précision de 50% obtenue sur 10 chiennes n'aurait pas la même valeur statistique qu'une précision de 50% chez 100 femelles. Or, nous avons vu auparavant que la taille des effectifs testés chez la chienne est très variable, allant de 6 à 134 femelles en fonction des études. Nous essayerons donc d'en tenir compte dans la suite de notre étude.

#### 2.3.5. Facteurs de variation

Parmi les 26 études chez la chienne, 11 se sont intéressées à l'impact de facteurs de variation sur la précision de cette méthode de détermination de la mise-bas, contre 4 études sur 11 chez la chatte.

Les facteurs de variation peuvent être classés en facteurs maternels et facteurs gestationnels. Parmi les facteurs maternels étudiés, on retrouve le format ou le poids de la mère chez les deux espèces, ainsi que la hauteur au garrot de la mère chez la chatte. Parmi les facteurs liés à la gestation, l'impact de la taille de la portée a été testée à la fois chez les chiennes et les chattes. La proportion des fœtus mâles dans la portée et la période de gestation (gestation précoce ou tardive) ont été prises en compte dans l'espèce canine, ainsi que le rang de gestation dans l'espèce féline. La figure 11 présente le nombre d'études ayant tenu compte de chaque paramètre chez la chienne et la chatte.

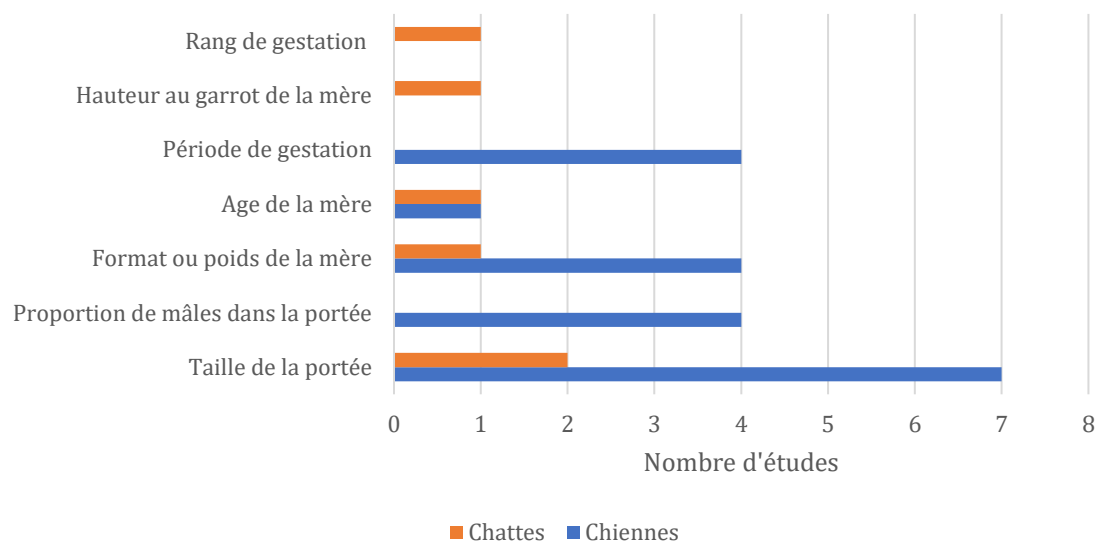


Figure 11 : Fréquence de prise en compte des différents facteurs maternels et gestationnels chez la chienne (n = 26 études) et la chatte (n = 11 études)

Afin d'évaluer l'impact de ces paramètres sur les modèles de prédiction par biométrie, les dates de mise-bas ont été estimées chez des groupes de femelles, en appliquant des formules existantes, puis comparées aux dates de mise-bas réelles. Les femelles ont ensuite été classées par groupe selon leurs caractéristiques et une différence significative de précision des formules a été recherchée entre ces groupes.

## 2.4. Paramètres biométriques étudiés

Les mesures échographiques ont été réalisées sur chiennes et chattes vigiles dans toutes les études. En décubitus dorsal ou latéral, après tonte de l'abdomen et application d'un gel sur la peau, l'utérus est inspecté, en partant de son aspect le plus caudal puis en suivant chacune des deux cornes dans la plupart des cas. Le type de sonde (linéaire ou sectorielle) et le réglage de la fréquence dépend des études, allant de 5 et 12.5 MHz selon le format (Beck et al., 1990 ; Kutzler et al., 2003 ; Topie et al., 2015).

Chez la chienne comme chez la chatte, les mesures ont été réalisées sur au moins 2 embryons ou fœtus par gestation, sans précision sur le nombre lorsque plus de 2 pouvaient être mesurés, sauf dans les cas où un seul fœtus était présent. La moyenne des mesures a ensuite été calculée pour obtenir une valeur représentative de la portée.

Les structures mesurées dépendent du moment de la gestation et de l'espèce.



### 2.4.1. Gestation précoce

Les paramètres étudiés en gestation précoce, c'est-à-dire entre le moment où le diagnostic de gestation est réalisable par échographie et la transition d'embryon à fœtus vers 35-40 jours de gestation chez la chienne et vers 25-30 jours chez la chatte (Tainturier, 2005), correspondent à des structures embryonnaires et extra-embryonnaires.

#### 2.4.1.1. *Diamètre interne de la cavité chorionique*

La cavité chorionique prend l'apparence d'une structure sphérique anéchogène bien délimitée à l'échographie. Le diamètre interne de la cavité chorionique, ou Inner Diameter of the Chorionic Cavity, est calculé à partir de la moyenne de deux mesures perpendiculaires d'une extrémité à l'autre de la réaction déciduale trophoblastique comme montré en figure 12 (Beccaglia et Luvoni, 2006 ; Kutzler et al., 2003). Selon les études, ce paramètre est parfois nommé différemment comme Inner Diameter of the Gestational Sac (GSD) (Luvoni et Grioni, 2000) ou Embryonic Vesicle Diameter (EVD) (Kutzler et al., 2003) mais les repères pour réaliser la mesure sont identiques.

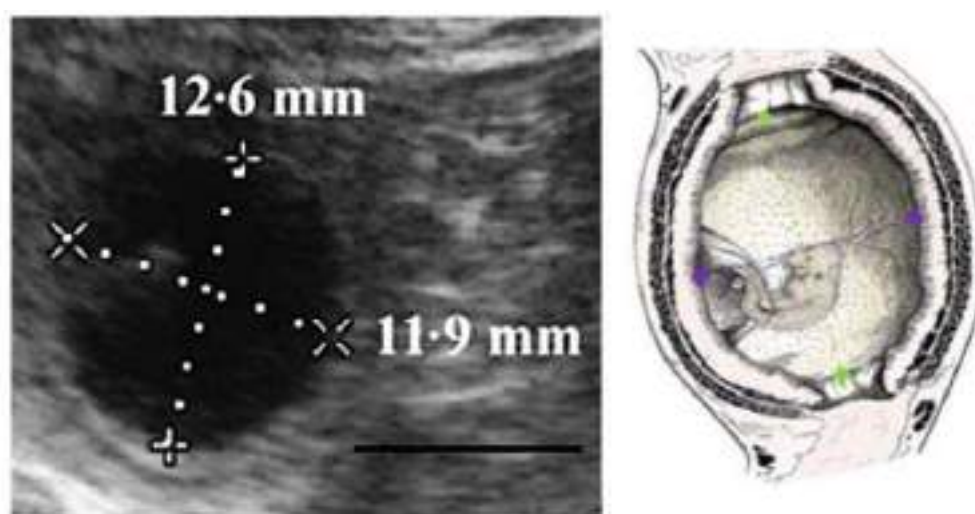


Figure 12 : Mesure du diamètre interne de la cavité chorionique sur une image échographique chez une chienne 36 jours avant mise-bas (Beccaglia et Luvoni, 2006) et schéma explicatif de la méthode de mesure (Hermanson et al., 2018)

L'ICC peut être mesuré facilement entre 45 jours et 25 jours avant la mise-bas, soit dès l'implantation embryonnaire jusqu'à environ 38 à 40 jours après le pic de LH chez la chienne (Yeager et al., 1992 ; Luvoni et Grioni, 2000). Pendant cette période, la cavité chorionique reste sphérique et ses bords sont bien définis à l'échographie. Au-delà, la vésicule embryonnaire s'allonge et sa forme varie sous la pression de la sonde échographique, ce qui rend la mesure imprécise (Zambelli et al., 2002 ; Luvoni et Grioni, 2000).

Cette structure est la plus étudiée parmi les paramètres embryonnaires avec 18 études s'y étant intéressées chez la chienne et 4 chez la chatte sur les 37 travaux que nous avons répertoriés. Une relation significative entre la mesure de l'ICC et l'âge gestationnel a été mise en évidence dès 1990 chez la chienne (England et al., 1990) et un peu plus tardivement chez la chatte (Zambelli et al., 2002).

Cependant, le type de régression le plus adapté est discuté parmi les auteurs, autant chez la chienne que chez la chatte. La majorité des études mettent en évidence une corrélation linéaire entre l'ICC et DG ou DBP (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011 ; Luvoni et Grioni, 2000 ; Zambelli et al., 2002 ; Socha et Janowski, 2019), en contradiction avec les observations des travaux d'England et al. (1990) chez des chiennes et de Garcia Mitacek et al. (2015) chez des chattes. En effet, ces premiers ont observé une corrélation avec l'âge gestationnel chez 50 chiennes (non linéaire) et Garcia Mitacek et al. (2015) ont développé une fonction de type polynôme de second degré à partir de mesures réalisées chez 16 chattes croisées, qui semble plus adaptée pour décrire la distribution des valeurs d'ICC en fonction du jour à partir du 1<sup>er</sup> accouplement (figure 13).

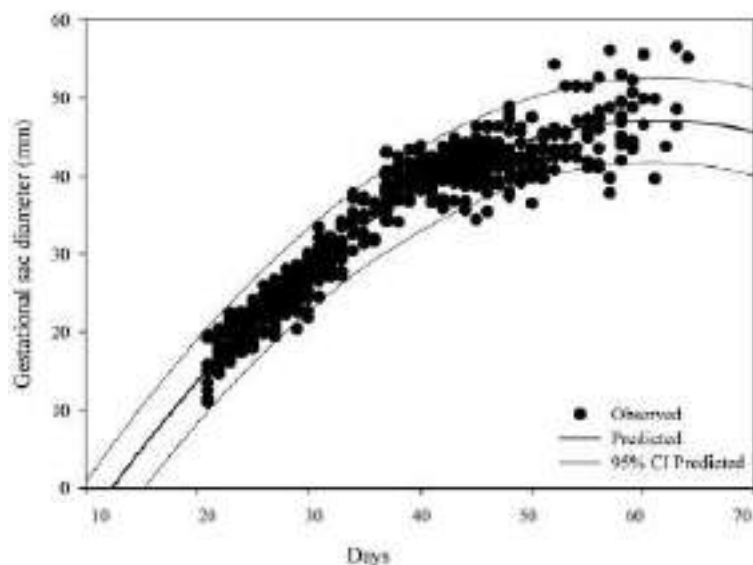


Figure 13 : Répartition des valeurs du diamètre interne de la cavité chorionique en fonction du jour de gestation, mesurées chez 16 chattes croisées, ainsi que la fonction polynômiale associée (Garcie Mitacek et al., 2015)

Ces différences de modèles s'expliquent en fonction de la période à laquelle les mesures sont réalisées. En effet, la corrélation de l'ICC avec l'âge gestationnel est linéaire pendant la période précoce de la gestation (figure 14) (Socha et Janowski, 2011 ; Alonge et al., 2016a ; Socha et Janowski, 2019 ; Luvoni et Grioni, 2000), puis tend à s'aplatir vers 40 jours de gestation et les valeurs se dispersent. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la croissance est fœtale en milieu et fin de gestation et que la cavité liquidienne n'augmente plus de taille.

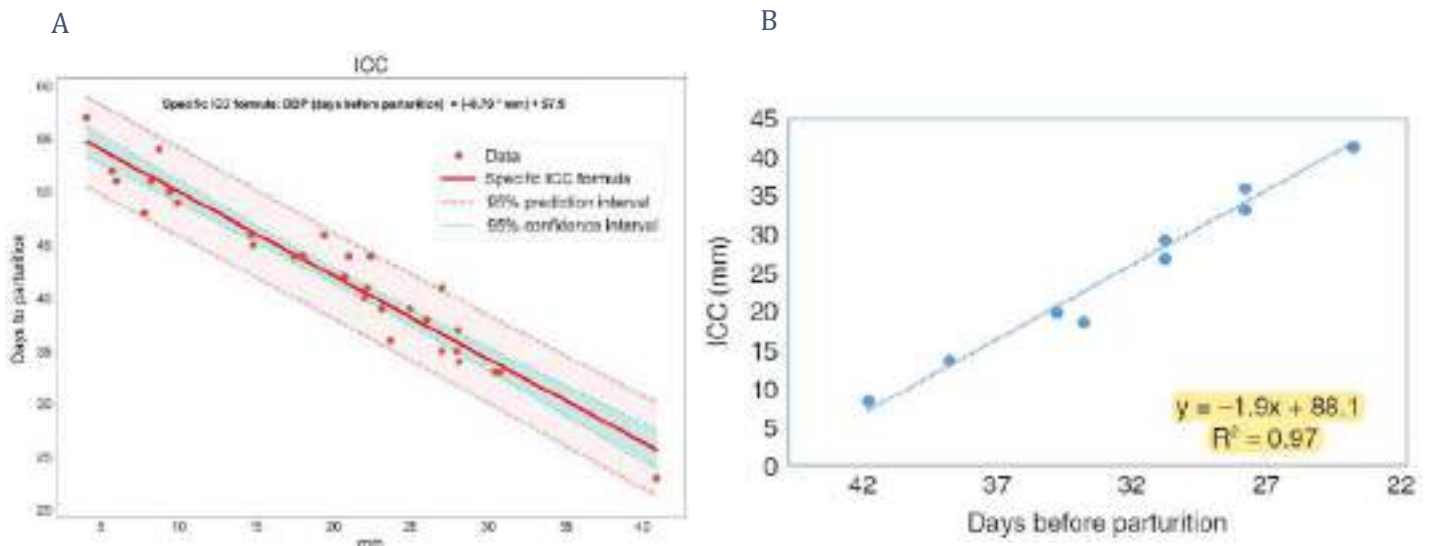


Figure 14 : Répartition des valeurs du diamètre interne de la cavité chorionique selon le nombre de jours pré-partum(A) chez 23 chattes Maine Coon entre 10 et 40 jours de gestation environ (Socha et Janowski, 2019) et (B) chez 9 chiennes de format géant entre 23 et 41 jours de gestation environ (Alonge et al., 2016)

La diminution de l'adéquation d'un modèle de type linéaire en deuxième moitié de gestation a également été mise en évidence dans l'étude de Son et al. (2001) sur des chiennes de races Bichon Maltais et Yorkshire Terrier. Le coefficient de détermination  $R^2$  passe de 0,99 pour des régressions linéaires de 20 à 37 jours après ovulation à 0,71 et 0,85 pour des modèles au-delà de 38 jours. La baisse de cet indicateur, qui permet en partie de juger la qualité d'une régression linéaire simple, est le signe d'une dispersion plus importante des points autour de la droite sur cette période et d'une diminution d'adéquation du modèle pour décrire les valeurs. Ceci pourrait s'expliquer par les variations importantes de l'ICC d'une portée à l'autre et même au sein d'une portée en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation, ainsi que démontré par Davidson et al. (1986). La majorité des études se sont donc intéressées à la courbe de croissance de l'ICC en première moitié de gestation et ont permis d'établir 11 régressions linéaires simples chez les chiennes et 2 chez les chattes, avec des coefficients de détermination allant de 0,81 à 0,99 pour les chiennes et entre 0,92 et 0,93 pour les chattes.

Chez la chienne, les premières formules de prédiction par mesure de l'ICC ont d'abord été établies pour des petits et moyens à grands formats, avec les formules de Luvoni et Grioni (2000) obtenues à partir de chiennes Jack Russel Terrier et Golden Retriever croisées Setter Irlandais. Elles ont pendant longtemps été utilisées comme références pour ces formats. Ce n'est qu'à partir de 2015 (Socha et al.) que des formules d'ICC ont été développées pour le format géant, pour des chiennes non brachycéphales uniquement (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b). Plus récemment, une équation a été publiée pour le format miniature (Socha et Janowski, 2018). De plus, des modèles raciaux ont été développés pour les chiennes de race Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011), Bichon Maltais (Son et al., 2001), Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011) et Berger Allemand (Groppetti et al., 2015 ; Socha et Janowski, 2017). Alonge et al. (2016a) ont également créé une formule linéaire multivariée, tenant compte du poids de la mère, utilisable pour toute chienne non brachycéphale.

Chez les chattes, des formules multiraciales sont disponibles pour des femelles de format moyen (Zambelli et al., 2002 ; Garcia et Mitacek, 2015) et depuis récemment, d'une formule pour les femelles de race Maine Coon (Socha et Janowski, 2019).

Ces formules sont rassemblées dans les tableaux 2 pour la chienne et 3 pour la chatte.

Tableau 2 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique selon le format racial

DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; ICC : diamètre interne de la cavité chorionique

Format	Formule	Référence
Tout format	$DBP = (66,3384 + 0,1767 \times P \text{ kg} - ICC \text{ mm})/1,5151$ <i>Non brachycéphales</i>	<i>Alonge et al., 2016a</i>
Format miniature < 6 kg	$DG = 18,58 + 0,71 \times ICC \text{ mm}$ <i>Soit DBP = 63,2 - (18,58 + 0,71 x ICC mm)</i> <i>Bichon Maltais</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	$DG = 18,92 + 0,65 \times ICC \text{ mm}$ <i>Soit DBP = 63,4 - (18,92 + 0,65 x ICC mm)</i> <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	$DBP = (74,68 - ICC \text{ mm})/1,75$ <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Socha et Janowski, 2011</i>
	$DBP = 44,04 - 0,62887 \times ICC \text{ mm}$	<i>Socha et Janowski, 2018</i>
Petit format 6 – 10 kg	$DBP = (68,68 - ICC \text{ mm})/1,53$ <i>Jack Russel</i>	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
Format moyen 11 – 25 kg	$DBP = (82,13 - ICC \text{ mm})/1,8$	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
Grand format 26 – 40 kg	$DBP = (84,66 - ICC \text{ mm})/1,86$ <i>Golden Retriever</i>	<i>Socha et Janowski, 2011</i>
	$DBP = 44,76 - (4,34 \times ICC \text{ cm})$ <i>Berger Allemand</i>	<i>Groppetti et al., 2015</i>
	$DBP = (105,1 - ICC \text{ mm})/2,5$	<i>Alonge et al., 2016b</i>
Format géant > 40 kg	$DBP = (79,88 - ICC \text{ mm})/1,71$ <i>Non brachycéphales</i>	<i>Socha et al., 2015</i>
	$DBP = (88,1 - ICC \text{ mm})/1,9$ <i>Non brachycéphales</i>	<i>Alonge et al., 2016b</i>

Tableau 3 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique selon le format racial

DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; ICC : diamètre interne de la cavité chorionique

Format	Formule	Référence
Format moyen	$DG = (ICC \text{ mm} + 11,566)/1,368$	<i>Zambelli et al., 2002</i>
	$DG = 2,4548 + 0,01011 \times [6,026 + 0,08088 \times (GSD \text{ mm} + 27,5108)]^{1/2}$	<i>Garcia Mitacek et al., 2015</i>
Grand format	$DBP = 57,9 - 0,79 \times ICC \text{ mm}$ <i>Maine Coon</i>	<i>Socha et Janowski, 2019</i>

### 2.4.1.2. Longueur de l'embryon

La longueur de l'embryon, ou Crown-Rump Length (CRL), correspond à l'axe le plus long de celui-ci. Elle se mesure du point le plus crânial de la tête à la base de la queue sur une coupe longitudinale ou frontale (Kutzler et al., 2003) (figure 15).

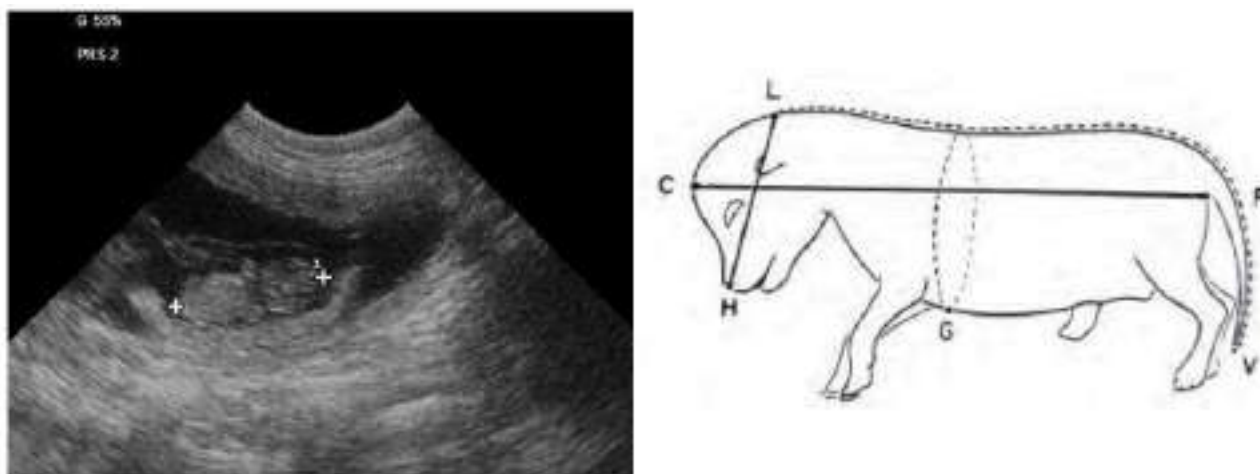


Figure 15 : Mesure de la longueur de l'embryon en coupe longitudinale sur une image échographique (Lopate, 2018) et schéma explicatif de la mesure (CR) (Nuez, 1994)

La CRL est utilisable pour prédire la date de mise-bas à partir de la première visualisation de l'embryon, soit vers 17 jours après accouplement chez la chatte (Zambelli et al., 2002) et 20 jours après ovulation chez la chienne (Tainturier, 2005), jusqu'à 40 jours après le pic de LH. La période d'utilisation de cette mesure est limitée dans le temps car la flexion progressive des fœtus à partir de 25-30 jours avant mise-bas ne permet pas de réaliser des mesures correctes de la CRL jusqu'à la parturition (Lopate, 2008, Cecchetto et al., 2017, England et al., 1990). De plus, la taille des fœtus est très variable en fin de gestation, même au sein d'une portée (Davidson et al., 1986 ; Keiser et al., 2017). Les fœtus vont également avoir tendance à atteindre une taille supérieure à celle de l'image échographique à l'écran en fin de gestation.

Ces difficultés ont été constatées dès 1990 chez la chienne dans l'étude d'England et al., qui a permis de démontrer pour la première fois une corrélation linéaire entre CRL et l'âge gestationnel (DBP ou DG) entre 30 et 20 jours avant parturition, soit entre 35 et 45 jours après le pic de LH pré-ovulatoire. Cette corrélation linéaire a ensuite été étendue jusqu'à 40 jours avant mise-bas, soit vers le 25<sup>ème</sup> jour de gestation, grâce à l'amélioration de la qualité des échographes qui permettent de visualiser l'embryon plus précocement. Par la suite, 3 équations de type linéaire simple ont été publiées chez la chienne, avec des coefficients de détermination compris entre 0,85 et 0,95 (Son et al., 2001 ; Cecchetto et al., 2017). Un modèle de type polynôme de second degré a également été développé pour

des chiennes de race Beagle (Yeager et al., 1992) mais nous n'avons pas pu avoir accès à l'étude dans sa globalité et donc analyser la période d'étude ni la réalisation des mesures.

De la même façon chez les chattes, une relation linéaire entre CRL et l'âge gestationnel (DBP ou DG) a été mise en évidence en première moitié de gestation uniquement, entre 17 et 30 jours après l'accouplement environ, avec un coefficient de détermination de 0,985 (Zambelli et al., 2002). En réalisant des mesures à partir de 35 jours post-accouplement jusqu'à la mise-bas chez 16 chattes croisées, une formule de type polynôme de second degré a été établie (Garcia Mitacek et al., 2015). L'aplatissement de la courbe en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation, visible dans la figure 16, s'explique par la flexion du fœtus à cette période. En traçant la droite allant du point le plus crânial de la tête à la base de la queue sur un fœtus courbé, on ne mesure pas réellement sa longueur, ce qui se traduit sur le graphique par une longueur apparente qui se stabilise en fin de courbe.

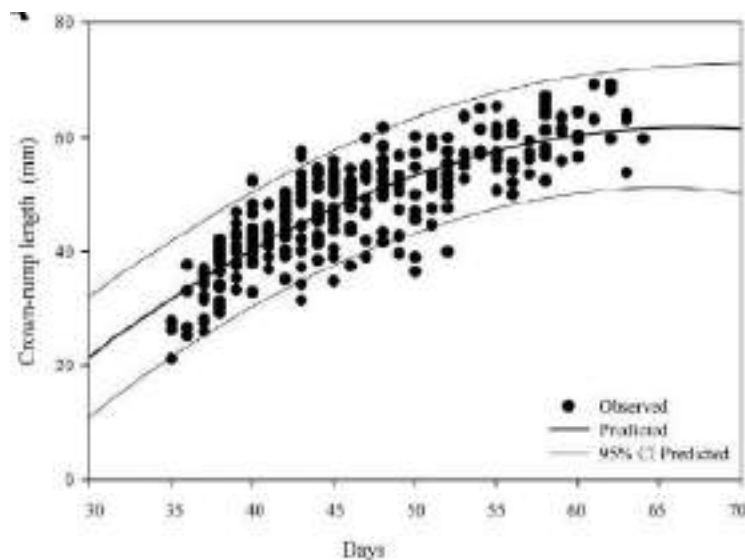


Figure 16 : Répartition des valeurs de la longueur de l'embryon en fonction du jour de la gestation après accouplement chez 16 chattes de races croisées (Garcia Mitacek et al., 2015)

Par ailleurs, la CRL est la 2<sup>ème</sup> structure embryonnaire la plus étudiée, avec 5 études chez la chienne et 2 chez la chatte. Ces travaux ont permis d'établir 4 formules chez la chienne, spécifiques aux races Yorkshire Terrier (Son et al., 2001), Bichon Maltais (Son et al., 2001), Beagle (Yeager et al., 1992) et Berger Allemand (Cecchetto et al., 2017). Aucune formule multi- raciale par format n'a été publiée pour cette structure. Dans le cas des chattes, 2 formules sont disponibles pour des femelles de format moyen (Zambelli et al., 2002 ; Garcia Mitacek et al., 2015). Ces formules sont rassemblées dans le tableau 4 pour la chienne et 5 pour la chatte.

Tableau 4 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction de la longueur de l'embryon selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; CRL : longueur de l'embryon*

Format	Formule	Référence
Format miniature < 6 kg	DG = 30,19 + 0,21 x CRL mm <i>Bichon Maltais</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	DG = 32,23 + 0,18 x CRL mm <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Son et al., 2001</i>
Format moyen 6 – 10 kg	DG = 24,64 + 4,54 x CRL cm – 0,24 x CRL <sup>2</sup> cm <i>Beagle</i>	<i>Yeager et al., 1992</i>
Grand format 26 – 40 kg	DBP = 35,41 – 2,1x CRL cm <i>Berger Allemand</i>	<i>Cecchetto et al., 2017</i>

Tableau 5 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction de la longueur de l'embryon selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; CRL : longueur de l'embryon*

Format	Formule	Référence
Format moyen	DG = (CRL mm + 31,43)/2.0087	<i>Zambelli et al., 2002</i>
	DG = 3,9710 + [(3,9710) <sup>2</sup> + 0,11872 (CRL mm + 71,0221)] <sup>1/2</sup> x 0,01484	<i>Garcia et al., 2015</i>

#### 2.4.1.3. Diamètre externe de la corne utérine

Le diamètre externe de la corne utérine, ou Outer Diameter of Uterine Horn (ODUH), est généralement calculé par la moyenne de deux mesures perpendiculaires de la surface externe de la corne utérine en coupe transversale, au niveau du site d'implantation embryonnaire (figure 17) (Son et al., 2001 ; Luvoni et Grioni, 2000). Il est également parfois nommé « diamètre externe de la cavité chorionique », ou External Diameter of Chorionic Cavity (ECC) (Zambelli et al., 2002).



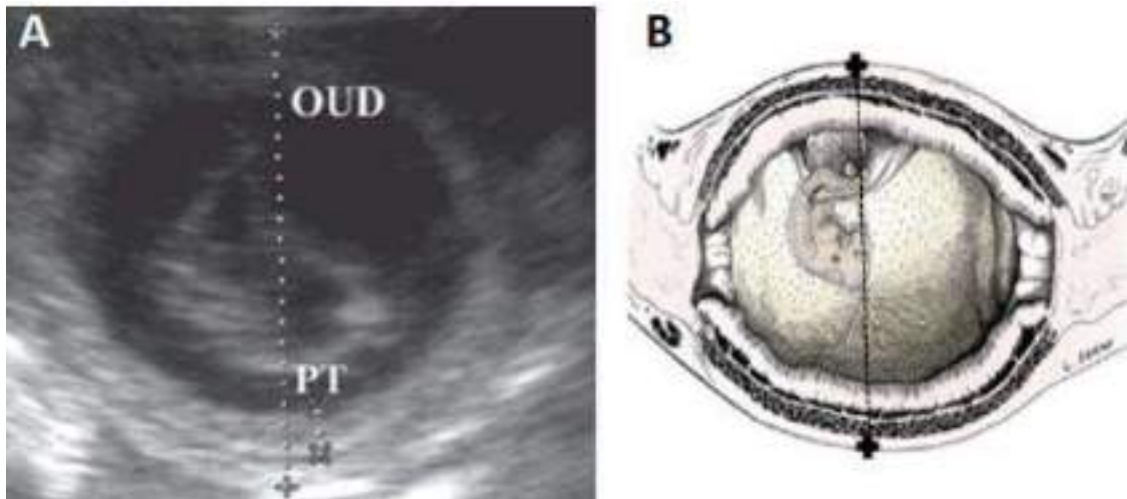


Figure 17 : Mesure du diamètre externe de la corne utérine en coupe transverse (ODUH) chez une chienne 31 jours avant mise-bas (Luvoni et Beccaglia, 2006) et schéma explicatif de la mesure en coupe longitudinale (Hermanson et al., 2018)

Il s'agit d'une structure extra-embryonnaire, dont la corrélation avec l'âge gestationnel a été établie pour l'espèce canine en 1992 chez des chiennes de race Beagle (Yeager et al., 1992) puis confirmée par la suite chez d'autres races (Son et al., 2001 ; Luvoni et Grioni, 2000). La courbe de croissance de cette structure est linéaire par rapport à l'âge de la gestation (figure 18). Seuls des modèles linéaires ont été décrits pour cette structure et fournissent des équations pour les chiennes de format miniature, de races Yorkshire et Bichon Maltais (Son et al., 2001) de petit format de race Jack Russel Terrier (Luvoni et Grioni, 2000) et de format moyen de race Beagle (Yeager et al., 1992) et pour des races non brachycéphales de petit et moyen formats (Luvoni et Grioni, 2000) (tableau 6). Nous n'avons recensé dans la littérature aucun modèle pour des chiennes de format géant à ce jour.

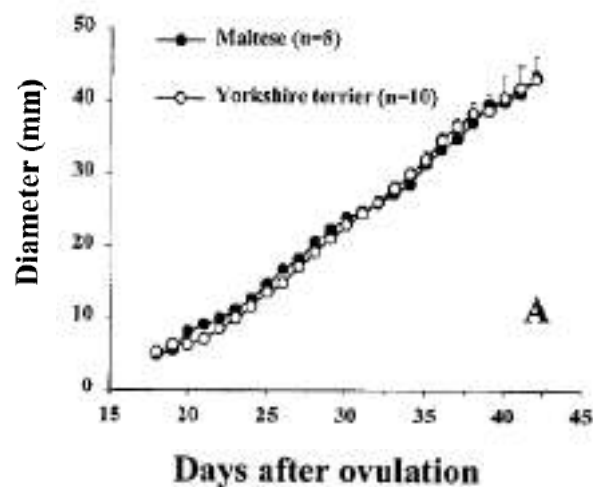


Figure 18 : Valeurs moyennes du diamètre externe de la corne utérine chez 10 chiennes Yorkshire Terrier et 8 chiennes Bichon Maltais, en fonction du nombre de jours après ovulation (Son et al., 2001)

Tableau 6 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre externe de la corne utérine selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; ODUH : diamètre externe de la corne utérine*

Format	Formule	Référence
Format miniature < 6 kg	DG = 16,08 + 0,59 x ODUH mm <i>Bichon Maltais</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	DG = 18,03 + 0,52 x ODUH mm <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Son et al., 2001</i>
Petit format 6 – 10 kg	DBP = (85,17 - ODUH mm)/1,83 <i>Jack Russel</i>	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
Format moyen 11 – 25 kg	DBP = (80,78 - ODUH mm)/1,57 <i>Non brachycéphales</i>	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
	DG = 17,39 + 4,98 x ODUH cm <i>Beagle</i>	<i>Yeager et al., 1992</i>

En raison de la perte de forme sphérique de la vésicule embryonnaire, entraînant une déformation de la corne utérine en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation, ce paramètre n'est utilisable qu'en gestation précoce, à partir de l'implantation embryonnaire jusqu'à 38 à 40 jours après l'ovulation (Yeager et al., 1992 ; Luvoni et Grioni, 2000). De plus, sa forme varie sous la pression de la sonde échographique (Zambelli et al., 2002) au-delà de cette période et la dimension de la structure a tendance à dépasser la taille de l'image à l'écran.

Nous avons recensé un seul modèle pour l'espèce féline, pour des femelles de format moyen (Zambelli et al., 2002)(tableau 7). Il s'agit d'une régression de type linéaire simple, avec un coefficient de détermination d'environ 0,95. Cependant, il a été obtenu avec seulement 9 mesures entre 10 et 30 jours de gestation, et sa précision n'a jamais été évaluée.

Tableau 7 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre externe de la corne utérine selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; ODUH : diamètre externe de la corne utérine*

Format	Formule	Référence
Format moyen	DG = (12,13 + ODUH mm)/1,602	<i>Zambelli et al., 2002</i>

#### 2.4.1.4. Epaisseur et longueur du placenta

L'épaisseur du placenta, ou Placenta Thickness (PT), et la longueur du placenta, ou Placenta Length (PL), sont mesurées chez la chienne au niveau du placenta zonaire une fois que celui-ci est détectable, c'est-à-dire vers 20 jours de gestation post-ovulation (Luvoni et Grioni, 2000 ; Son et al., 2001). Le placenta correspond à la couche la plus interne de la paroi utérine au niveau de la vésicule embryonnaire et prend un aspect hyperéchogène à l'échographie (Luvoni et Grioni, 2000). La mesure se réalise sur une coupe longitudinale de la vésicule embryonnaire pour la PL et sur une coupe transverse pour le PT (figure 19).

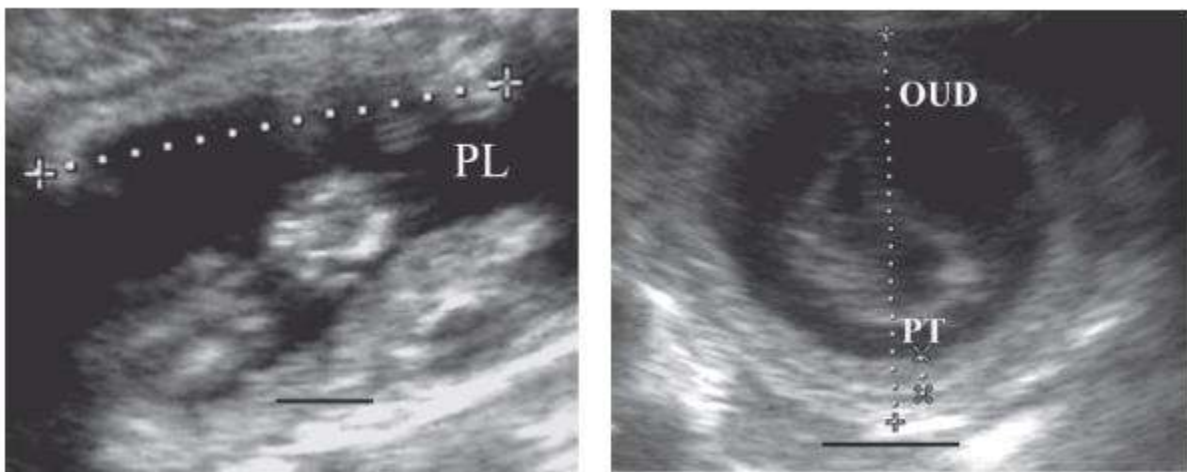


Figure 19 : Mesure de la longueur du placenta (PL) sur une coupe longitudinale d'une vésicule embryonnaire (Luvoni et Beccaglia, 2006) et mesure de l'épaisseur du placenta sur une coupe transverse (PT) d'une vésicule embryonnaire (Luvoni et Beccaglia, 2006)

Ces structures extra-embryonnaires n'ont été étudiées que pour l'espèce canine et seulement 3 se sont intéressées au PT et 2 pour PL.

England et al. (1990) ont tout d'abord montré une relation significative et linéaire entre l'âge gestationnel et l'épaisseur combinée de l'utérus et du placenta. Luvoni et Grioni (2000) se sont ensuite intéressés uniquement à l'épaisseur du placenta. Ces derniers ont mis en évidence une corrélation significative ( $p < 0,0001$ ) et linéaire de cette structure avec le nombre de jours restants avant la mise-bas, entre 41-42 et 25-27 DBP, soit environ à partir de la visualisation de l'embryon jusqu'à 38-40 jours après le pic de LH. Leurs observations ont permis de fournir deux formules, l'une pour des chiennes de petit format de race Jack Russel et l'autre pour des chiennes de format moyen non brachycéphales. Cependant, les coefficients de détermination  $R^2$  fournis pour ces deux formules sont faibles, respectivement 0,77 et 0,53.

Feliciano et al. (2015) se sont intéressés à ce paramètre chez des races brachycéphales et ont développé une formule multi-raciale pour des chiennes brachycéphales de petit ou moyen format, ainsi que des formules pour les races Carlin et Shih Tzu. De la même façon

que pour les modèles chez les chiennes non brachycéphales, les coefficients de détermination sont faibles pour ceux-ci également (0,34, 0,28 et 0,29 respectivement). En revanche, les mesures chez le Bouledogue Anglais n'ont pas montré de corrélation avec l'âge gestationnel dans cette étude.

Concernant la longueur du placenta, sa corrélation avec l'âge gestationnel est discutée. Contrairement à Yeager et al. (1992), Son et al. (2001) estiment dans leur étude que cette structure n'est pas corrélée linéairement à l'âge gestationnel à la différence d'autres structures embryonnaires. En effet, en établissant des modèles linéaires entre 20 et 37 jours après ovulation et un autre de 38 jours à la parturition, ils ont obtenu des coefficients de détermination  $R^2$  inférieurs à ceux des autres paramètres embryonnaires, particulièrement en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation avec un  $R^2$  égal à 0.31-0.36. Cependant, leurs modèles présentent un  $R^2 > 0.80$  en période de gestation précoce. Les formules linéaires simples établies pour des femelles de race Yorkshire Terrier et Bichon Maltais sont donc utilisables entre 22 et 40 jours après le pic de LH environ (tableau 8).

Tableau 8 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction de l'épaisseur et de la longueur du placenta selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; PL : longueur du placenta ; PT : épaisseur du placenta*

Format	Formule	Référence
Format miniature < 6 kg	DG = 15,24 + 0,48 x PL mm <i>Bichon Maltais</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	DG = 19,06 + 0,39 x PL mm <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Son et al., 2001</i>
Petit format 6 – 10 kg	DBP = (PT mm – 5,8)/0,12 <i>Jack Russel</i>	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
	DG = 25,2 + 44,2 x PT cm <i>Carlin</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
	DG = 25,5 + 38,3 x PT cm <i>Shih Tzu</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Format moyen 11 – 25 kg	DBP = (PT mm – 18,99)/0,45 <i>Non brachycéphales</i>	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
	DG = 18,74 + 3,58 x PL cm <i>Beagle</i>	<i>Yeager et al., 1992</i>
Format petit et moyen	DG = 24,0 + 41,9 x PT cm <i>Brachycéphales</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>

### 2.4.2. Gestation tardive

La 2<sup>ème</sup> moitié de gestation, appelée gestation tardive dans notre étude, correspond à la phase de développement fœtal. Elle commence vers 40 jours après le pic de LH pré-ovulatoire et s'étend jusqu'à la mise-bas (Luvoni et Grioni, 2000). Pendant cette période, différentes structures fœtales apparaissent ou deviennent plus facilement reconnaissables à l'échographie et leur mesure devient possible.

#### 2.4.2.1. *Diamètre Bipariétal*

Le diamètre bipariétal, ou Biparietal Diameter (BP), correspond au plus large diamètre du crâne entre les deux os pariétaux. Pour le mesurer, les os pariétaux doivent être positionnés parallèlement sur une coupe transverse, frontale ou dorsale du crâne et symétriques par rapport à la faux du cerveau, représentée par une ligne hyperéchogène, située centralement (Keiser et al., 2017 ; Beccaglia et Luvoni, 2006 ; Socha et Janowski, 2019) (figure 20). Le crâne est visible dès 30 jours après ovulation chez la chienne mais la mesure devient plus facile vers 35 jours lorsque les os pariétaux deviennent très hyperéchogènes à l'échographie (Socha et Janowski, 2017 ; Son et al., 2001, Tainturier, 2005).

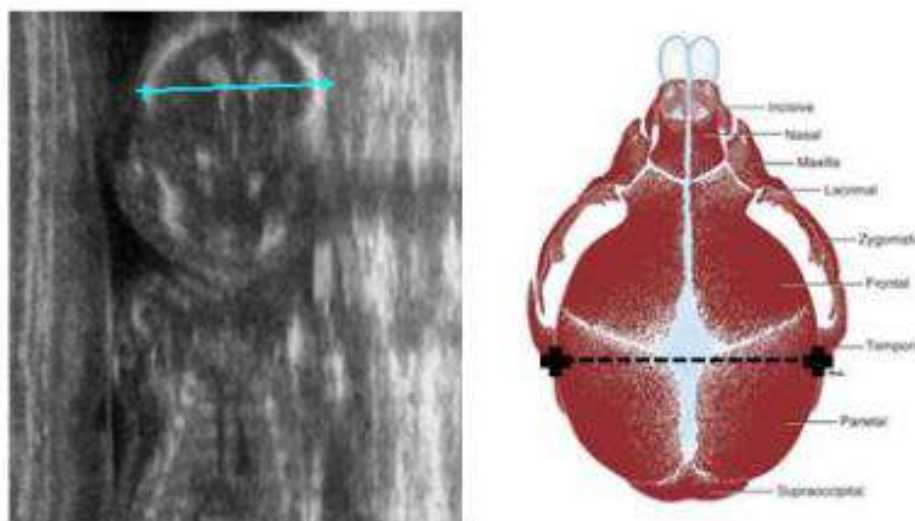


Figure 20 : Mesure du diamètre bipariétal sur une coupe frontale d'un crâne (Topie et al., 2015) et schéma explicatif de la mesure sur une coupe dorsale d'un crâne (Hermanson et al., 2018)

Cette structure est mesurable en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation, à partir du moment où le fœtus devient facilement identifiable et que les os pariétaux produisent une réflexion intense à l'image échographique, soit entre 37-40 jours après le pic de LH pré-ovulatoire jusqu'à la mise-bas (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2017 ; Beccaglia et Luvoni, 2006). Cependant, la mesure devient plus difficile à l'approche du terme car les fœtus se

superposent sur l'écran à l'échographie (Greco et Davidson, 2017). Il s'agit du paramètre biométrique le plus étudié en 2<sup>ème</sup> partie de gestation, avec 24 études sur 26 recensées chez la chienne et 9 sur 11 chez la chatte. C'est également un des premiers à avoir été testé puisque sa corrélation avec l'âge gestationnel en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation a été mise en évidence dès 1990 pour les deux espèces (England et al., 1990 ; Beck et al., 1990).

Par ailleurs, certains auteurs ont également mesuré le diamètre du crâne (HD). Ce dernier est défini comme la plus grande section de la tête sur une coupe frontale (Luvoni et Beccaglia, 2006). Il a été mesuré dans quelques études lorsque les repères pour le BP ne sont pas encore bien identifiables et sa corrélation avec l'âge gestationnel a été démontrée dès 25-30 jours après le pic de LH pré-ovulatoire chez la chienne (Son et al., 2001) et dès 25 jours de gestation chez la chatte (Beck et al., 1990 ; Beccaglia et al., 2008a). Cependant, l'étude de Son et al. (2001) a montré qu'il est essentiel de tenir compte de la position centrale de la faux du cerveau pour obtenir des mesures fiables.

Les courbes de croissance obtenues chez les chiennes et les chattes mettent en évidence une relation linéaire du diamètre bipariétal avec l'âge gestationnel (figures 21 et 22), confirmée plusieurs fois (Luvoni et Grioni, 2000 ; Zambelli et al., 2004 ; Beccaglia et al., 2008a ; Socha et Janowski, 2011 ; Socha et al., 2012). De nombreuses formules linéaires simples ont ainsi été développées, à partir de 25-30 jours de gestation chez la chatte et principalement à partir de 38-40 jours de gestation après le pic de LH chez la chienne. Pour certaines de ces équations, il a été démontré que leur utilisation est possible dès la 5<sup>ème</sup> semaine de gestation, soit dès 28-30 jours de gestation, avec une bonne efficacité de prédiction (Beccaglia et Luvoni, 2012 ; Groppetti et al., 2015).

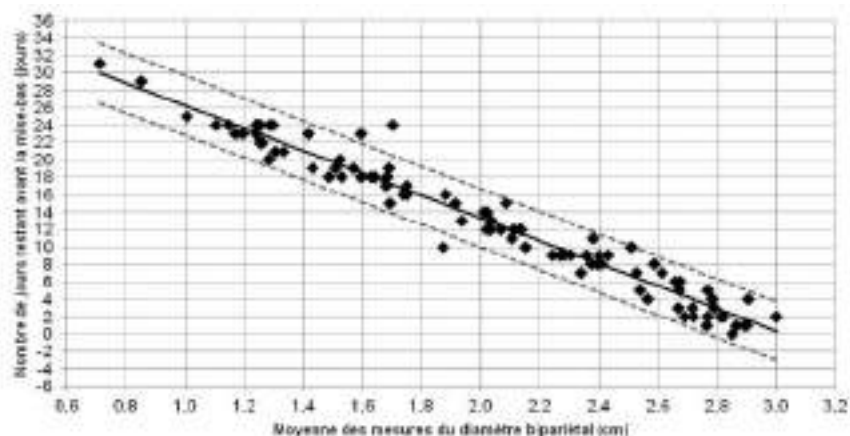


Figure 21 : Représentation graphique de la répartition des valeurs du diamètre bipariétal en fonction du nombre de jours avant mise-bas chez 57 chiennes de grand format, ainsi que la régression linéaire associée (Cuevas, 2019)



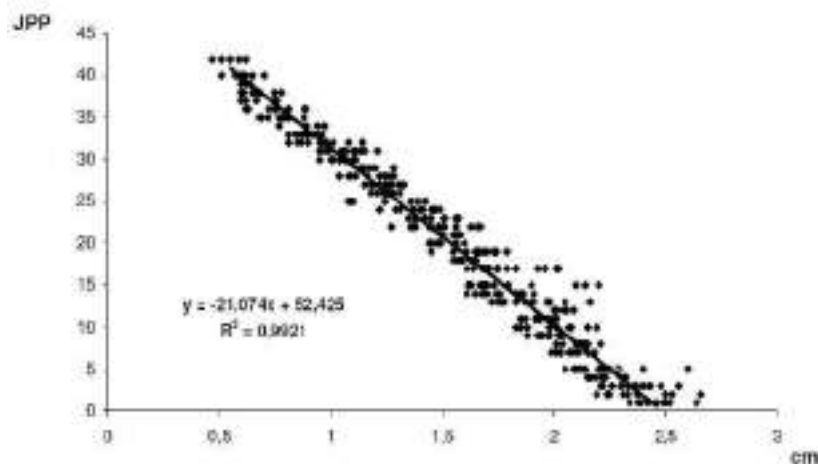


Figure 22 : Représentation graphique de la répartition des valeurs du diamètre bipariétal en fonction du nombre de jours avant mise-bas chez 5 chattes de tous formats ainsi que la régression linéaire associée (Blaise, 2006)

D'autres types de régression ont été étudiés pour ce paramètre chez la chienne et la chatte. Moriyoshi et al. (1990) ont développé un modèle de type polynôme de second degré chez 6 chiennes Beagle entre le 20<sup>ème</sup> jour de gestation et la mise-bas. Cependant, les auteurs précisent que la croissance de HD suit une droite à partir de 30 jours de gestation environ, ce qui correspond au moment où la mesure de BP devient réellement possible (figure 23). De plus, la date de gestation a été établie à partir du nombre de jours depuis le dernier accouplement dans cette étude, ce qui peut modifier la courbe de croissance. Dans le cas de l'espèce féline, une étude a comparé différents types de régression chez 8 chattes de format moyen et en a conclu qu'un modèle exponentiel s'approcherait le plus de la réalité (Zambelli et al., 2004) (figure 24). Toutefois, ce modèle a été établi à partir de la moyenne des mesures de BP sur les 8 femelles à 30, 35, 45, 50 et 60 jours de gestation, et non pas sur l'ensemble des valeurs obtenues. Ces observations n'ont pas été retrouvées dans les autres études chez la chatte.

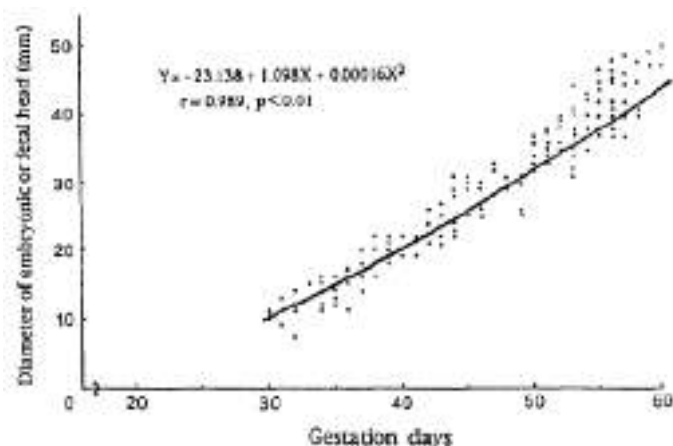


Figure 23 : Répartition des mesures du diamètre bipariétal chez 6 chiennes de race Beagle entre 30 et 60 jours de gestation après le dernier accouplement (Moriyoshi et al., 1995)

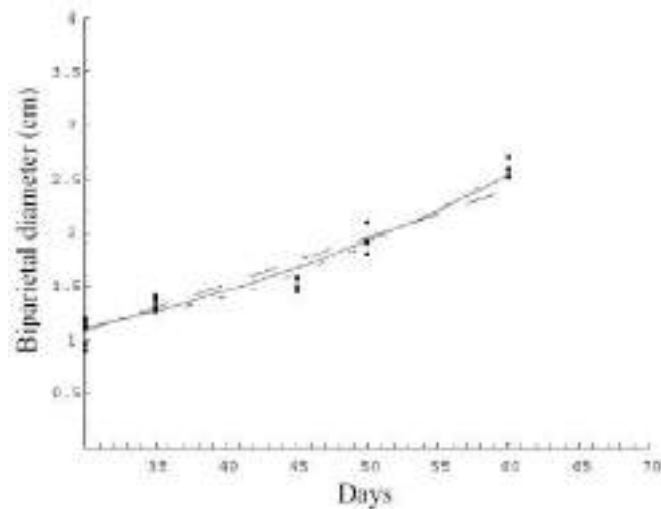


Figure 24 : Valeurs moyennes du diamètre bipariétal en fonction de l'âge gestationnel chez 8 chattes de format moyen, ainsi que les modèles linéaire (grands tirets), paraboliques (petits tirets) et exponentiel (ligne associée) (Zambelli et al., 2004)

Pour l'espèce canine, les premières formules ont d'abord été développées pour des chiennes de race Beagle (England et al., 1990 ; Yeager et al., 1992). Par la suite, des équations ont été publiées pour des races de petit format, telle que le Yorkshire Terrier (Son et al., 2001), le Bichon Maltais (Son et al., 2001) et le Jack Russel Terrier (Luvoni et Grioni, 2000), ainsi que pour des femelles de format moyen (Luvoni et Grioni, 2000). Des études se sont ensuite intéressées à chaque format, pour proposer des modèles spécifiques à chacun. Ainsi, des formules multi- raciales ont été établies pour les formats grand et géant depuis 2015 (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016 ; Cuevas, 2019). Plus récemment, des formules pour format miniature ont été développées par Socha et Janowski (2018) et Cuevas (2019), mais leur précision n'a pas encore été évaluée. Dans le but de n'avoir qu'une seule formule adaptée à tous les formats, Alonge et al. (2016a) ont également développé une formule linéaire multi-variée qui tient compte du poids de la mère avant gestation, pour des chiennes non brachycéphales.

Compte-tenu de la morphologie crânienne très différente des brachycéphales, quelques études ont établi des formules qui leur sont adaptées. De la même façon que pour d'autres paramètres, quelques études multi- raciales ont inclus des races brachycéphales (Alonge et al., 2016b ; Socha et Janowski, 2018 ; Cuevas, 2019), bien qu'à l'exception de l'étude de Cuevas (2019), le nombre d'individus de cette catégorie par rapport aux femelles non brachycéphales soit souvent faible au sein des cohortes. De façon plus spécifique, Feliciano et al. (2015) et Cuevas (2019) ont travaillé avec des groupes de chiennes uniquement brachycéphales et ont développé des formules multi- raciales pour des chiennes brachycéphales de tous les formats, ainsi que des formules spécifiques pour les races Carlin, Shih Tzu et Bouledogue Anglais.



Chez la chatte, les formules ont d'abord été établies avec des femelles uniquement de format moyen (Beck et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004), puis des races de grand format ont été incluses dans des cohortes mixtes (Beccaglia et al., 2008b). Socha et Janowski (2019) ont développé l'année dernière une formule adaptée aux Maine Coon. Nous n'avons trouvé aucune donnée publiée sur des races brachycéphales pour les félins.

Les formules sont rassemblées dans les tableaux 9 pour la chienne et 10 pour la chatte.

Tableau 9 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre bipariétal selon le format racial  
*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; BP : diamètre bipariétal*

Format	Formule	Référence
Tout format	$DBP = (26,9346 + 0,0488 \times P \text{ kg} - BP \text{ mm})/0,693$ <i>Non brachycéphale</i>	<i>Alonge et al., 2016a</i>
Format miniature < 6 kg	$DG = 24,70 + 1,54 \times HD \text{ mm}$ <i>Bichon Maltais</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	$DG = 23,89 + 1,63 \times HD \text{ mm}$ <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	$DBP = (24,5 - BP \text{ mm})/0,62$ <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Socha et Janowski, 2011</i>
	$DBP = 39,70 - 1,6190 \times BP \text{ mm}$	<i>Socha et Janowski, 2018</i>
Petit format 6- 10 kg	$DBP = (25,11 - BP \text{ mm})/0,61$	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
	$DBP = 36,34 - 13,49 \times BP \text{ cm}$ <i>Brachycéphales</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	$DBP = 40,72 - 15,25 \times BP \text{ cm}$ <i>Non brachycéphales</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	$DBP = 39,62 - 14,80 \times BP \text{ cm}$ <i>Brachycéphales ou non</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	$DG = 24,2 + 12,7 \times BP \text{ cm}$ <i>Carlin</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
	$DG = 20,2 + 14,5 \times BP \text{ cm}$ <i>Shih Tzu</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Format moyen 11 – 25 kg	$DBP = (29,18 - BP \text{ mm})/0,7$	<i>Luvoni et Grioni, 2000</i>
	$DBP = 39,59 - 14,34 \times BP \text{ cm}$ <i>Brachycéphales</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	$DBP = 39,00 - 13,18 \times BP \text{ cm}$ <i>Non brachycéphales</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	$DBP = 39,58 - 14,04 \times BP \text{ cm}$ <i>Brachycéphales ou non</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	$DBP = 38,62 - 14,09 \times BP \text{ cm}$ <i>Portée ≥ 9</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	$DG = 21,08 + 14,88 \times BP \text{ cm} - 0,11 \times BP^2 \text{ cm}$ <i>Beagle</i>	<i>Yeager et al., 1992</i>

	DG = 28,1 + 10,3 x BP cm <i>Bouledogue anglais</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Formats petit et moyen	DG = 23,0 + 13,1 x BP cm <i>Brachycéphales</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Grand format 26 – 40 kg	DBP = 38,65 – (1,286 x BP mm) <i>Berger Allemand</i>	<i>Groppetti et al., 2015</i>
	DBP = (31,9 – BP mm)/0,8 <i>Golden Retriever</i>	<i>Socha et Janowski, 2011</i>
	DBP = (30 – BP mm)/0,8	<i>Alonge et al., 2016b</i>
	DBP = 39,20 – 12,95 x BP cm <i>Brachycéphales ou non</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
Format géant > 40 kg	DBP = (29 – BP mm)/0,7	<i>Alonge et al., 2016b</i>
	DBP = (29,06 – BP mm)/0,67 <i>Non brachycéphale</i>	<i>Socha et al., 2015</i>
	DBP = 40,14 – 12,77 x BP cm <i>Brachycéphales ou non</i>	<i>Cuevas, 2019</i>
	DBP = 40,38 – 13,29 x BP cm <i>Portée ≥ 12</i>	<i>Cuevas, 2019</i>

Tableau 10 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre bipariétal selon le format racial  
DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; BP : diamètre bipariétal

Format	Formule	Référence
Tout format	DBP = (23,39 – BP mm)/0,47	<i>Beccaglia et al., 2008a</i>
Format moyen	DG = [log(BP cm/0,483873)]/0,02756	<i>Zambelli et al., 2004</i>
	DBP = 50,74 – 2,10 x HD mm	<i>Topie et al., 2015</i>
	DBP = (23,0844 – HD mm)/0,42	<i>Garcia et al., 2015</i>
	DBP = 61,2 – 24,6 x HD cm	<i>Beck et al., 1990</i>
	DBP = 52,425 – 21,074 x BP cm	<i>Blaise, 2006</i>
Grand format	DBP = 49,3 – 1,86 x BP mm <i>Maine Coon</i>	<i>Socha et Janowski, 2019</i>

#### 2.4.2.2. Diamètre abdominal

Le diamètre abdominal, ou Body Diameter (BD), est calculé à partir de la moyenne de deux mesures perpendiculaires de la section la plus large de l'abdomen, sur une coupe transverse, passant par l'estomac (Kutzler et al., 2003 ; Yeager et al., 1992) (figure 25).



Figure 25 : Mesure du diamètre abdominal (BD) sur une coupe transverse de l'abdomen d'un fœtus chez une chienne 9 jours avant mise-bas (Luvoni et Gioni, 2000) et schéma explicatif (Tainturier, 2005)

Ce paramètre est le 2<sup>ème</sup> plus étudié parmi les structures fœtales, après le BP, avec 9 études sur 26 chez la chienne et 6 sur 11 chez la chatte. Sa croissance est corrélée à l'âge gestationnel dès 25 jours de gestation (Moriyoshi et al., 1995 ; Blaise, 2006). Cependant, la majorité des formules chez la chienne ont été obtenues avec des mesures réalisées plus tardivement au cours de la gestation, lorsque les structures repères telles que l'estomac, le foie et certains gros vaisseaux sont bien visibles, soit après 35-40 jours de gestation à partir du pic de LH (England et al., 1990 ; Tainturier, 2005).

La croissance du diamètre abdominale est linéaire par rapport au nombre de jours avant parturition en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation (figure 26 et 27) (England et al., 1990 ; Son et al., 2001 ; Blaise, 2006) et a permis de développer des formules linéaires simples pour plusieurs races telles que le Yorkshire Terrier et le Bichon Maltais (Son et al., 2001), le Berger Allemand (Cecchetto et al., 2017), ainsi que le Carlin, le Shih Tzu et le Bouledogue Anglais (Feliciano et al., 2015). Les formules rassemblées chez la chatte permettent de prédire la date de mise-bas pour des femelles de format moyen.

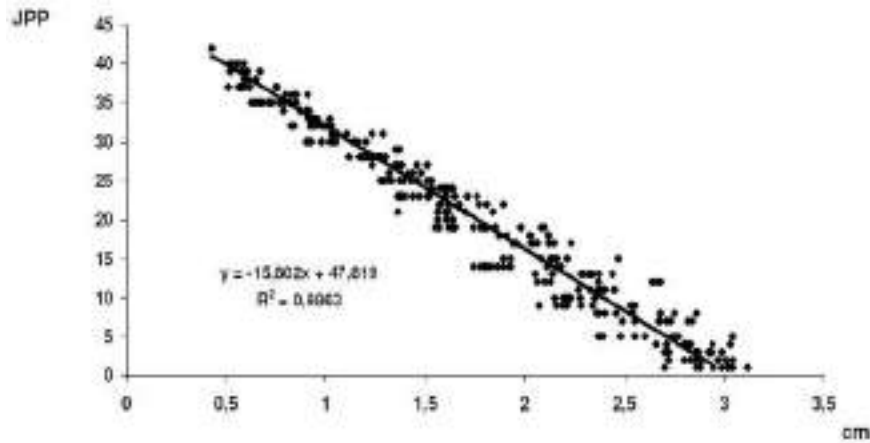


Figure 26 : Courbe de croissance du diamètre abdominal en fonction du nombre de jours avant parturition (JPP) chez 5 chattes de tous formats (Blaise, 2006)

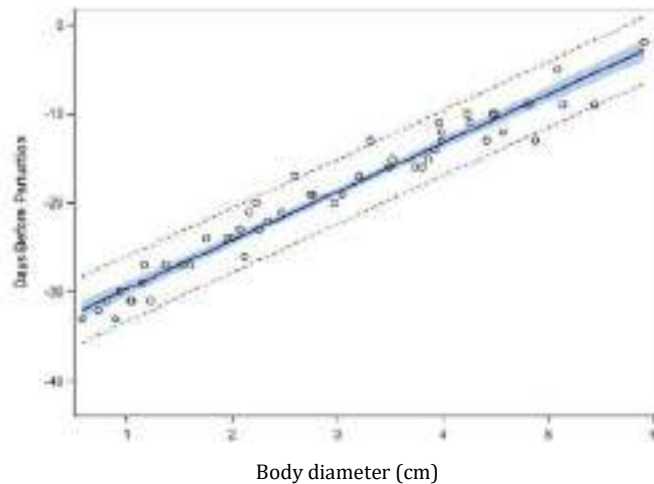


Figure 27 : Répartition des valeurs du diamètre abdominal en fonction du nombre de jours restants avant mise-bas (DBP) chez 20 chiennes de race Berger Allemand (Cecchetto et al., 2017)

De la même façon que pour le BP, Zambelli et al. (2004) ont testé plusieurs types de modèle pour ce paramètre chez la chatte et ont conclu qu'une fonction exponentielle serait la plus adaptée. Toutefois, ces observations ont été faites à partir des valeurs moyennes de BD pour les 8 chattes échographiées, et non à partir de l'ensemble des mesures. Moriyoshi et al. (1995) ont également développé un modèle polynômial de second degré pour cette structure, à partir de mesures réalisées dès 20 jours de gestation chez des chiennes Beagle. Les auteurs précisent cependant que la croissance accélère de façon linéaire à partir de 40 jours de gestation environ, lors de la transition d'embryon à fœtus. Cette formule n'a pas été conservée dans la suite de notre étude, car les mesures n'ont pas été réalisées en tenant compte des repères échographiques actuels.

Par ailleurs, une formule linéaire multiple combinant la mesure de BP et de BD a été développée par England et al. (1990) pour la chienne, dans le but d'augmenter l'efficacité de prédiction de la méthode. Les auteurs ont également publié une table de prédiction à partir de cette formule.

Tableau 11 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre abdominal selon le format racial  
DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; BD : diamètre abdominal ; BP : diamètre bipariétal

Format	Formule	Référence
Format miniature < 6 kg	DG = 30,64 + 0,73 x BD mm <i>Bichon Maltais</i>	<i>Son et al., 2001</i>
	DG = 30,52 + 0,75 x BD mm <i>Yorkshire Terrier</i>	<i>Son et al., 2001</i>
Format petit 6 – 10 kg	DG = 25,8 + 8,5 x BD cm <i>Carlin</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
	DG = 24,3 + 8,3 x BD cm <i>Shih Tzu</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Format moyen 11 – 25 kg	DG = 22,89 + 12,75 x BD cm – 1,17 x BD <sup>2</sup> cm <i>Beagle</i>	<i>Yeager et al., 1992</i>
	DG = 25,8 + 7,2 x BD cm <i>Bouledogue anglais</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Grand format 26 -40 kg	DBP = 34,92 – 5,41 x BD cm <i>Berger Allemand</i>	<i>Cecchetto et al., 2017</i>
	<u>Paramètres combinés</u> DBP = 34,27 – 5,89 x BP cm – 2,77 x BD cm >J39	<i>England et al., 1990</i>

Tableau 12 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre abdominal selon le format racial  
DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; BD : diamètre abdominal

Format	Formule	Référence
Format moyen	DG = [log(BD cm/0,405565)]/0,0372141	<i>Zambelli et al., 2004</i>
	DBP = 42,19 – 1,01 x BD mm	<i>Topie et al., 2015</i>
	DBP = (35,1042 – BD mm)/0,7060	<i>Garcia et al., 2015</i>
	DBP = 43,5 – 10,9 x BD cm	<i>Beck et al., 1990</i>
	DBP = 47,819 – 15,802 x BD cm	<i>Blaise, 2006</i>

### 2.4.2.3. Diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique

La partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique, ou Deep Portion of the diencephalo-Telencephalique Vesicle (DPTV), se visualise sur une coupe dorsale du crâne d'un fœtus. Elle prend l'aspect d'une structure centrale hypoéchogène à bords bien définis à l'échographie, bilobée et symétrique de part et d'autre de la fissure longitudinale dans la tête du fœtus (Beccaglia et al., 2003 ; Luvoni et Beccaglia, 2006 ; Lopate, 2012) (figure 28). La DPTV représente le thalamus et le noyau basal du fœtus (Lopate, 2012). Elle est visualisable entre 35 et 57 jours après le pic de LH chez la chienne (Beccaglia et al., 2003 ; Beccaglia et Luvoni, 2004) et entre 34 à 1 jour avant la mise-bas chez la chatte, soit à partir de 31 jours de gestation environ (Beccaglia et al., 2008a). Néanmoins, la mesure devient plus difficile à l'approche de la mise-bas, car l'ensemble du crâne est calcifié (Beccaglia et al., 2008b).



Figure 28 : Mesure du diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique sur une coupe dorsale du crâne d'un fœtus (Lopate, 2012)

L'étude de ce paramètre est plus récente, avec la première mise en évidence d'une corrélation linéaire significative avec l'âge gestationnel en 2004 chez la chienne pour des formats petit et moyen (Beccaglia et al., 2004) et en 2008 pour des chattes de tous formats (Beccaglia et al., 2008a). Par la suite, d'autres formules linéaires ont été développées pour des chiennes de grand format, dont une spécifique aux Bergers Allemands (Cecchetto et al., 2017). Nous n'avons répertorié aucune formule spécifique aux formats géant et miniature à ce jour.

Tableau 13 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; DPTV : diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique*

Format	Formule	Référence
Petit format 6 – 10 kg	$DBP = (10,11 - DPTV \text{ mm})/0,24$	<i>Beccaglia et Luvoni, 2004</i>
Format moyen 11 – 25 kg	$DBP = (14,15 - DPTV \text{ mm})/0,4$	<i>Beccaglia et Luvoni, 2004</i>
Grand format 26 – 40 kg	$DBP = (10,27 - DPTV \text{ mm})/0,24$	<i>Beccaglia et al., 2008b</i>
	$DBP = 33,56 - 28,38 \times DPTV \text{ cm}$ <i>Berger Allemand</i>	<i>Cecchetto et al., 2017</i>

Tableau 14 : Formule de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; DPTV : diamètre de la partie profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique*

Format	Formule	Référence
Tout format	$DBP = (10,74 - DPTV \text{ mm})/0,22$	<i>Beccaglia et al., 2008a</i>

#### 2.4.2.4. Autres paramètres fœtaux

D'autres structures ont été étudiées occasionnellement, tel que le diamètre de l'estomac, ou Gastric Diameter (GD), qui correspond à la plus grande section de l'estomac sur une coupe transverse de l'abdomen du fœtus (Zambelli et al., 2004). Celui-ci n'a été étudié qu'une seule fois chez la chatte et la chienne (England et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004). Une corrélation avec l'âge de la gestation a été mise en évidence dans ces études, mais sa période d'utilisation est assez tardive chez la chienne puisque l'estomac devient nettement visible à l'échographie que vers 40 jours après le pic de LH (Tainturier, 2005). England et al. (1990) estiment pouvoir le mesurer correctement uniquement dans les 20 derniers jours de gestation. Chez la chatte, cette structure est observable dès 25 jours de gestation (Tainturier, 2005). Sa mesure a été réalisée dès 30 jours après accouplement chez un groupe de 8 chattes (Zambelli et al., 2004) et a permis de développer une fonction de type exponentiel pour prédire le DBP. Cependant, la précision de cette formule n'a jamais été évaluée et son utilisation est discutée car la forme de l'estomac pourrait varier sous la pression de la sonde.



Tableau 15 : Formule de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du diamètre de l'estomac selon le format racial  
*DBP* : nombre de jours restants avant la mise-bas ; *DG* : jour de la gestation ; *GD* : diamètre de l'estomac

Format	Formule	Référence
Format moyen	$DG = [\log(GD \text{ cm}/0,115113)]/0,0388901$	<i>Zambelli et al., 2004</i>

Parmi les paramètres plus rares, nous avons également retrouvé la longueur du fémur, ou Femur Length (FL), étudiée également une seule fois chez la chienne et la chatte. Sa mesure correspond au plus grand axe du fémur d'un fœtus sur une coupe longitudinale à l'échographie (figure 29) (Gatel et al., 2014). Néanmoins, le fémur est souvent difficile à visualiser en entier, notamment lorsque les fœtus sont nombreux et qu'ils se superposent à l'écran.

Feliciano et al. (2015) ont mis en évidence une corrélation significative et linéaire avec l'âge gestationnel chez des chiennes de races brachycéphales. Toutefois, cette structure n'a pas été étudiée chez d'autres races de chiennes. Pour l'espèce féline, Gatel et al. (2014) ont mis au point formule linéaire multi-variée tenant compte également du poids de la mère et de son âge avant gestation, ainsi que du nombre de fœtus. Les formules sont rassemblées dans le tableau 16.



Figure 29 : Mesure de la longueur du fémur en coupe longitudinale chez une chatte 6 jours précédents la mise-bas (Gatel et al., 2014)

Tableau 16 : Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chienne en fonction du de la longueur du fémur selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; FL : longueur du fémur*

Format	Formule	Référence
Petit format	DG = 30.1 + 15.9 x FL cm <i>Carlin</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
	DG = 28.6 + 16.8 x FL cm <i>Shih Tzu</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Format moyen	DG = 29.2 + 15.1 X FL cm <i>Bouledogue anglais</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>
Petit et moyen format	DG = 29.2 + 16.0 x FL cm <i>Brachycéphales</i>	<i>Feliciano et al., 2015</i>

Tableau 17: Formules de prédiction de la date de mise-bas chez la chatte en fonction du de la longueur du fémur selon le format racial

*DBP : nombre de jours restants avant la mise-bas ; DG : jour de la gestation ; FL : longueur du fémur ; P : poids de la mère avant gestation ; Tp : taille de la portée ; A : âge de la mère avant gestation*

Format	Formule	Référence
Tous formats	DBP = 37,864 – 0,0193 x FL + 1,227 x P kg – 0,615 x Tp – 0,832 x A années	<i>Gatel et al., 2014</i>

De façon plus anecdotique, quelques études se sont intéressées au diamètre du cœur des fœtus, ou Diameter of Fetal Heart (DFH), au diamètre du foie, ou Liver Diameter (DL), ou encore au diamètre des yeux des fœtus. Cependant, les repères échographiques utilisés pour ces structures n'ont pas été définis précisément.

L'ensemble des études et leur analyse sont rassemblées dans des tableaux en annexe 1 pour la chienne et annexe 2 pour la chatte.

### 3. Mise au point des arbres de décision

Après l'analyse des populations, méthodologies et paramètres biométriques étudiés, nous avons ensuite réalisé une analyse comparative des équations biométriques existantes, à partir de laquelle nous avons tiré des conclusions pour établir le « matériel et méthode » pour la construction d'arbres de décision. Ces derniers tiennent compte des différentes caractéristiques des femelles et serviront de base pour mettre au point l'outil informatique par la suite.

Les différents niveaux de ces arbres correspondent aux caractéristiques étudiées par les auteurs dans leurs travaux : le format de la mère, la race de la mère, ainsi que d'autres facteurs de variation maternels et gestationnels (âge de la mère, taille de la portée, proportion de fœtus mâles dans la portée, hauteur au garrot, période de la gestation), et le mode de calcul (en fonction du jour de la gestation ou du nombre de jours avant parturition) (figure 30). L'intérêt de développer ces diagrammes est de déterminer de quels facteurs de variation et de quelles caractéristiques il faut tenir compte, et ainsi sélectionner au mieux les formules utilisables lorsqu'une chienne ou une chatte nous est présentée. En effet, après analyse de toutes les études que nous avons rassemblées portant sur la prédiction du moment de la mise-bas par biométrie embryonnaire ou fœtale, nous avons répertorié au total 74 formules pour l'espèce canine et 21 formules pour l'espèce féline. Ainsi, pour chaque niveau de l'arbre, nous nous sommes demandé si la caractéristique concernée était pertinente pour l'outil de calcul, c'est-à-dire si elle modifie ou non les résultats obtenus.

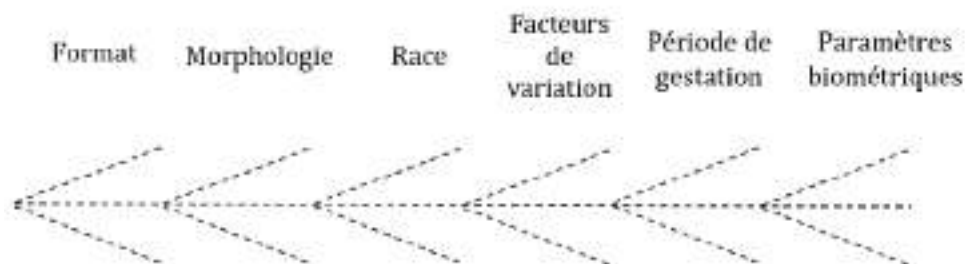


Figure 30 : Nœuds de l'arbre de décision conduisant à la sélection des équations applicables (ordonnés de gauche à droite)

Afin de choisir les formules que nous utiliserons pour chaque caractéristique liée à la femelle ou à la gestation, nous nous sommes demandé dans un premier temps si la caractéristique en question influence les résultats obtenus. Lorsque ce fût le cas, nous avons ensuite tenté de déterminer les meilleurs modèles biométriques. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur plusieurs critères tels que la précision de prédiction des formules, lorsque celle-ci a déjà été évaluée, ainsi que les variations de prédiction

minimales et maximales entre les différents modèles. Lorsque la caractéristique étudiée ne semblait pas influencer la courbe de croissance du paramètre biométrique et qu'aucune donnée ne permettait d'identifier une formule plus efficace que les autres, toutes les formules ont été utilisées pour calculer un résultat moyen.

Nous avons estimé que deux formules fourniraient des précisions de prédiction comparables si la différence entre leurs prédictions restait strictement inférieure à 2 jours sur toute la période de mesure. En effet, si nous prenons l'exemple d'un modèle pour lequel la précision de prédiction est estimée à 85% dans un intervalle de plus ou moins 1 jour chez un groupe de femelles, cela signifie que sur 100 mises-bas, 85 se sont produites dans un intervalle de -1,9 à +1,9 jours autour de la date prédite. Ainsi, si une autre formule donne des résultats de prédiction avec une différence de moins de 2 jours, sa précision de prédiction devrait s'approcher de la première.

L'une des difficultés rencontrées a été de comparer les précisions de prédiction. En effet, pour certaines équations, nous disposons de pourcentages de prédictions dans un intervalle de 1 et 2 jours autour de la date de mise-bas réelle. Cependant, ces pourcentages sont parfois difficilement comparables car ils ont été obtenus avec des effectifs différents ou des femelles aux caractéristiques très différentes. De plus, ils ont généralement été calculés sur le nombre d'échographies réalisées, plus élevé que le nombre de chiennes testées. A pourcentages de précision égaux dans un intervalle de plus ou moins deux jours autour de la date prédite, nous avons sélectionné la formule avec la meilleure précision dans l'intervalle de plus ou moins un jour.

Les formules établies directement à partir du nombre de jours restants avant la mise-bas donnent parfois un résultat négatif du nombre de jours restants, en considérant que le jour de la parturition correspond à J0. Pour faciliter leur utilisation et homogénéiser les résultats, nous avons adapté ces équations pour qu'elles fournissent une valeur positive du nombre de jours restants dans notre étude.

### 3.1. Choix des paramètres

Un des objectifs de notre travail est de pouvoir utiliser cet outil informatique sur une période étendue pendant la gestation. Pour cela, il a donc fallu y intégrer des formules utilisables en 1<sup>ère</sup> et en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation. Cependant, il est apparu que les paramètres biométriques dont nous disposons ne sont pas tous aussi adaptés pour déterminer précisément la date de mise-bas. Nous nous sommes appuyés sur plusieurs critères pour sélectionner ou éliminer un paramètre biométrique : le nombre d'études portant sur ce paramètre, la qualité de la corrélation avec l'âge gestationnel et la précision de prédiction des formules de ce paramètre lorsqu'elle a été testée.

#### 3.1.1. Chez la chienne

##### *Première moitié de la gestation*

Parmi les cinq paramètres utilisables en gestation précoce et pour lesquels nous disposons d'équations chez la chienne (le diamètre interne de la cavité chorionique, la longueur de l'embryon, le diamètre externe de la corne utérine, la longueur et l'épaisseur du placenta), nous avons conservé uniquement le diamètre interne de la cavité chorionique (ICC).

En effet, toutes les études s'accordent à conclure que l'ICC est le paramètre le plus adapté pour déterminer précisément le jour de la mise-bas en 1<sup>ère</sup> moitié de gestation (Luvoni et Grioni, 2000 ; Son et al., 2001 ; Lopate, 2008). Tout d'abord, la corrélation des mesures de cette structure avec l'âge gestationnel est hautement significative. C'est également le paramètre le plus étudié en gestation précoce et celui sur lequel nous avons le plus de recul sur l'efficacité des modèles existants. Sur les 12 formules à notre disposition, l'efficacité de prédiction de 9 d'entre elles a été évaluée, c'est-à-dire qu'elles ont été testées sur des groupes de chiennes. Elles ont mis en évidence la meilleure efficacité de prédiction parmi les paramètres embryonnaires et extra-embryonnaires. Ainsi, en calculant les précisions moyennes obtenues avec ces formules, nous avons observé que dans 79% des cas, les chiennes ont mis bas dans un intervalle de plus ou moins un jour autour de la date prédite et dans 90% des cas dans un intervalle de plus ou moins deux jours (Luvoni et Grioni, 2000 ; Son et al., 2001 ; Beccaglia et Luvoni, 2004 ; Socha et Janowski, 2011 ; Socha et Janowski, 2014 ; Groppetti et al., 2015 ; Alonge et al., 2016a ; Alonge et al., 2016b ; Cecchetto et al., 2017). Cette structure est également la plus facile des cinq à mesurer (Luvoni et Grioni, 2000).

Concernant la longueur de l'embryon (CRL), sa corrélation avec l'âge de la gestation est également hautement significative et les modèles linéaires présentent des coefficients de détermination proches de 1 (Son et al., 2001 ; Cecchetto et al., 2017). Cependant, l'efficacité de prédiction d'une seule équation parmi les 4 développées, établie pour des chiennes de race Berger Allemand, a été évaluée et s'est avérée inférieure à celle des formules d'ICC. Ainsi, dans 60% des cas, les chiennes ont mis bas à plus ou moins un jour de la date calculée et 80% à plus ou moins deux jours (Cecchetto et al., 2017). Etant donné l'absence de formule pour des chiennes de petit format et de format géant, nous avons décidé de ne pas inclure ce paramètre à notre outil de prédiction.

Par ailleurs, nous avons décidé de ne pas inclure également l'épaisseur et la longueur du placenta (PT et PL). En effet, ces structures ont été les moins étudiées en 1<sup>ère</sup> moitié de gestation et nous avons donc peu de recul sur leur efficacité. Concernant la PL, les dernières formules publiées que nous avons recensées datent de 2001 (Son et al., 2001) et aucune nouvelle étude ne s'y est intéressée depuis chez la chienne à notre connaissance. Dans le cas de PT, les dernières études sont plus récentes (Feliciano et al., 2015). Cependant, les coefficients  $R^2$  associés aux équations sont très faibles ( $<0,35$ ), ce qui met en évidence des formules peu adaptées à la courbe de croissance de cette structure. Ces paramètres ont été proposés pour déterminer l'âge gestationnel mais ils n'apparaissent pas suffisamment fiables pour être utilisés (Luvoni et Grioni, 2000 ; Son et al., 2001 ; Luvoni et Beccaglia, 2006). De plus, nous ne disposons pas de formules pour les formats grand et géant pour ces structures et l'efficacité de prédiction des modèles existants n'a jamais été évaluée, sur aucun format.

Nous avons également exclu le diamètre externe de la corne utérine (ODUH), malgré les coefficients de détermination élevés des modèles linéaires établis. En effet, la précision de ces formules n'a jamais été évaluée et nous n'avons donc pas de donnée sur la fiabilité de ce paramètre pour prédire la date de mise-bas. Cependant, il est probable que son utilisation soit moins fiable que celle de l'ICC à cause de la difficulté de réalisation de la mesure. En effet, la délimitation de cette structure est moins nette à l'image échographique, ce qui pourrait augmenter les erreurs de mesure et donc la variabilité des résultats (Luvoni et Grioni, 2000 ; Lopate, 2012).

### Seconde moitié de la gestation

Dans le cas où la chienne serait présentée plus tard dans la gestation, nous avons conservé le diamètre bipariétal (BP) et le diamètre abdominal (BD) et exclu le diamètre de la partie profonde de la vésicule diencephalo-téleencéphalique (DPTV), le diamètre gastrique (GD) et la longueur du fémur (FL).

Le BP est décrit comme le paramètre le plus pertinent à utiliser en deuxième moitié de gestation (Luvoni et Grioni, 2000 ; Son et al., 2001) étant donné sa forte corrélation linéaire avec l'âge gestationnel. C'est également le plus précis parmi les paramètres de gestation tardive (Kutzler et al., 2003 ; Lopate, 2008). A partir des formules de BP pour lesquelles la précision de prédiction a été évaluée (9/28), nous avons calculé une précision moyenne d'environ 65% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour et 86% dans un intervalle de plus ou moins deux jours (Luvoni et Grioni, 2000 ; Son et al., 2001 ; Kutzler et al., 2003 ; Beccaglia et Luvoni, 2004 ; Beccaglia et Luvoni, 2005 ; Beccaglia et Luvoni, 2006 ; Socha et Janowski, 2011 ; Socha et Janowski, 2014 ; Groppetti et al., 2015 ; Alonge et al., 2016a ; Alonge et al., 2016b ; Cecchetto et al., 2017), lorsque les formules sont appliquées à des chiennes de formats correspondant aux équations.

Dans le cas du BD, les précisions de prédiction de seulement 2 formules ont été évaluées parmi les 9 équations que nous avons rassemblées. Nous avons donc peu de recul sur l'efficacité de ces modèles. Cependant, cette structure présente également une corrélation linéaire forte avec l'âge de gestation et les quelques précisions obtenues sont similaires à celles que l'on retrouve avec le BP. En effet, en comparant la précision des formules de Luvoni et Grioni (2000) établies avec le BP et celle de Yeager et al. (1992) pour le BD sur un même groupe de chiennes, Stanczyk et al. (2012) ont obtenu des pourcentages similaires dans un intervalle de plus ou moins deux jours autour de la date prédite, avec 80% pour le BP et 78% pour le BD. En calculant les précisions moyennes pour ce paramètre, nous avons obtenu environ 62% de mise-bas à plus ou moins un jour de la date prédite et 89% à plus ou moins deux jours (Yeager et al., 1992 ; Cecchetto et al., 2017). Les efficacités du BP et du BD semblent donc similaires, bien que nous ayons moins de données pour le BD. De plus, England et al. (1990) rapportent une variabilité de prédiction moins importante lorsque ces deux paramètres sont combinés dans une équation (2,84 jours) par rapport à la moyenne des résultats de ces deux paramètres (3,78 jours) ou par rapport à ces paramètres utilisés seuls (respectivement 4,57 jours et 4,70 jours pour BP et BD). Ils en ont ainsi déduit que l'utilisation de ces deux paramètres augmenterait l'efficacité de prédiction, mais ceci n'a pas été étudié dans d'autres études.

En ce qui concerne les autres paramètres ou modèles développés en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation, nous avons décidé de ne pas les inclure dans notre outil de prédiction.

La mesure de la portion profonde de la vésicule diencephalo-télecephalique (DPTV), qui est la plus étudiée après celle du BP et du BD en gestation tardive donne une précision de prédiction significativement inférieure à celles de ces derniers (Beccaglia et Luvoni, 2004 ; Cecchetto et al., 2017). Appliquées à cinq chiennes de race Berger Allemand, la formule utilisant le DPTV développée avec le même groupe de chiennes, n'a permis de n'obtenir que 60% de mises-bas à plus ou moins un jour de la date prédite et 80% à plus ou moins deux jours contre 71% et 100% avec la formule basée sur le BD (Cecchetto et al., 2017). De la même façon, en calculant la précision moyenne des formules dont l'efficacité de prédiction a été évaluée (n=3 sur 4), nous avons obtenu 43% de précision

dans un intervalle de plus ou moins un jour et 70% dans un intervalle de plus ou moins deux jours (Beccaglia et Luvoni, 2004 ; Beccaglia et Luvoni, 2005 ; Beccaglia et al., 2008b ; Cecchetto et al., 2017), ce qui est inférieur aux précisions moyennes des formules utilisant le BP ou le BD. De plus, la mesure de la DPTV est plus difficile à réaliser (Cecchetto et al., 2017), ce qui pourrait expliquer ces pourcentages de précision moins élevés.

Pour les autres paramètres, nous les avons exclus de notre outil par manque de données sur leur efficacité de prédiction. En effet, le diamètre de l'estomac, des yeux, du cœur et d'autres organes ont été très peu étudiés chez la chienne et ne sont pas apparus adaptés pour déterminer la date de mise-bas avec précision (England et al., 1990 ; Moriyoshi et al., 1995). Dans le cas de la longueur du fémur (FL), nous disposons de plusieurs formules pour des chiennes de races brachycéphales, issues de la même étude (Feliciano et al., 2015), mais aucune n'est adaptée à des femelles de races non brachycéphales ni pour tous les formats. De plus, leur précision de prédiction n'a jamais été évaluée.

### 3.1.2. Chez la chatte

Nous avons inclus les mêmes paramètres biométriques chez la chatte que chez la chienne, bien que nous disposions de moins de données pour l'espèce féline, notamment sur les précisions de prédiction des modèles.

#### Première partie de la gestation

De la même façon que pour l'espèce canine, l'ICC correspond à la structure extra-embryonnaire qui fournit la meilleure précision de détermination du moment de la mise-bas en 1<sup>ère</sup> moitié de gestation (Beccaglia et Luvoni, 2006 ; Beccaglia et Luvoni, 2012 ; Beccaglia et al., 2016). Ainsi, sur 20 chattes, Garcia Mitacek et al. (2015) ont observé 54,3% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour autour de la date prédite et 81,7% dans un intervalle de plus ou moins deux jours, lorsque les mesures ont été réalisées au cours des semaines trois et quatre de gestation. De plus, les modèles établis pour cette structure présentent tous des coefficients de détermination proches de 1, ce qui confirme une corrélation forte des formules avec la courbe de croissance de l'âge de gestation en fonction d'ICC (Garcia Mitacek et al., 2015 ; Socha et Janowski, 2019).

Concernant la CRL et l'ODUH, nous avons décidé de ne pas les inclure dans notre outil chez la chatte. Leur utilisation en gestation précoce semble possible au vu de leur corrélation hautement significative avec l'âge gestationnel et des coefficients de détermination élevés des modèles établis (Zambelli et al., 2002 ; Lopate, 2008). Cependant, l'efficacité de prédiction des formules que nous avons rassemblées n'a jamais été évaluée à notre connaissance. Tout comme chez la chienne, il est probable que leur



précision soit inférieure à celle obtenue avec la mesure d'ICC car ces structures sont moins bien définies à l'image échographique et donc plus exposées à des erreurs de placement des marqueurs de mesure (Lopate, 2008).

### Seconde partie de la gestation

Le BP est également le paramètre le plus fiable pour prédire la date de mise-bas chez la chatte en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation (Lopate, 2008 ; Beccaglia et al., 2016). Pour les 4 formules dont l'efficacité a été évaluée sur les 7 disponibles, entre 49.1% et 75% des mise-bas ont eu lieu dans un intervalle de plus ou moins un jour autour de la date prédite, et entre 74,5% et 87,5% dans un intervalle de plus ou moins deux jours (Beck et al., 1990 ; Beccaglia et al., 2008 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015). Ainsi, la précision moyenne est d'environ 60% à plus ou moins un jour et 83% à plus ou moins deux jours, ce qui est relativement similaire à celle de l'ICC en gestation précoce.

L'utilisation du BD présente une efficacité de prédiction légèrement inférieure à celle du BP chez la chatte, mais qui reste néanmoins élevée. En effet, parmi les formules dont l'efficacité a été testée (3/5), nous avons retrouvé une plus grande variabilité de la précision, allant de 3,3% à 45% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour, et de 51,5% à 100% dans un intervalle de plus ou moins deux jours autour de la date prédite (Beck et al., 1990 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015). Nous avons tout de même inclus ce paramètre car Topie et al. (2015) rapportent une meilleure efficacité de prédiction dans un intervalle de plus ou moins 2 jours autour de la date prédite lorsque la mesure du BD est associé à la mesure du BP (> 85%), par rapport à l'utilisation du BP (85%) ou du BD (77%) seuls.

Les autres paramètres proposés en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation n'ont pas été conservés pour notre outil pour les mêmes raisons que chez la chienne.

Dans le cas du DPTV, bien que sa corrélation soit significative avec l'âge de la gestation, la précision de prédiction de cette structure reste faible. Elle est inférieure à celle obtenue grâce aux mesures du BP, avec 38,5% de mise-bas à plus ou moins un jour autour de la date prédite et 61.5% à plus ou moins deux jours pour le DPTV contre 64.3% et 85.7% pour le BP (Beccaglia et al., 2008b). Cependant, ces résultats ont été calculés sur un groupe de 6 chattes seulement, de races variées. Il serait intéressant d'étudier sa précision sur une cohorte plus grande.

Une seule étude s'est intéressée à la FL. Bien que les auteurs rapportent une précision de prédiction relativement bonne (>70% à plus ou moins deux jours de la date prédite) (Gatel et al., 2014), nous avons considéré que les connaissances sur cette structure chez

la chatte n'étaient pas suffisantes pour l'inclure. Nous n'avons pas utilisé le diamètre de l'estomac ou des yeux pour la même raison.

## 3.2. Formats

Le format racial est le premier critère différentiel sur notre arbre de décision. Afin d'établir les arbres de décision, nous avons cherché à savoir s'il est nécessaire de tenir compte de cette caractéristique dans notre outil, c'est-à-dire si les formats ont une influence sur l'efficacité des modèles biométriques. Nous avons donc comparé les formules des différents formats dans un premier temps, pour déterminer si les formules existantes peuvent être appliquées à tous les formats ou non.

Nous avons repris les formats raciaux définis dans les différentes études selon le poids de la mère avant gestation, divisés en cinq catégories chez la chienne (miniature, petit, moyen, grand, géant) et en deux catégories chez la chatte (grande race, race de format moyen).

### 3.2.1. Chez la chienne

Dans le cas des modèles utilisant la mesure de l'ICC, des résultats similaires ont été obtenus pour plusieurs formats en utilisant la formule de Luvoni et Grioni (2000), développées à partir de chiennes de format moyen. En effet, les différentes études rapportent 60%-85% et 80%-90% de mises-bas dans un intervalle de plus ou moins un et deux jours autour de la date prédite respectivement, en appliquant cette formule à des femelles de format moyen (Beccaglia et Luvoni, 2004, 2006 ; Socha et Janowski, 2014), 74%-100% et 92%-100% pour des femelles de grand format (Socha et Janowski, 2011, 2014) et environ 75% et 90% pour des femelles de format géant (Socha et Janowski, 2014 ; Socha et al., 2015). Les résultats rapportés sont homogènes, bien qu'obtenus à partir de cohortes de tailles différentes, allant de 3 à 39 chiennes. Ainsi, cette formule semble applicable à d'autres formats avec une précision de prédiction similaire. Cependant, il s'agit de la seule équation utilisant l'ICC, qui ait été testée sur d'autres formats que celui pour lequel elle a été développée. Nous n'avons pas de données indiquant si les autres formules basées sur l'ICC seraient applicables à tous les formats.

Afin de comparer les formats sur la base des modèles utilisant l'ICC, nous avons calculé une équation moyenne pour chacun d'entre eux, à partir des formules disponibles (tableau 18). Ceci était possible car il s'agissait uniquement de fonctions linéaires. Nous

avons donc calculé la moyenne des coefficients directeurs et la moyenne des ordonnées à l'origine, pour former une équation moyenne. Nous avons ensuite tracé les droites associées, en appliquant des valeurs de l'ICC correspondantes à la première partie de gestation (5 – 30 mm) (Alonge et al., 2016b ; Socha et Janowski, 2018). Nous avons alors observé une différence plus marquée qui sépare les droites des formats miniature et petit, des droites des formats moyen, grand et géant (figure 31). Ainsi, pour des mesures d'ICC allant de 5 mm à 30 mm, on retrouve une différence de prédiction de maximum 0,8 jour entre les formats petit et miniature et de maximum 1,5 jour entre les formats moyen, grand et géant, contre 0,2 à 5,5 jours entre ces deux groupes, avec la plus grande différence entre les formats miniature et grand. Ces observations suggèrent que les modèles ICC pour formats miniature et petit fournissent des prédictions relativement similaires, et ceci également entre les format moyen, grand et géant, mais qu'ils ne sont pas applicables entre les formats les plus éloignés. Les pourcentages élevés de précision de prédiction obtenus avec la formule de Luvoni et Grioni (2000) pourraient donc s'expliquer par l'utilisation de chiennes d'un format intermédiaire pour développer l'équation.

Tableau 18 : Formules basées sur l'ICC et équations moyennes pour chaque format racial chez la chienne

Format miniature	Format petit	Format moyen	Format grand	Format géant
DBP = 63,2 - (18,58 + 0,71 x ICC) <i>Son et al., 2001 ; n=8</i>	DBP = (68,68 - ICC)/1,53 <i>Luvoni et Grioni, 2000 ; n=3</i>	DBP = (82,13 - ICC)/1,8 <i>Luvoni et Grioni, 2000 ; n=4</i>	DBP = 44,76 - (4,34 x ICC) <i>Groppetti et al., 2015 ; n=40</i>	DBP = (88,1 - ICC)/1,9 <i>Alonge et al., 2016b ; n=9</i>
DBP = 63,4 - (18,92 + 0,65 x ICC) <i>Son et al., 2001 ; n=10</i>			DBP = (84,66 - ICC)/1,86 <i>Socha et Janowski, 2011 ; n=9</i>	DBP = (79,88 - ICC)/1,71 <i>Socha et al., 2015 ; n=24</i>
DBP = (74,68 - ICC)/1,75 <i>Socha et Janowski, 2011 ; n=10</i>			DBP = (105,1 x ICC)/2,5 <i>Alonge et al., 2016b ; n=8</i>	
DBP = 44,04 - 0,63 x ICC <i>Socha et Janowski, 2018 ; n=24</i>				
<u>Moyenne des équations</u> DBP = 43,95 - 0,64 x ICC	<u>Moyenne des équations</u> DBP = (68,68 - ICC)/1,53	<u>Moyenne des équations</u> DBP = (82,13 - ICC)/1,8	<u>Moyenne des équations</u> DBP = 44,11 - 0,46 x ICC	<u>Moyenne des équations</u> DBP = 46,54 - 0,56 x ICC

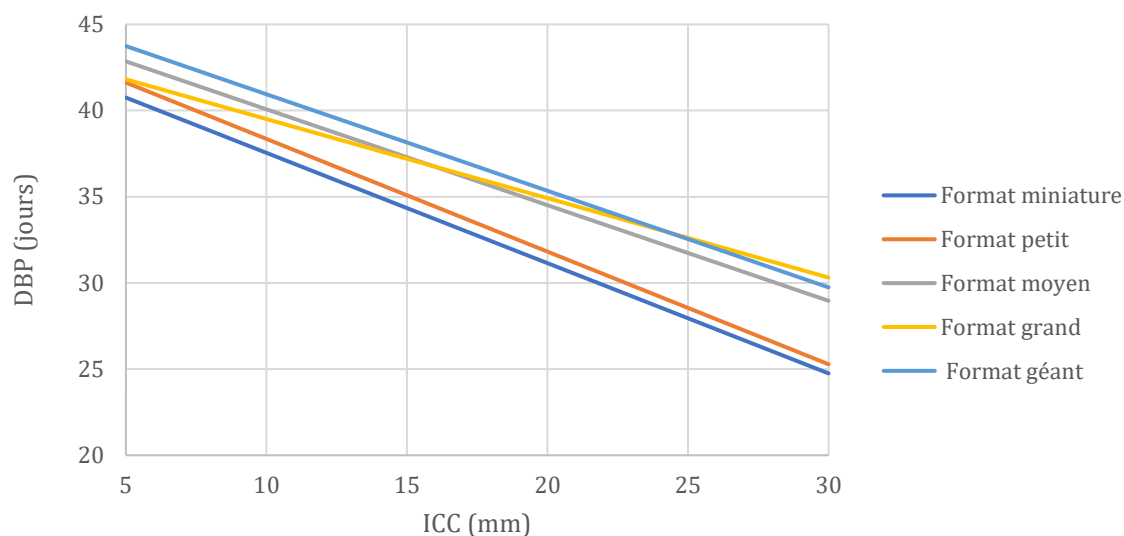


Figure 31 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des régressions linéaires moyennes de chaque format racial chez la chienne

*Les mesures de l'ICC sont réalisables en première moitié de gestation, soit entre environ 25 et 45 DBP*

Concernant les modèles utilisant le diamètre bipariétal, des formules adaptées aux différents formats apparaissent nécessaires pour prédire avec précision la date de parturition. En utilisant la formule du BP de Luvoni et Grioni (2000) développée à partir de chiennes de format moyen, Socha et Janowski (2014) ont mis en évidence des précisions de prédiction relativement élevées et similaires sur 26 femelles de format moyen et 26 de grand format, de 57-63% et 87%-91% de mises-bas dans un intervalle de plus ou moins un et deux jours respectivement autour de la date prédite. De la même façon, ils ont obtenu une bonne précision de prédiction en appliquant cette formule à des chiennes de race Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011). Ceci pourrait s'expliquer par le groupe de femelles échographiées pour établir cette équation, de race Golden Retriever croisée Setter Irlandais, qui correspondent à un format moyen à grand. En revanche, la précision de prédiction diminue lorsque cette formule est appliquée à des chiennes de format géant, avec seulement 43%-54% et 64%-79% de mises-bas dans un intervalle de plus ou moins un et deux jours respectivement autour de la date prédite (Socha et Janowski, 2014 ; Socha et al., 2015). Ainsi, contrairement au modèle utilisant l'ICC de la même étude, une seule formule basée sur le BP ne permet pas de prédire la parturition avec la même précision chez tous les formats. Nous avons donc inclus la caractéristique « format » dans notre arbre de décision pour les chiennes.

Par ailleurs, certains auteurs ont proposé des alternatives afin de pouvoir utiliser les mêmes formules sur tous les formats tout en conservant une bonne précision de prédiction. Kutzler et al. (2003) ont ainsi proposé d'appliquer des facteurs de correction à la formule combinant les mesures du BP et BD d'England et al. (1990), établie pour des chiennes de grand format, en retirant 1 jour au nombre de jours pré-partum pour les

chiennes de moins de 10 kg (petit format) et en ajoutant 2 jours pour les chiennes de plus de 40 kg (format géant), soit les formules  $DBP' = DBP - 1$  et  $DBP'' = DBP + 2$  respectivement. Leur utilisation permet d'augmenter nettement la précision de prédiction, puisque celle-ci est passée de 55% sans facteur de correction à 73% de mises-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour et de 75% à 85% dans un intervalle de plus ou moins deux jours pour 21 chiennes de petit format avec le facteur de correction. De la même façon, l'efficacité de prédiction a augmenté de 39% sans facteur de correction à 75% de mises-bas à plus ou moins un jour de la date prédite et de 61% à 87% à plus ou moins deux jours chez 17 chiennes de format géant avec le facteur de correction. Alonge et al. (2016a) ont quant à eux développé des formules utilisables pour toutes chiennes non brachycéphales, qui tiennent compte de la mesure de la structure (ICC ou BP), et du poids de la mère hors gestation. Celles-ci fourniraient, d'après les auteurs, une précision de prédiction pour chaque format comparable à celle des formules spécifiques de format (Alonge et al., 2016a). Cependant, en appliquant ces formules à des valeurs d'ICC (5 – 30 mm) et de BP (5 – 20 mm) avec les poids médians de chacun des formats, nous avons mis en évidence des variations de prédiction importantes, de plus de 2 jours, par rapport aux formules des formats moyen, grand et géant pour le modèle basé sur l'ICC (figure 32), et par rapport aux formats miniature, petit, moyen et grand pour le modèle basé sur le BP (figure 33).

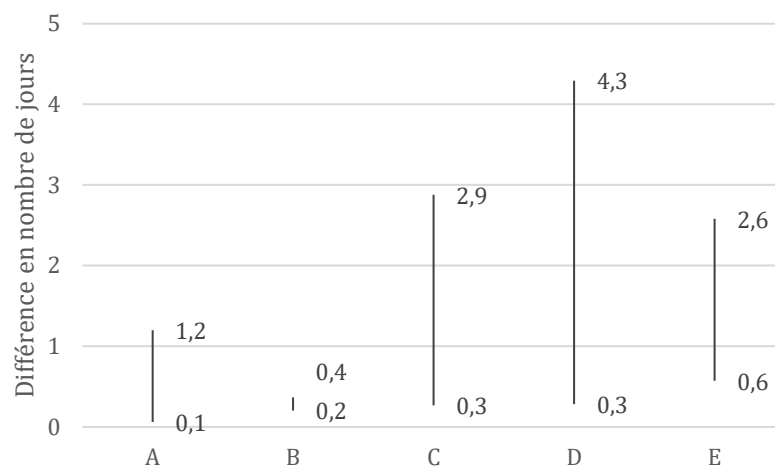


Figure 32 : Variations de prédiction du nombre de jours pré-partum entre la formule basée sur l'ICC tenant compte du poids de la mère (Alonge et al., 2016a) et celles des différents formats raciaux, pour un ICC mesurant entre 5 et 30 mm

A : Variations par rapport aux formules de format miniature (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011, 2018)

B : Variations par rapport aux formules de petit format (Luvoni et Grioni, 2000)

C : Variations par rapport aux formules de format moyen (Luvoni et Grioni, 2000)

D : Variations par rapport aux formules de grand format (Socha et Janowski, 2011 ; Groppetti et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b)

E : Variations par rapport aux formules de format géant (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b)

*Les poids médians de chaque format ont été appliqués à la formule d'Alonge et al (2016a) à l'exception du format géant (Miniature : 3kg, Petit : 8kg, Moyen : 18kg, Grand : 33kg, Géant : 50kg)*

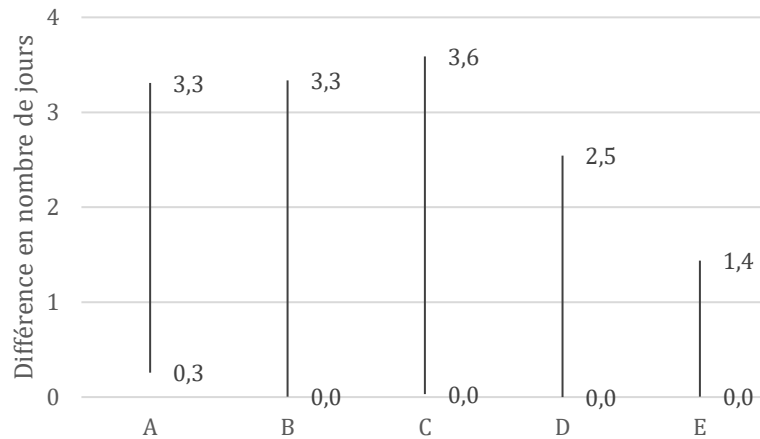


Figure 33 : Variations de prédiction du nombre de jours pré-partum entre la formule basée sur le BP tenant compte du poids de la mère (Alonge et al., 2016a) et celles des différents formats raciaux, pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm

A : Variations par rapport aux formules de format miniature (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011, 2018 ; Cuevas, 2019)

B : Variations par rapport aux formules de petit format (Luvoni et Grioni, 2000 ; Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019)

C : Variations par rapport aux formules de format moyen (Yeager et al., 1992 ; Luvoni et Grioni, 2000 ; Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019)

D : Variations par rapport aux formules de grand format (Socha et Janowski, 2011 ; Groppetti et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019)

E : Variations par rapport aux formules de format géant (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019)

*Les poids médians de chaque format ont été appliqués à la formule d'Alonge et al (2016a) à l'exception du format géant (Miniature : 3kg, Petit : 8kg, Moyen : 18kg, Grand : 33kg, Géant : 50kg)*

Dans le cas des modèles basés sur le diamètre abdominal, nous avons observé des variations importantes de prédiction entre les différents formats, allant jusqu'à 12 jours d'écart entre les formules pour petit et grand formats (figure 34). Les différences les plus faibles sont présentes entre les formats consécutifs mais ces écarts sont tout de même trop importants pour que l'on puisse utiliser les formules sur d'autres formats. Cependant, ces variations peuvent également être liées à d'autres paramètres que le format car plusieurs formules ont été développées à partir de chiennes brachycéphales. Nous n'avons donc pas pu réellement confirmer l'influence du format.

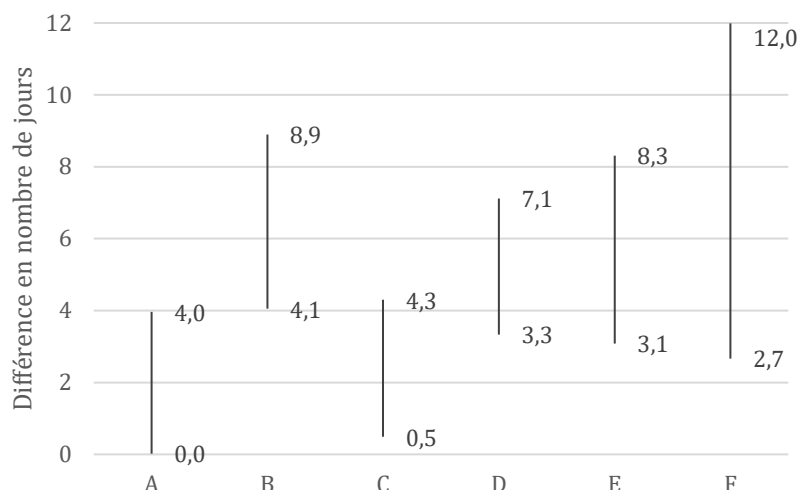


Figure 34 : Variations de prédiction du nombre de jours pré-partum entre les formules basées sur le diamètre abdominal (BD) des différents formats raciaux, pour un BD mesurant entre 5 et 30 mm

A : Variations maximum et minimum entre les formules pour formats miniature (Son et al., 2001) et petit (Feliciano et al., 2015)

B : Variations maximum et minimum entre les formules pour formats petit (Feliciano et al., 2015) et moyen (Yeager et al., 1992 ; Feliciano et al., 2015)

C : Variations maximum et minimum entre les formules pour formats moyen (Yeager et al., 1992 ; Feliciano et al., 2015) et grand (Cecchetto et al., 2017)

D : Variations maximum et minimum entre les formules pour formats miniature (Son et al., 2001) et moyen (Yeager et al., 1992 ; Feliciano et al., 2015)

E : Variations maximum et minimum entre les formules pour formats miniature (Son et al., 2001) et grand (Cecchetto et al., 2017)

F : Variations maximum et minimum entre les formules pour formats petit (Feliciano et al., 2015) et grand (Cecchetto et al., 2017)

### 3.2.2. Chez la chatte

Chez la chatte, nous avons défini dans notre étude deux formats : un « grand » format rassemblant les quelques races dont le poids est plus important que la moyenne (> 5 kg) (Maine Coon, Bengal, Norvégien) et un format moyen rassemblant toutes les autres races. Une seule étude s'est intéressée à une des races de grand format, le Maine Coon, et a publié des formules spécifiques à celle-ci (Socha et Janowski, 2019). Une autre étude a également inclus dans sa cohorte quelques femelles de grand format parmi des races de format moyen (Beccaglia et al., 2008a) : nous avons donc considéré que l'équation s'appliquait à tous les formats. En l'absence d'autres modèles spécifiques aux grandes races, la comparaison des modèles que nous avons réalisée revient à comparer les formats et les races en même temps.

Concernant la mesure de l'ICC, les trois formules dont nous disposons ne sont pas toutes identiques. Les régressions linéaires simples établies à partir de 12 femelles de 3 à 3,5 kg (Zambelli et al., 2002) et de 23 femelles de race Maine Coon (Socha et Janowski, 2019) fournissent des prédictions comparables, avec une différence de prédiction d'1,1

jour maximum. En revanche, les variations de prédiction de ces deux dernières avec la fonction de type polynôme de second degré établie à partir de 16 chattes de format moyen (Garcia Mitacek et al., 2015) sont très importantes : 4,9 à 6,6 jours d'écart par rapport à l'équation de Zambelli et al. (2002) et 4,8 à 7,7 jours d'écart par rapport à l'équation de Socha et Janowski (2019) (figure 35). Toutefois, les auteurs rapportent tout de même une précision de prédiction relativement bonne avec cette équation de la 3<sup>ème</sup> à la 5<sup>ème</sup> semaine de gestation, soit entre 14 et 35 jours de gestation environ, de 75,1% de mises-bas dans un intervalle de plus ou moins deux jours autour de la date prédite. La précision à plus ou moins un jour de la date prédite est en revanche assez faible, de l'ordre de 49,2%. Cependant, ces pourcentages ont été obtenus en réalisant plus de 200 mesures sur un groupe de seulement 16 chattes, correspondant aux mêmes mesures utilisées pour développer la formule. Le fait de tester leur modèle sur le même groupe d'individus qui a servi à le développer pourrait avoir introduit un biais dans l'évaluation de la précision.

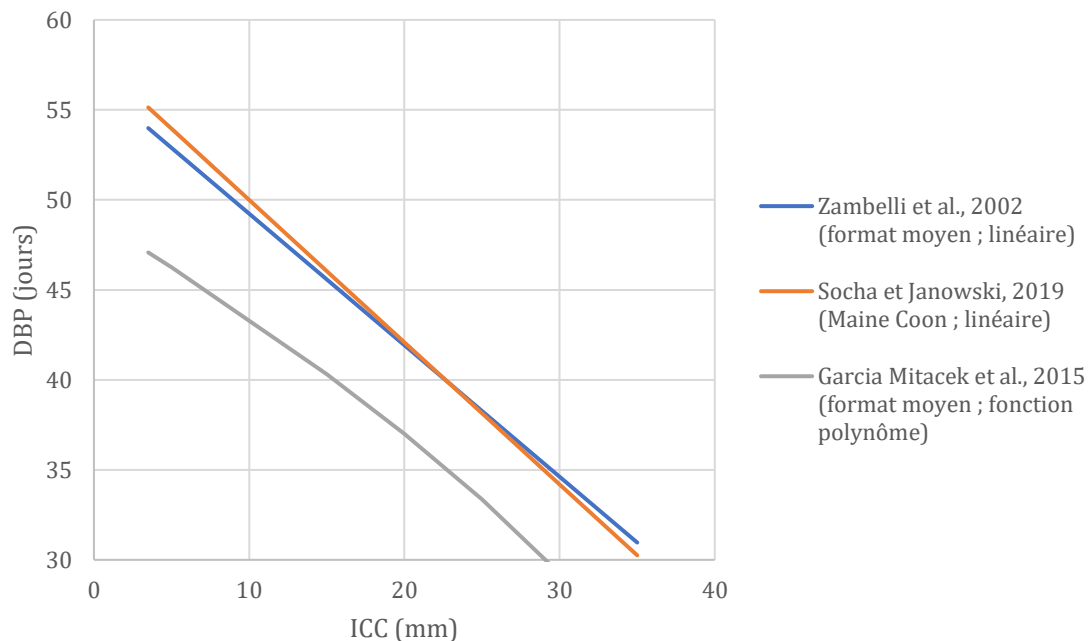


Figure 35 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des modèles pour chattes de format moyen (Zambelli et al., 2002 ; Garcia Mitacek et al., 2015) et pour chattes de race Maine Coon (Socha et Janowski, 2019)

Ainsi, les deux formules linéaires basées sur l'ICC développées à partir de chattes de format moyen (Zambelli et al., 2002) et de race Maine Coon (Socha et Janowski, 2019) semblent pouvoir être appliquées sur les deux formats. En revanche, nous avons décidé de ne pas inclure la formule de type polynôme de second degré (Garcia Mitacek et al., 2015), au vu du biais introduit pour évaluer sa précision de prédiction, en utilisant les mêmes mesures que celles qui ont servi à établir l'équation. De plus, le modèle pour Maine Coon (Socha et Janowski, 2019) a été développé à partir de 23 femelles, ce qui est



supérieur aux effectifs des deux autres modèles (n=12 et n=16), et nous avons donc considéré que sa fiabilité pourrait être meilleure.

Dans le cas des modèles utilisant le BP, les régressions linéaires établies avec des femelles de format moyen (Beck et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004 ; Blaise, 2006 ; Garcia Mitacek et al., 2015 ; Topie et al., 2015), tous formats (Beccaglia et al., 2008) et de race Maine Coon (Socha et Janowski, 2019), présentent des différences plus marquées, pour un BP mesurant entre 10 et 20 mm (figure 36 et tableau 19). Les variations de prédiction du nombre de jours restants avant la mise-bas vont de 0 à 6,9 jours entre les modèles linéaires pour format moyen (Beck et al., 1990 ; Blaise, 2006 ; Garcia Mitacek et al., 2015 ; Topie et al., 2015) et jusqu'à 8,9 jours de différence par rapport à la fonction exponentielle du même format (Zambelli et al., 2004). Les prédictions les plus similaires sont fournies par les modèles linéaires de Blaise (2006), Garcia Mitacek et al. (2015) et Topie et al. (2015), avec des variations allant de 0 à 2,9 jours pour un BP mesurant entre 10 et 20 mm.

Concernant le modèle développé à partir de races de tout format (Beccaglia et al., 2008a), les différences de prédiction avec les modèles pour format moyen sont importantes, allant jusqu'à 10,2 jours, à l'exception du modèle de Topie et al. (2015) avec lequel les différences sont inférieures à 2 jours. De la même façon pour le modèle développé à partir de femelles Maine Coon, les résultats fournis par ce modèle linéaire ne sont pas comparables à ceux des modèles pour format moyen, c'est-à-dire que les écarts de prédictions sont supérieurs à 2 jours, hormis celui de Blaise (2006), ni aux prédictions du modèle pour tous formats.

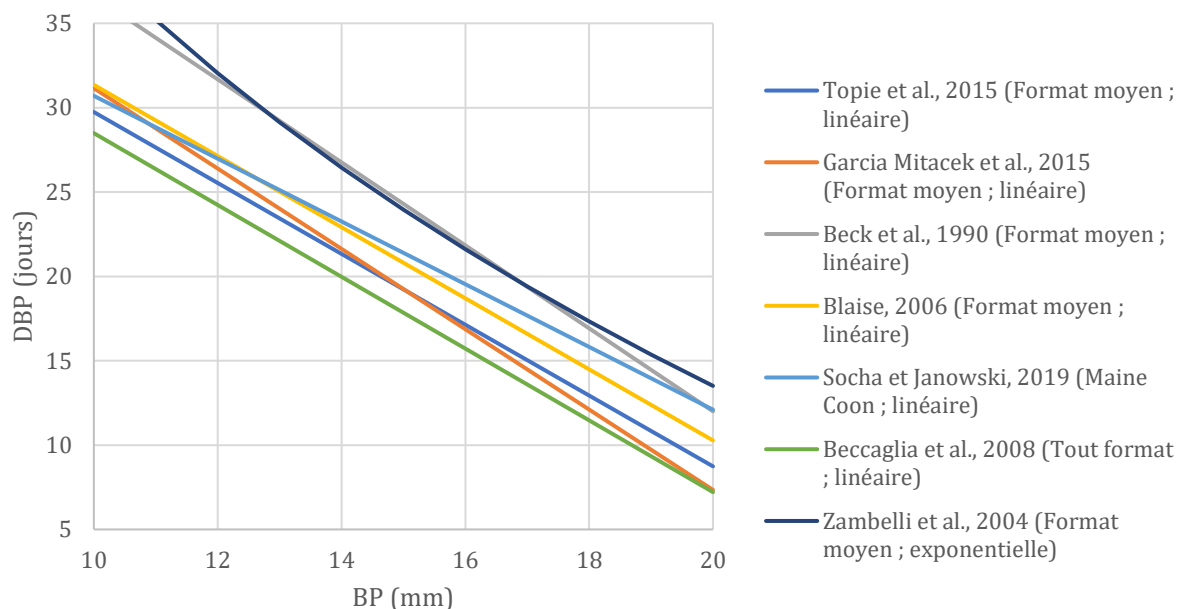


Figure 36 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction de la mesure du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des formules pour chattes de format moyen (Becke t al., 1990 ; Zambelli et al., 2004 ; Blaise, 2006 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015), tout format (Beccaglia et al., 2008) et Maine Coon (Socha et Janowski, 2019)

*Le BP est utilisable en deuxième moitié de gestation, soit entre 5 et 35 DBP environ*

Tableau 19 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours restants avant la mise-bas prédit par les formules établies chez la chatte

Les différences sont exprimées en jours.

Les valeurs ont été calculées pour un BP mesurant entre 10 et 20 mm.

			Beccaglia et al., 2008	Topie et al., 2015	Garcia Mitacek et al., 2015	Blaise, 2006	Zambelli et al., 2004	Beck et al., 1990	Socha et Janowski, 2019
Beccaglia et al., 2008	Tout format	Linéaire		1,3 - 1,5	0,1 - 2,7	2,9 - 3,1	6,1 - 10,2	4,8 - 8,1	2,2 - 4,9
Topie et al., 2015	Format moyen	Linéaire	1,3 - 1,5		0 - 1,4	1,5 - 1,6	4,7 - 8,9	3,3 - 6,9	1,0 - 3,4
Garcia Mitacek et al., 2015	Format moyen	Linéaire	0,1 - 2,7	0 - 1,4		0,2 - 2,9	4,7 - 7,5	4,7 - 5,4	0,5 - 4,8
Blaise, 2006	Format moyen	Linéaire	2,9 - 3,1	1,5 - 1,6	0,2 - 2,9		3,1 - 7,3	1,7 - 5,2	0,6 - 1,8
Zambelli et al., 2004	Format moyen	Exponentielle	6,1 - 10,2	4,7 - 8,9	4,7 - 7,5	3,1 - 7,3		0,4 - 2,1	1,4 - 8,0
Beck et al., 1990	Format Moyen	Linéaire	4,8 - 8,1	3,3 - 6,9	4,7 - 5,4	1,7 - 5,2	0,4 - 2,1		0,1 - 5,9
Socha et Janowski, 2019	Maine Coon	Linéaire	2,2 - 4,9	1,0 - 3,4	0,5 - 4,8	0,6 - 1,8	1,4 - 8,0	0,1 - 5,9	

Les précisions de prédiction de 3 de ces équations ont été évaluées : 75% et 87,5% de mises-bas à respectivement plus ou moins un et deux jours de la date prédite pour la formule de Beck et al. (1990), 64,3% et 85,7% pour la formule de Beccaglia et al. (2008) et 49,1% et 74,7% pour la formule de Garcia Mitacek et al. (2015). Toutefois, ces précisions de prédiction ont été obtenues à partir des mêmes mesures qui ont servi à développer les équations, ce qui introduit un biais. L'efficacité de prédiction des autres modèles n'a pas été rapportée par les auteurs. Grâce aux mesures brutes du BP prises au cours de 8 gestations chez 5 chattes de format moyen fournies par Beck et al. (1990), et des dates de mise-bas réelles de ces femelles, nous avons toutefois pu évaluer et comparer l'efficacité de chaque équation sur un même groupe de femelles (tableau 20). Ainsi, le modèle pour Maine Coon (Socha et Janowski, 2019) (75% à plus ou moins deux jours de la date prédite) et le modèle exponentiel pour format moyen (Zambelli et al., 2004) (75%) sont les plus précis, après l'équation de Beck et al. (1990) (87,5%), sur ce groupe de femelles. Leur efficacité de prédiction est similaire, malgré des différences de prédiction pouvant aller jusqu'à 8 jours. Les autres études n'ayant pas fourni leurs mesures, nous n'avons pas pu vérifier cela sur d'autres groupes de chattes.

Tableau 20 : Précisions de prédiction des formules basées sur le BP chez la chatte, à plus ou moins un et deux jours autour de la date prédite, à partir des mesures et nombre de jours restants réellement avant la mise-bas chez 5 chattes de format moyen (Beck et al., 1990)

Pour obtenir ces valeurs, le nombre de jours restants avant la mise-bas (DBP) a été calculé pour chaque équation en appliquant les mesures du BP (Beck et al., 1990). Les résultats ont ensuite été comparés au DBP réel. Les précisions à plus ou moins un et deux jours correspondent aux pourcentages de mises-bas qui ont eu lieu à moins de 2 et 3 jours de la date prédite.

	Beccaglia et al., 2008 <i>Tout format</i>	Topie et al., 2015 <i>Format moyen</i>	Garcia Mitacek et al., 2015 <i>Format moyen</i>	Blaise, 2006 <i>Format moyen</i>	Zambelli et al., 2004 <i>Format moyen</i>	Beck et al., 1990 <i>Format moyen</i>	Socha et Janowski, 2019 <i>Maine Coon</i>
Précision à $\pm 1$ jour	12,5%	0,0%	0,0%	12,5%	50,0%	75,0%	50,0%
Précision à $\pm 2$ jours	12,5%	25,0%	0,0%	50,0%	75,0%	87,5%	75,0%

Ainsi, en l'absence d'autre équation que celle de Socha et Janowski (2019) testée sur des chattes de race Maine Coon, nous avons choisi d'inclure uniquement cette formule pour cette race. Dans le cas de femelles de format moyen, nous tiendrons compte des deux formules les plus précises pour ce format (Beck et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004) pour en calculer un résultat moyen. Pour les chattes de grand format, autre que Maine Coon, nous calculerons un résultat moyen de ces trois équations.

Pour finir, les modèles linéaires utilisant le BD n'ont été établis qu'avec des femelles de format moyen (Beck et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004 ; Blaise, 2006 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015). Trois des équations fournissent des résultats relativement proches (Beck et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015), avec des variations de prédiction allant de 0,1 à 3,5 jours pour un BD mesurant entre 10 et 25 mm (figure 37). Les résultats obtenus avec la formule exponentielle de Zambelli et al. (2004) sont également relativement proches de ces trois dernières, hormis pour des BD de petites tailles (10 mm), pour lesquelles les différences de prédiction peuvent aller jusqu'à 8,7 jours. La formule de Blaise (2006) fournit les résultats les plus éloignés des autres modèles sur toute la période de mesure.

L'équation de Garcia Mitacek et al. (2015) a été développée avec le plus grand nombre de femelles, soit 16 chattes contre 5 ou 6 pour les autres formules, et devrait donc être la plus fiable. Cependant, la précision de prédiction pour cette formule (40% et 51,5% à plus ou moins un et deux jours de la date prédite) serait inférieure à celle de Topie et al. (2015) (45% et 77% à plus ou moins un et deux jours) et Beck et al. (1990) (33,3% et 100% à plus ou moins un et deux jours), bien qu'elles aient été calculées sur de petits effectifs et avec les mêmes mesures qui ont servi à établir les équations (6 et 3 femelles). A partir des mesures brutes du BD fournies par Beck et al. (1990) chez 3 chattes de format moyen et le DBP réel de chaque femelle, nous avons pu calculer et comparer les précisions de prédiction des formules sur un même groupe de femelles (tableau 21). Les équations de

Topie et al. (2015), Garcia Mitacek et al. (2015), Beck et al. (1990) et Zambelli et al. (2004) apparaissent les plus précises sur ce groupe de femelles, bien que l'effectif soit très faible.

Ainsi nous avons décidé de ne pas inclure le modèle de Blaise (2006) et de calculer un résultat moyen à partir des quatre autres. Dans le cas des races de grand format, nous utiliserons également le résultat moyen de ces quatre modèles, par manque de formule adaptée à ce format ou à ces races.

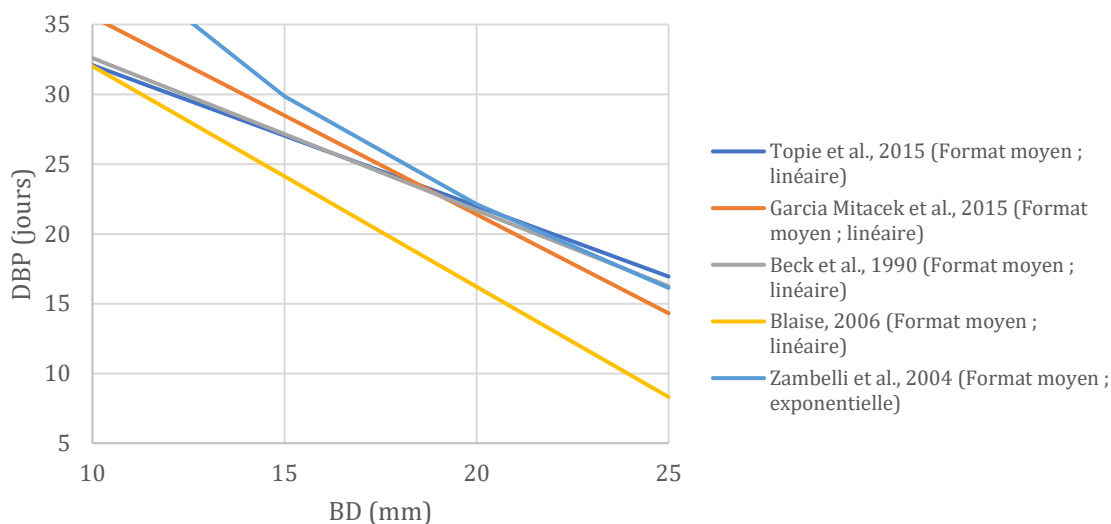


Figure 37 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre abdominal (BD) ; Comparaison des formules pour chattes de format moyen (Beck et al., 1990 ; Zambelli et al., 2004 ; Blaise, 2006 ; Topie et al., 2015 ; Garcia Mitacek et al., 2015)

*Le BD est utilisable en deuxième moitié de gestation, soit entre 5 et 35 DBP environ*

Tableau 21 : Précisions de prédiction des formules basées sur le BD chez la chatte, à plus ou moins un et deux jours autour de la date prédite, à partir des mesures et nombre de jours restants réellement avant la mise-bas chez 3 chattes de format moyen (Beck et al., 1990)

*Pour obtenir ces valeurs, le nombre de jours restants avant la mise-bas (DBP) a été calculé pour chaque équation en appliquant les mesures du BD (Beck et al., 1990). Les résultats ont ensuite été comparés au DBP réel. Les précisions à plus ou moins un et deux jours correspondent aux pourcentages de mises-bas qui ont eu lieu à moins de 2 et 3 jours de la date prédite.*

	Topie et al., 2015 Format moyen	Garcia Mitacek et al., 2015 Format moyen	Blaise, 2006 Format moyen	Zambelli et al., 2004 Format moyen	Beck et al., 1990 Format moyen
Précision à ± 1 jour	67,0%	100,0%	0,0%	67,0%	100,0%
Précision à ± 2 jours	100,0%	100,0%	33,0%	67,0%	100,0%

### 3.3. Morphologie crânienne

Nous nous sommes ensuite intéressés aux formules au sein de chaque format. Selon les paramètres biométriques, nous disposons de modèles développés à partir de chiennes de races brachycéphales, de races non brachycéphales ou incluant les deux types. Nous les nommerons par la suite simplement modèles « brachycéphale », « non brachycéphale » et « mixte » pour faciliter la compréhension. Nous avons donc cherché à déterminer dans cette partie si la forme du crâne influence les modèles de détermination de la mise-bas et leur efficacité de prédiction, et s'il faut la prendre en compte dans notre outil.

Dans le cas des chattes, aucune étude n'a travaillé spécifiquement sur des races brachycéphales à notre connaissance, comme le Persan, le British Shorthair, l'Exotic Shorthair, ou l'Himalayen par exemple. Cette partie ne sera donc pas abordée.

#### 3.3.1. Influence du caractère « brachycéphale » sur les modèles d'ICC

Pour ce paramètre, aucune formule spécifique aux races brachycéphales n'a été développée. Toutefois, des modèles mixtes, incluant des races brachycéphales et non brachycéphales, sont disponibles pour des chiennes de formats miniature (Socha et Janowski, 2018) et grand (Alonge et al., 2016b). Les différences de prédiction des équations au sein de ces formats sont de l'ordre de 0,1 à 2,2 jours pour le premier et de 0,7 à 2,8 jours pour le second, pour un ICC mesurant entre 5 et 30 mm.

Dans le cas du format miniature, la formule mixte (Socha et Janowski, 2018) fournit des résultats intermédiaires aux formules non brachycéphales (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011). La différence de prédiction minimum est de 0-0.2 jour, ce qui signifie que les prédictions obtenues avec cette formule sont quasiment identiques à celles d'au moins une des formules « non brachycéphales », et la différence maximum est 1.9 jours, ce que nous avons considéré négligeable (figure 38).

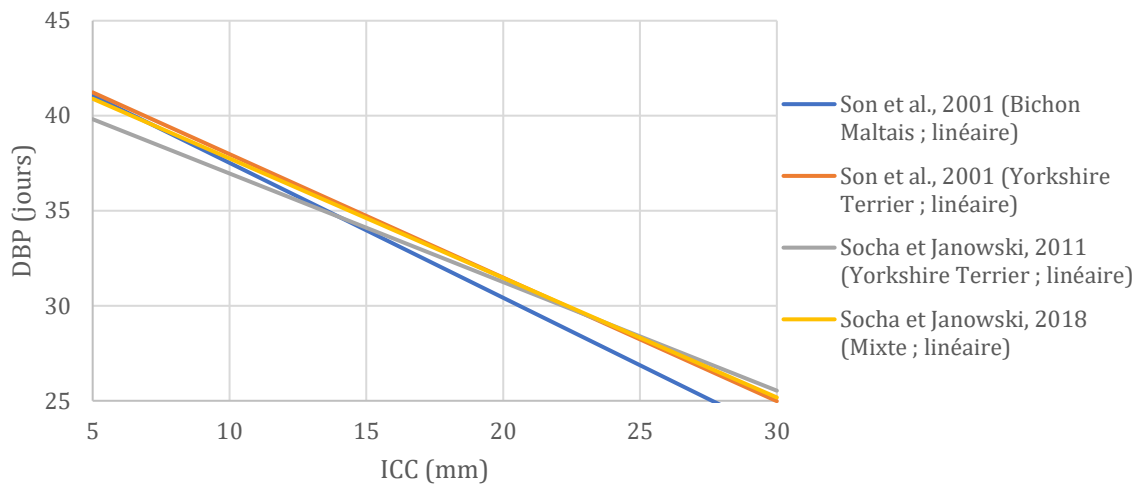


Figure 38 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des formules pour chiennes de format miniature de races non brachycéphales (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011) et mixtes (Socha et Janowski, 2018)

*Mixte : formule établie à partir de chiennes brachycéphales et non brachycéphales  
L'ICC se mesure en première moitié de gestation, soit entre 25 et 45 DBP environ*

Concernant les chiennes de grand format, les écarts de prédiction sont plus importants entre les modèles « non brachycéphales » et le modèle mixte (Alonge et al., 2016b), allant de 0.2 à 2.4 jours. Cependant, des écarts similaires sont présents entre les deux régressions « non brachycéphales » (figure 39) et ne peuvent donc pas être justifiés par la présence de chiennes de races brachycéphales dans le groupe d'étude. Ces différences de prédiction sont donc plus probablement liées aux races très différentes échographiées dans ces études.

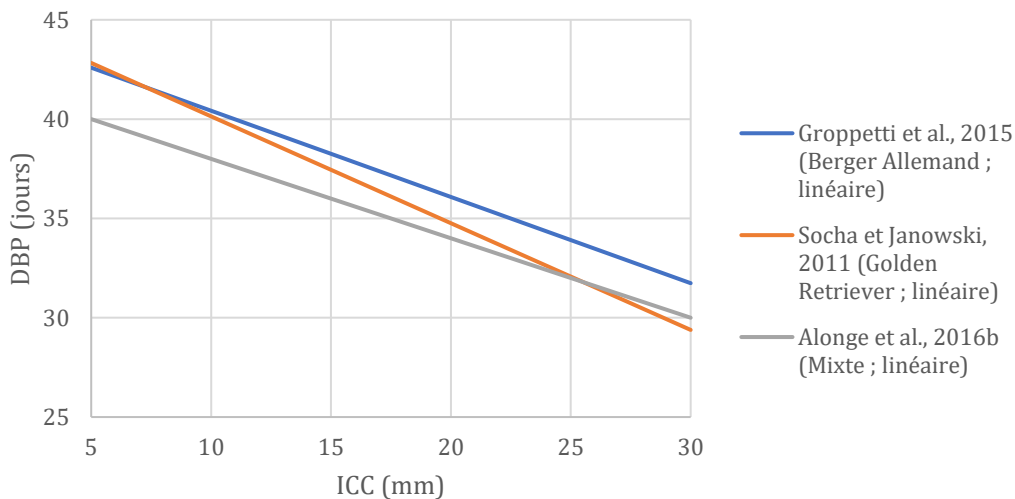


Figure 39 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des formules pour chiennes de grand format de races non brachycéphales (Socha et Janowski, 2011 ; Groppetti et al., 2015) et mixtes (Alonge et al., 2016b)

*Mixte : formule établie à partir de chiennes brachycéphales et non brachycéphales  
L'ICC se mesure en première moitié de gestation, soit entre 25 et 45 DBP environ*

En l'absence de formules basées sur l'ICC spécifiquement établies pour des chiennes de races brachycéphales, nous n'avons pas pu conclure sur l'influence de ce caractère. De plus, l'inclusion de chiennes brachycéphales parmi les femelles échographiées, dans le cas des formats miniature (Socha et Janowski, 2018) et grand (Alonge et al., 2016b), n'a pas montré d'influence sur les prédictions des modèles. La cavité chorionique étant une structure extra-embryonnaire mesurée tôt dans la gestation, nous pourrions imaginer que la forme de la boîte crânienne n'influence pas son diamètre.

### 3.3.2. Influence du caractère « brachycéphale » sur les modèles du BP

Deux études (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) ont travaillé spécifiquement sur le diamètre bipariétal chez des races brachycéphales. Cependant, aucun des modèles non brachycéphales n'a été appliqué à des femelles brachycéphales pour évaluer leur précision de prédiction, et inversement.

Les formats petit et moyen sont les seuls pour lesquels des formules spécifiques aux chiennes brachycéphales ont été développées, raciales ou multi-raciales. En effet, Feliciano et al. (2015) ont développé des formules pour des chiennes de race Carlin, Shih Tzu et Bouledogue Anglais, qui appartiennent à ces deux formats. Cuevas (2019) a mis en évidence une différence significative entre les régressions linéaires issues de chiennes brachycéphales et non brachycéphales uniquement pour les chiennes de 6-10 kg et 11-25 kg. Pour les formats miniature, grand et géant, les différences en fonction de la forme du crâne dans cette étude n'étaient pas suffisamment importantes et ce sont donc des formules mixtes qui ont été établies.

Si l'on s'intéresse aux modèles pour les chiennes de petit format, on note des variations importantes de prédiction entre les trois formules spécifiques aux brachycéphales. Les résultats obtenus avec les équations de Feliciano et al. (2015) étant exprimés sous la forme du nombre de jours de gestation, nous avons calculé le nombre de jour pré-partum grâce à la durée de gestation moyenne, estimée à 58 jours après ovulation dans cette étude, afin de pouvoir comparer les prédictions de toutes les formules. Ainsi, le nombre de jours pré-partum prédit varie de 0,1 à 3,1 jours entre les modèles brachycéphales. Ces différences pourraient s'expliquer par les faibles effectifs de femelles échographiées pour deux d'entre elles (4 (Cuevas, 2019) et 5 chiennes (Feliciano et al., 2015)) ou bien par des courbes de croissance du BP différentes entre les races étudiées. Cependant, la différence est encore plus importante avec les modèles non brachycéphales, allant jusqu'à 5,6 jours (figure 40).

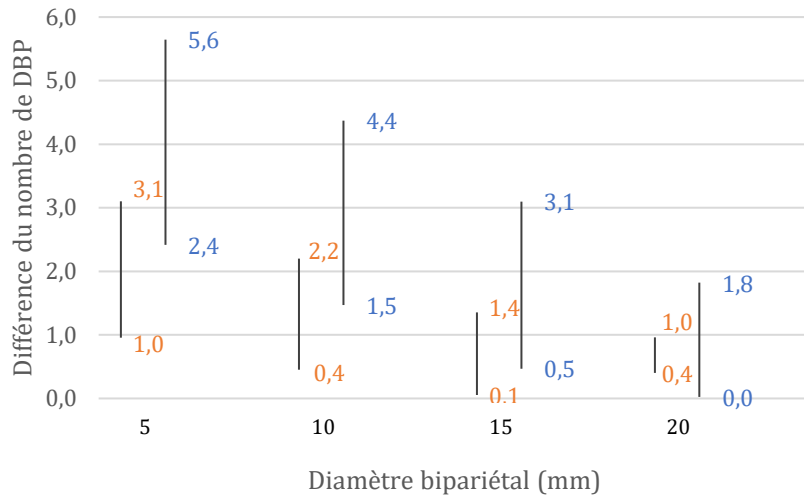


Figure 40 : Différences maximales et minimales du nombre de jours pré-partum (DBP) entre les modèles brachycéphales (Feliciano et al., 2015; Cuevas, 2019) (intervalles de gauches pour chaque mesure) et entre les modèles brachycéphales et non brachycéphales (Luvoni et Gioni, 2000 ; Cuevas, 2019) (intervalles de droite) pour le petit format

De la même façon pour le format moyen, une variation importante entre les deux formules brachycéphales a été calculée, allant de 0,7 jour à 3,4 jours selon la valeur du BP. Cet écart pourrait s'expliquer par plusieurs choses. Tout d'abord, l'une des formules a été établie à partir de plusieurs races brachycéphales (Cuevas, 2019) et l'autre à partir de chiennes Bouledogue anglais uniquement (Feliciano et al., 2015). Deuxièmement ces variations pourraient s'expliquer par le mode de calcul employé. En effet, la formule pour les Bouledogues Anglais fournit un nombre de jours de gestation (DG), à partir duquel nous avons calculé le nombre de jours pré-partum ( $DBP = \text{durée de gestation} - DG$ ). Toutefois, la durée de gestation moyenne pour cette race n'étant pas précisée dans l'étude, nous nous sommes basés sur la durée de gestation moyenne du format (Mir et al., 2011) correspondant, de l'ordre de 63 jours après ovulation. Ce mode de calcul pourrait avoir introduit une variabilité. En comparant ensuite les modèles brachycéphales aux non brachycéphales, la différence maximale de prédiction augmente également chez ce format, jusqu'à 4.8 jours (figure 41).



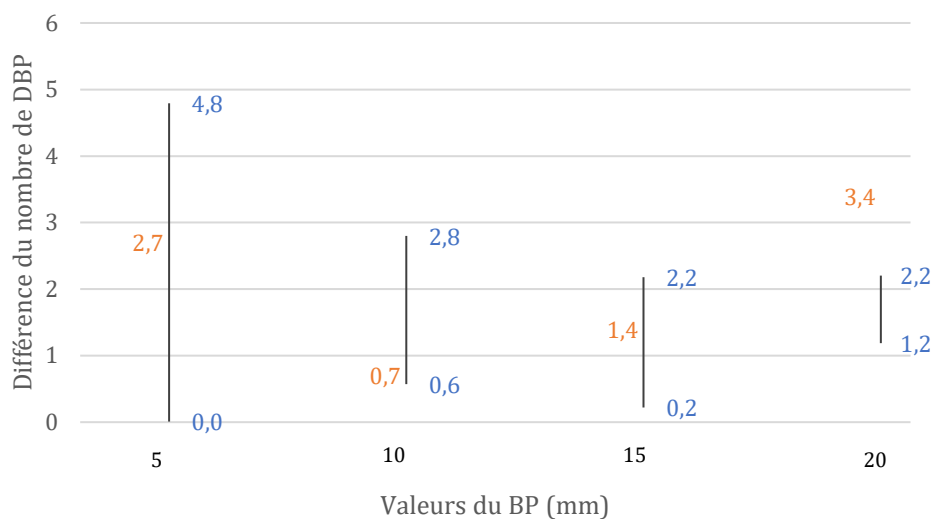


Figure 41 : Différences maximales et minimales du nombre de jours pré-partum (DBP) prédit entre les modèles brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) (intervalles de gauche pour chaque mesure) et entre les modèles brachycéphales et non brachycéphales (Luvoni et Grioni, 2000 ; Cuevas, 2019) (intervalles de droite) pour le format moyen

Concernant les formats pour lesquels seuls des modèles mixtes ont été développés (miniature, grand et géant), les différences de prédiction par rapport aux formules non brachycéphales des formats correspondants sont relativement faibles. Celles-ci sont quasiment nulles dans le cas du format miniature, avec une différence maximale de 0,8 jour pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm. Pour les chiennes de plus de 26 kg, ces variations sont plus importantes, allant de 0,4 jour au minimum à 2,4 jours au maximum pour les grands formats et de 0 à 2,2 jours pour les formats géants. Ces variations entre les modèles mixtes et non brachycéphales étant supérieures à 2 jours, nous avons décidé d'utiliser les modèles mixtes pour des chiennes brachycéphales de ces deux formats.

Les variations mises en évidence entre les modèles brachycéphales et non brachycéphales du diamètre bipariétal pourraient s'expliquer par des courbes de croissance différentes pour cette structure entre ces types de chiens. D'après nos résultats, pour une valeur du BP donnée, le nombre de jours pré-partum prédit par les modèles brachycéphales et mixtes apparaît toujours légèrement inférieur aux prédictions des modèles non brachycéphales, sauf en fin de gestation où les régressions semblent converger. Ceci serait donc en faveur d'une croissance plus rapide du diamètre bipariétal chez les fœtus de races non brachycéphales et d'une convergence vers des valeurs du BP proches à la naissance.

### Conclusion pour le caractère brachycéphale

Ainsi, il semblerait que les courbes de croissance du diamètre bipariétal dépendent de la forme du crâne et que des modèles spécifiques soient plus adaptés. Ceci n'a pas pu être mis en évidence pour tous les formats, en l'absence de formules disponibles à ce jour. Nous avons donc choisi d'inclure cette caractéristique au logiciel. Ainsi, si des formules brachycéphales ou mixtes existent pour le format de la chienne à échographier et pour la structure mesurée, celles-ci seront utilisées en priorité. S'il n'en existe pas, nous appliquerons des modèles non brachycéphales. Aucune conclusion n'a pu être apportée dans le cas des modèles utilisant le diamètre interne de la cavité chorionique et le diamètre abdominal, en l'absence de formules spécifiques à ces morphologies.

### **3.4. Races**

Compte tenu des différences de morphologie au sein des formats chez la chienne, plusieurs auteurs ont développé des modèles spécifiques à certaines races. Nous avons donc voulu déterminer si ces modèles raciaux fournissent des résultats réellement différents et une meilleure précision que des modèles multi-raciaux du même format.

En l'absence de formules pour différentes races chez les chattes, nous n'avons pas pu étudier cette caractéristique. Nous avons donc seulement inclus la race Maine Coon à l'arbre de décision au vu des variations de prédiction entre le modèle spécifique à cette race et les autres.

#### 3.4.1. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de format miniature

Deux races de chiennes de format miniature ont été étudiées : le Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011) et le Bichon Maltais (Son et al., 2001). Les durées de gestation moyenne rapportées chez ces races sont de 63,4 jours à partir du jour estimé de l'ovulation pour la première (Son et al., 2001) et de 63,2 jours pour la seconde (Son et al., 2001).

#### *Diamètre interne de la cavité chorionique (ICC)*

Concernant les modèles basés sur l'ICC, deux formules spécifiques ont été développées pour les chiennes Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011). La différence de prédiction entre ces deux formules est strictement inférieure à 2 jours, allant de 0.2 jour à un maximum de 1.4 jours. A l'aide des données fournies dans l'étude de Son et al. (2001) sur leurs mesures d'ICC et les DBP réels associés chez 6

chiennes de cette race, nous avons pu évaluer leur efficacité de prédiction à 100% de mise-bas à plus ou moins un jour de la date prédite sur le même groupe de femelles. Dans le cas des chiennes Bichon Maltais, un seul modèle spécifique utilisant l'ICC existe (Son et al., 2001). Sa précision a été évaluée à 100% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour autour de la date prédite chez 15 chiennes de cette race (Son et al., 2001).

Afin de comparer les résultats des équations établies chez le Yorkshire Terrier et le Bichon Maltais au modèle multi-racial établie dans ce format (miniature) (Socha et Janowski, 2018), nous avons tracé les différentes régressions linéaires et calculé les différences de prédiction entre ces formules (figure 42 et tableau 22). Nous avons obtenu un écart maximal de 2,2 jours entre l'une des formules établies pour Yorkshire Terrier et le modèle pour Bichon Maltais. En revanche, la différence de prédiction des modèles raciaux avec le modèle multi-racial est de moins de 2 jours et donc négligeable. De plus, en appliquant les mesures d'ICC fournies chez 8 chiennes Bichon Maltais et 6 chiennes Yorkshire Terrier au modèle multi-racial pour chiennes miniatures, et en comparant les DBP prédits et DBP réels, nous avons obtenu une précision de 100% de mise-bas à plus ou moins un jour de la date prédite de cette équation pour les deux races. Ainsi, les résultats d'une équation basée sur l'ICC adaptée au format miniature sont comparables à ceux des formules spécifiques aux races Yorkshire Terrier et Bichon Maltais.

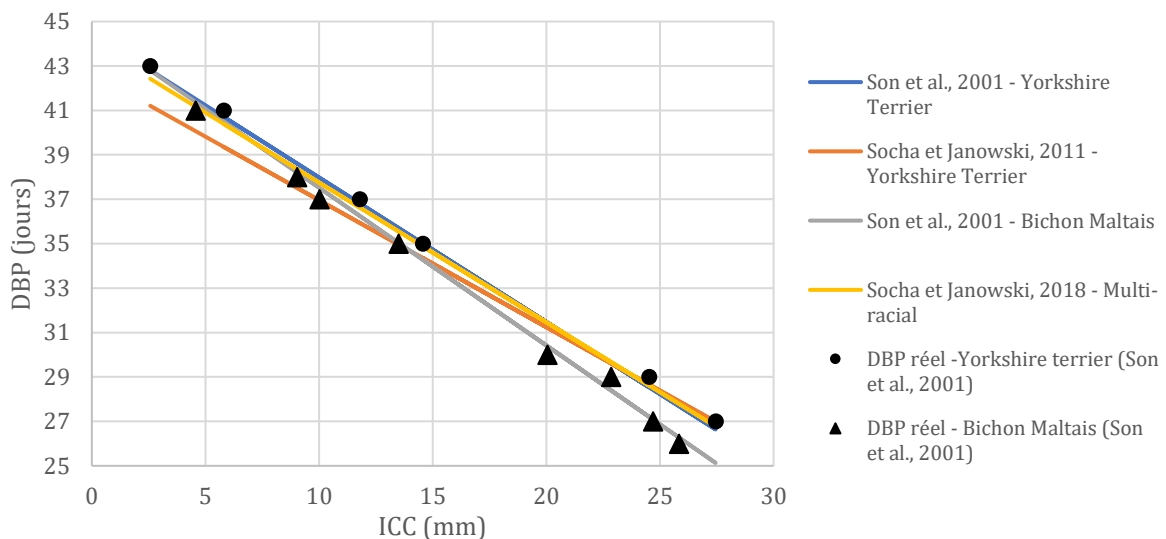


Figure 42 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison des modèles spécifiques aux Yorkshire Terrier et aux Bichon Maltais et du modèle établi pour d'autres races de format miniature

Tableau 22 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) pour format miniature

Valeurs calculées pour un ICC mesurant entre 5 et 30 mm

	Son et al., 2001 - Yorkshire Terrier	Socha et Janowski, 2011 - Yorkshire Terrier	Son et al., 2001 - Bichon Maltais	Socha et Janowski, 2018 - Multi-racial	Luvoni et Grioni, 2000 - Format racial petit
Son et al., 2001 - Yorkshire Terrier		0,2 - 1,4	0,2 - 1,7	0,0 - 0,3	0,3 -0,4
Socha et Janowski, 2011 - Yorkshire Terrier	0,2 - 1,4		0,1 - 2,2	0,2 - 1,1	0,3 - 1,8
Son et al., 2001 - Bichon Maltais	0,2 - 1,7	0,1 - 2,2		0,2 - 1,9	0,6 - 2,0
Socha et Janowski, 2018 - Format racial miniature - Multi-racial	0,0 - 0,3	0,2 - 1,1	0,2 - 1,9		0,1 -0,7
Luvoni et Grioni, 2000 - Format racial petit	0,3 -0,4	0,3 - 1,8	0,6 - 2,0	0,1 -0,7	

La formule de Luvoni et Grioni (2000) établie à partir de chiennes de petit format a également été testée sur 10 chiennes de race Yorkshire Terrier, compte-tenu du fait que cette race peut appartenir à la fois au format miniature (<6 kg) et petit (6-10 kg). Sa précision s'est révélée élevée pour cette race, avec 66.7% et 83.3% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un et deux jours autour de la date prédite respectivement (Socha et Janowski, 2011) et 100% à plus ou moins un jour sur le groupe de femelles étudiées par Son et al. (2001). En revanche, sa précision sur le groupe de femelles Bichon maltais (Son et al., 2001) s'est révélée légèrement inférieure à celle des autres équations à plus ou moins un jour de la date prédite, avec 87.5% des mise-bas dans cet intervalle. Ceci pourrait s'expliquer par des différences de prédiction allant jusqu'à 2 jours entre cette équation et celle pour Bichon Maltais, contrairement aux écarts avec les autres formules miniatures, strictement inférieurs à 2 jours (tableau 22).

Ainsi, nous n'avons pas mis en évidence de différence majeure entre les formules basées sur l'ICC adaptées aux chiennes Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011) et la formule multi- raciale établie pour des chiennes de format miniature (Socha et Janowski, 2018). Ces formules, ainsi que celle de Luvoni et Grioni (2000) pour petit format, semblent donc utilisables pour déterminer la mise-bas chez cette race avec une précision élevée. De la même façon, le modèle multi-racial pour les chiennes de format miniature et le modèle spécifique aux chiennes Bichon Maltais (Son et al., 2001) sont comparables et peuvent être tous les deux utilisés chez cette race. En revanche, l'équation pour petit format (Luvoni et Grioni, 2000) ne permet pas de prédire la date de mise-bas avec la même précision que les autres chez cette race, et l'une des équations pour chiennes

Yorkshire Terrier (Socha et Janowski, 2011) fournit des résultats trop différents (>2 jours) de ceux du modèle Bichon Maltais.

### Diamètre bipariétal (BP)

Tous les modèles utilisant le BP pour des chiennes de format miniature donnent des résultats quasiment identiques (tableau 23), que ce soit les modèles spécifiques aux Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011), les modèles multi-raciaux (Socha et Janowski, 2018 ; Cuevas, 2019) ou le modèle pour des chiennes Bichon Maltais (Son et al., 2001).

Pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm, les DBP prédits par les formules développées pour des chiennes Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011) et Bichon Maltais (Son et al., 2001) ne diffèrent que de 0,1 à 0,8 jours. En utilisant les données brutes fournies par Son et al. (2001) sur 8 chiennes Yorkshire Terrier et 7 chiennes Bichon Maltais, nous avons obtenus des efficacités de prédiction identiques entre ces équations raciales, de l'ordre de 100% de mises-bas à plus ou moins un jour de la date prédite chez ces deux groupes de femelles. Ainsi, il n'y a pas de réelle différence entre les modèles utilisant le BP chez ces deux races.

Les prédictions à partir des modèles multi-raciaux pour format miniature (Socha et Janowski, 2018 ; Cuevas, 2019) fournissent également des résultats très proches. Par rapport aux équations pour Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011), les prédictions diffèrent de 0,4 jour au maximum avec l'équation de Socha et Janowski (2018) et de 0,6 jour au maximum avec celle de Cuevas (2019). De la même façon, la première diffère de 0,8 jour au maximum par rapport au modèle racial pour Bichon Maltais et la deuxième de 0,3 jour au maximum. Les écarts de prédiction entre les modèles raciaux et les modèles multi-raciaux du format miniature sont donc très faibles. De plus, nous avons également obtenu des efficacités de prédiction de l'ordre de 100% de mises-bas à plus ou moins un jour de la date prédite avec ces équations, à partir des mesures sur les chiennes Yorkshire Terrier et Bichon Maltais (Son et al., 2001).

Tableau 23 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour format miniature

Les valeurs ont été calculées pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm

	Son et al., 2001 - Yorkshire Terrier	Socha et Janowski, 2011 - Yorkshire Terrier	Son et al., 2001 - Bichon Maltais	Socha et Janowski, 2018 - Multi-racial - Format racial miniature	Cuevas, 2019 - Multi-racial - Format racial miniature
Son et al., 2001 - Yorkshire Terrier		0,1 - 0,3	0,1 - 0,8	0,2 - 0,4	0,0 - 0,6
Socha et Janowski, 2011 - Yorkshire Terrier	0,1 - 0,3		0,1 - 0,7	0,1 - 0,2	0,0 - 0,4
Son et al., 2001 - Bichon Maltais	0,1 - 0,8	0,1 - 0,7		0,0 - 0,8	0,0 - 0,3
Socha et Janowski, 2018 - Multi-racial - Format racial miniature	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,0 - 0,8		0,1 - 0,5
Cuevas, 2019 - Multi-racial - Format racial miniature	0,0 - 0,4	0,3 - 1,8	0,0 - 0,3	0,1 - 0,5	

Socha et Janowski (2011) ont également obtenu de bonnes précisions de prédiction pour cette race en appliquant un modèle adapté aux petits formats (Luvoni et Grioni, 2000), en l'absence de formule spécifique pour le format miniature au moment de leur étude. Celle-ci a été évaluée à 57,1% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour de la date prédite et 92,9% à plus ou moins deux jours, en réalisant 14 mesures du BP sur 10 chiennes Yorkshire Terrier. Toutefois, nous avons obtenu une précision inférieure à celle des autres modèles pour chiennes miniatures (100%) en appliquant le modèle de Luvoni et Grioni (2000) aux données brutes des chiennes Yorkshire Terrier de Son et al., (2001), de 75.0% dans un intervalle de plus ou moins jour. De la même façon, nous avons obtenu une efficacité de prédiction de l'ordre de 85,7% à plus ou moins un jour de la date prédite en appliquant les données brutes des chiennes Bichon Maltais (Son et al., 2001) à cette équation, inférieure aux 100% des autres modèles. Ces différences d'efficacité pour déterminer la mise-bas dans cet intervalle est due à des écarts de prédiction plus importants entre cette équation et les formules raciales pour Yorkshire Terrier (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011) et Bichon Maltais, allant jusqu'à 2 jours (figure 43).

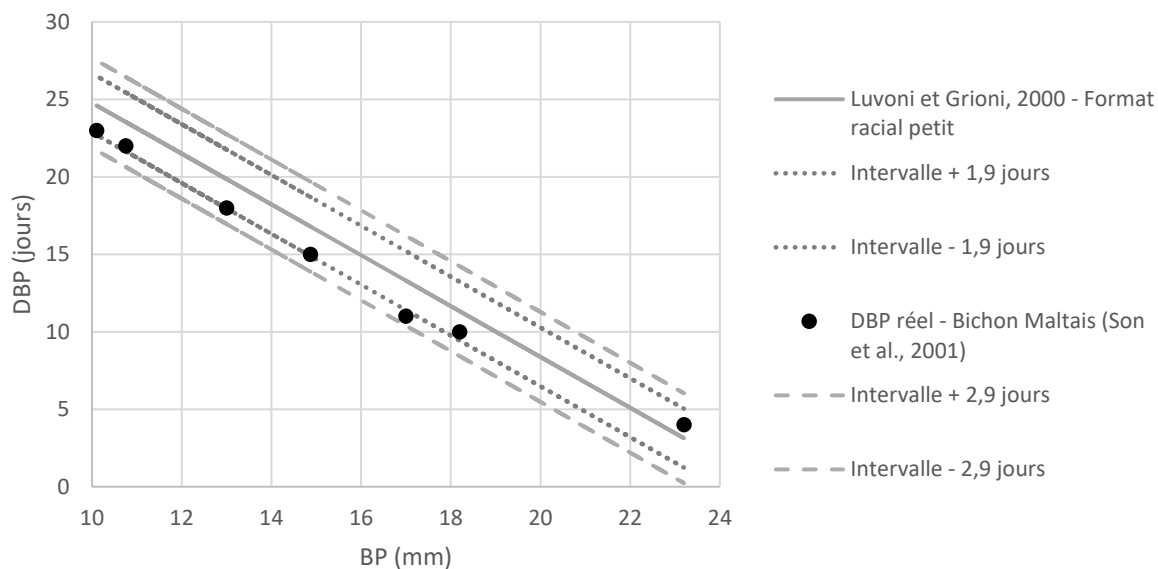


Figure 43 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Précision de prédiction du modèle pour petit format (Luvoni et Gironi, 2000) à plus ou moins un et deux jours chez des chiennes (n=7) Bichon Maltais (Son et al., 2001)

*Les précisions à plus ou moins un et deux jours correspondent aux DBP réels situés à respectivement 1,9 jours et 2,9 jours maximum de la droite*

Ainsi, tous les modèles utilisant le diamètre bipariétal pour format miniature, raciaux (Son et al., 2001 ; Socha et Janowski, 2011) et multi-raciaux (Socha et Janowski, 2018 ; Cuevas, 2019), fournissent des résultats similaires et sont donc applicables à des chiennes Yorkshire terrier et Bichon Maltais. En revanche, le modèle de Luvoni et Gironi (2000) pour petit format sur la base du BP n'apporte pas suffisamment de précision chez ces races.

### Diamètre abdominal (BD)

Dans le cas du diamètre abdominal, nous n'avons pas pu déterminer si des formules multi-raciales pour format miniature et raciales fourniraient des résultats similaires, car nous ne disposons que deux formules raciales pour ce format : pour des chiennes Yorkshire Terrier (Son et al., 2001) et Bichon Maltais (Son et al., 2001). Nous avons tout de même cherché à comparer ces modèles raciaux entre eux.

Leurs précisions de prédiction n'ont pas été évaluées à notre connaissance et nous ne disposons pas de données brutes pour les calculer. Cependant, les différences entre les nombres de jours pré-partum prédits par ces deux formules sont négligeables, avec 0.3 jour d'écart au maximum pour un diamètre abdominal mesurant entre 5 et 30 mm. Ainsi, les modèles utilisant le BD pour des chiennes Yorkshire Terrier et Bichon Maltais sont quasiment identiques et peuvent donc être utilisés chez les deux races avec la même efficacité. En l'absence de modèle multi-raciaux pour ce format, nous utiliserons également ces formules pour toute autre chienne de moins de 5 kg.

### 3.4.2. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de petit format

#### *Diamètre interne de la cavité chorionique (ICC)*

Concernant le diamètre interne de la cavité chorionique, une seule équation pour a été établie pour des chiennes de petit format (Luvoni et Grioni, 2000).

#### *Diamètre bipariétal (BP)*

Deux races de petit format ont été étudiées pour les modèles utilisant le BP : le Carlin (Feliciano et al., 2015) et le Shih Tzu (Feliciano et al., 2015). L'efficacité de prédiction de ces formules sur des chiennes de ces deux races n'a jamais été évaluée. Toutefois, nous avons obtenu des différences de prédiction importantes entre ces deux équations (de 0,4 à 3,1 jours), pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm (tableau 24). Ces variations pourraient s'expliquer par les tailles d'effectifs différentes pour établir ces équations (Carlin : n=5 ; Shih Tzu : n=15) ou bien par des courbes de croissance de BP différentes chez ces deux races. En l'absence de données sur leurs précisions de prédiction, nous n'avons pas pu déterminer si l'une des deux formules est efficace chez les deux races et il a donc été décidé que l'équation spécifique à la race correspondante serait utilisée dans notre outil pour des chiennes Carlin ou Shih Tzu.

Si l'on compare maintenant la formule multi-raciale pour chiennes brachycéphales de petit format (Cuevas, 2019) à ces modèles raciaux, on obtient des écarts de prédiction plus importants avec le modèle Carlin (Feliciano et al., 2015) (1,0 à 2,1 jours) qu'avec le modèle Shih Tzu (0,1 à 1,0 jour) (figure 44). Ainsi, en partant du principe que les modèles raciaux sont les mieux adaptés pour des chiennes de ces races, le modèle multi-ral de Cuevas (2019) pour des chiennes brachycéphales de 6 à 10 kg semble applicable à des chiennes Shih Tzu mais pas à des chiennes Carlin. Cependant, ceci pourrait s'expliquer par la présence de chiennes Shih Tzu dans le groupe d'étude qui a servi à établir la formule de Cuevas (2019). De plus, des variations ont pu être introduites par le fait que les modèles raciaux (Feliciano et al., 2015) ont été établis à partir du jour de gestation, tandis que le modèle multi-ral (Cuevas, 2019) a directement été développé à partir du nombre de jour restants avant la mise-bas.

Si l'on compare ensuite ces modèles brachycéphales, raciaux (Feliciano et al., 2015) et multi-raciaux (Cuevas, 2019), au modèle non brachycéphale pour petit format établi par Luvoni et Grioni (2000), les différences de prédiction marquées (allant jusqu'à 5,5 jours) (figure 24) confirment l'influence de la forme du crâne sur la courbe de croissance du BP. En l'absence de données sur l'efficacité de prédiction de ces modèles chez des chiennes brachycéphales ou non brachycéphales, nous n'avons pas pu



déterminer si l'un des modèles serait applicable aux deux catégories. Il a donc été décidé d'utiliser les formules brachycéphales pour ce type de chienne et la formule de Luvoni et Grioni (2000) uniquement sur des chiennes de petit format non brachycéphales.

Tableau 24 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédit entre les modèles brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) et non brachycéphale (Luvoni et Grioni, 2000) basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour petit format

Les valeurs ont été calculées pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm

	Feliciano et al. (2015) Carlin	Feliciano et al. (2015) Shih Tzu	Cuevas (2019) Brachycéphales – Multi- racial – Format racial Petit
Luvoni et Grioni (2000) Non brachycéphales – Jack Russel – Format racial petit	0,0 – 5,5	0,4 – 2,4	0,5 – 3,4

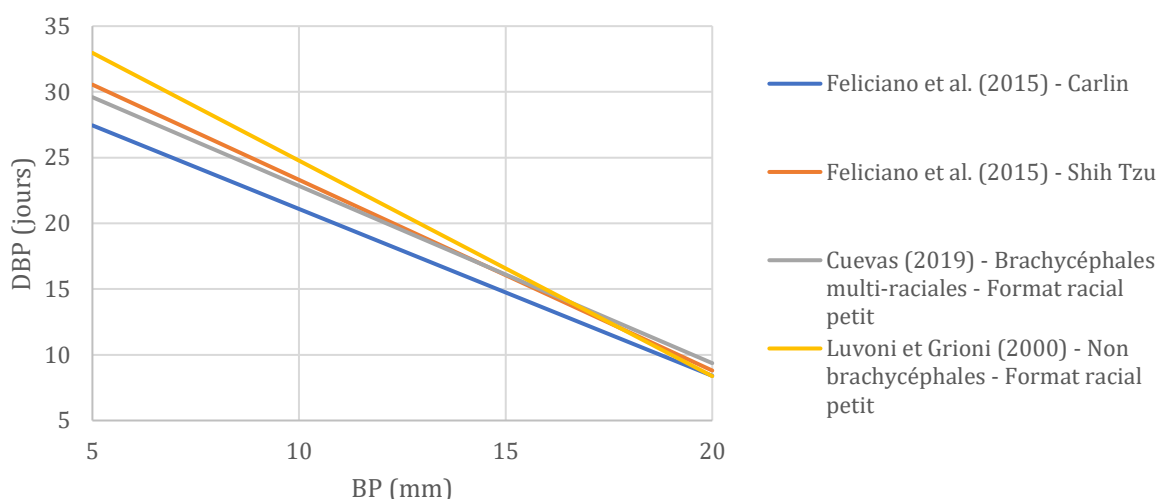


Figure 44 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des modèles pour Carlin et Shih Tzu (Feliciano et al., 2015), pour brachycéphales (Cuevas, 2019) et pour non brachycéphales (Luvoni et Grioni, 2000), pour petit format

Le BP est utilisable en deuxième moitié de gestation, soit entre 5 et 35 DBP environ

### Diamètre abdominal (BD)

Concernant les modèles utilisant le BD chez les chiennes de petit format, seuls deux modèles raciaux ont été établis. La précision de prédiction de ces modèles pour Carlin et Shih Tzu (Feliciano et al., 2015) n'a jamais été évaluée. Les différences de prédiction entre ces deux équations ne sont pas négligeables, allant de 1.6 à 2.1 jours. Sans donnée sur leur précision de prédiction, nous n'avons pas pu déterminer si l'une des formules pourrait être utilisée pour les deux races. Nous avons donc décidé d'utiliser la formule développée

pour la race correspondante lorsque cela est possible et de calculer un résultat moyen à partir de ces deux équations pour toute autre race.

### 3.4.3. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de format moyen

#### Diamètre interne de la cavité chorionique

En l'absence d'autres formules que celle de Luvoni et Grioni (2000) pour des chiennes de format moyen, nous n'avons pas pu étudier l'intérêt de modèles raciaux ou multi-raciaux pour l'ICC.

#### Diamètre bipariétal (BP)

Pour le format moyen, deux formules utilisant le BP ont été établies pour des chiennes brachycéphales, l'une pour des Bouledogue Anglais (Feliciano et al., 2015) et l'autre pour des chiennes de plusieurs races (Cuevas, 2019), et trois formules pour des chiennes non brachycéphales (Yeager et al., 1992 ; Luvoni et Grioni, 2000 ; Cuevas, 2019).

Nous avons tout d'abord comparé les formules établies pour les chiennes brachycéphales. La précision de ces deux modèles n'a jamais été évaluée à ce jour. Toutefois nous avons obtenu des variations de prédiction importantes entre eux, allant de 0.7 à 3.4 jours pour un BP de 5 à 20 mm. Ainsi, le modèle multi-racial (Cuevas, 2019), bien que développé à partir de chiennes brachycéphales de format moyen, ne fournit pas des résultats similaires au modèle Bouledogue Anglais (Feliciano et al., 2015). Nous n'avons en revanche pas pu déterminer lequel des deux est le plus efficace pour déterminer la date de mise-bas chez les chiennes de cette race, en l'absence de donnée sur leurs précisions de prédiction. Il a donc été décidé d'appliquer la formule pour les Bouledogue Anglais chez les chiennes de cette race, et la formule multi-raciale pour toute autre race brachycéphale du même format.

Nous avons ensuite comparé ces modèles établis pour des chiennes brachycéphales à ceux pour établis pour des chiennes non brachycéphales de format moyen. L'influence de la forme du crâne sur la courbe de croissance du BP a également été confirmée ici, puisque les différences maximales entre les modèles brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) et non brachycéphales (Yeager et al., 1992 ; Luvoni et Grioni, 2000 ; Cuevas, 2019) de ce format sont toujours supérieures à 2 jours et vont jusqu'à 6,8 jours pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm, à l'exception des deux formules de Cuevas (2019) (tableau 25). En l'absence de données sur la précision de prédiction de ces différentes équations appliquées à des chiennes brachycéphales, nous avons donc

considéré que les modèles établis pour des races brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) seraient les plus précis pour ces races.

Tableau 25 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour format moyen

Les valeurs ont été calculées pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm

	Feliciano et al. (2015) – Bouledogue Anglais	Cuevas (2019) – Brachycéphale multi-racial – Format racial moyen	Luvoni et Grioni (2000) – Non brachycéphale multi-racial – Format racial moyen	Cuevas (2019) – Non brachycéphale multi-racial – Format racial moyen	Yeager et al. (1992) – Beagle
Feliciano et al. (2015) – Bouledogue Anglais		0,1 - 0,3	0,1 - 0,8	0,2 - 0,4	0,0 - 0,6
Cuevas (2019) – Brachycéphale multi-racial – Format racial moyen	0,1 - 0,3		0,1 - 0,7	0,1 - 0,2	0,0 - 0,4
Luvoni et Grioni (2000) – Non brachycéphale multi-racial – Format racial moyen	0,1 - 0,8	0,1 - 0,7		0,0 - 0,8	0,0 - 0,3
Cuevas (2019) – Non brachycéphale multi-racial – Format racial moyen	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,0 - 0,8		0,1 - 0,5
Yeager et al. (1992) – Beagle	0,0 - 0,4	0,3 - 1,8	0,0 - 0,3	0,1 - 0,5	

Des différences importantes ont également été obtenues entre les trois modèles établis pour des chiennes non brachycéphales de ce format, allant jusqu'à 4,1 jours (figure 45). La précision de prédiction de la formule de Luvoni et Grioni (2000) a été évaluée plusieurs fois en appliquant cette équation à différents groupes de format moyen non brachycéphales, allant de 3 à 77 chiennes (Beccaglia et Luvoni, 2004, 2005, 2006 ; Socha et Janowski, 2014), de l'ordre de 56,52-67,3% de mises-bas à plus ou moins un jour de la date prédite et 78,8-87,0% à plus ou moins deux jours. Nous n'avons pas pu déterminer si les deux autres modèles apportent une meilleure précision pour des chiennes non brachycéphales de ce format, en l'absence de donnée sur leur efficacité. Il a donc été décidé d'appliquer seulement l'équation de Luvoni et Grioni (2000) pour des chiennes non brachycéphales de format moyen.

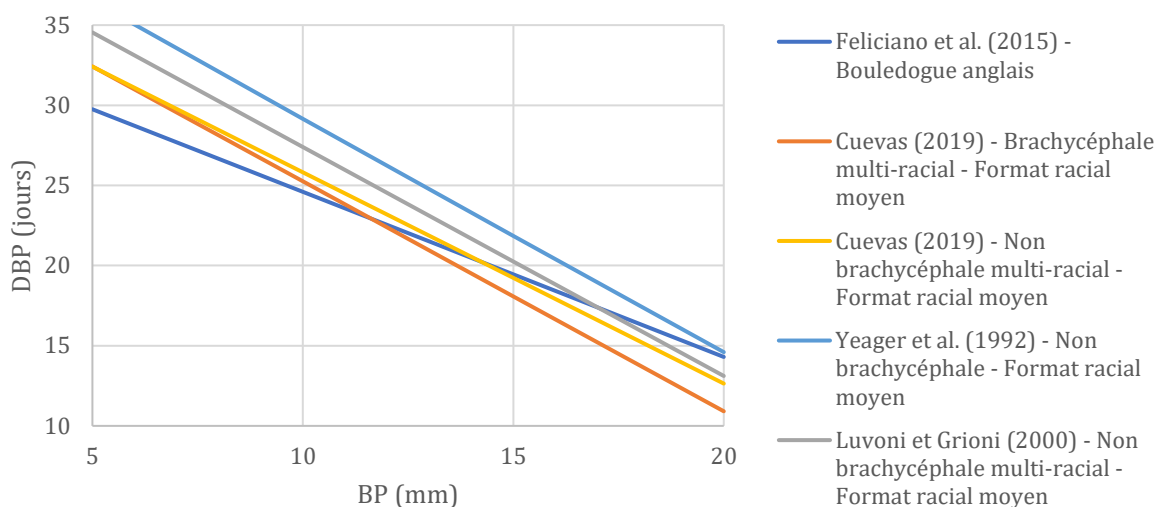


Figure 45 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des modèles pour chiennes brachycéphales (Feliciano et al., 2015 ; Cuevas, 2019) et non brachycéphales (Yeager et al., 1992 ; Luvoni et Gioni, 2000 ; Cuevas, 2019) pour format moyen

*Le BP est utilisable en deuxième moitié de gestation, soit entre 5 et 35 DBP environ*

### Diamètre abdominal (BD)

Les modèles raciaux du BD pour Bouledogue Anglais (Feliciano et al., 2015) et Beagle (Yeager et al., 1992) sont les seuls modèles pour des chiennes de format moyen. Les variations de prédiction entre ces deux formules vont jusqu'à 2.4 jours. Ces différences peuvent s'expliquer par le fait que l'une a été établie à partir de chiennes brachycéphales et l'autre non brachycéphales, et par le fait qu'il s'agit d'une régression linéaire d'une part et d'une régression de type polynôme de second degré d'autre part.

La précision de prédiction du modèle pour Beagle a été évaluée à 53,0% de mises-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour et 78,0% dans un intervalle de plus ou moins deux jours autour de la date prédite, ce qui est relativement élevé. Celle du modèle pour Bouledogue Anglais n'a jamais été estimée mais compte tenu des différences de prédiction, nous utiliserons l'équation spécifique à la race lorsque cela est possible. Dans le cas d'autres races brachycéphales, nous utiliserons la formule pour Bouledogue Anglais, et la formule pour Beagle dans le cas de chiennes non brachycéphales.

#### 3.4.4. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de grand format

Concernant les chiennes de grand format, deux races ont été étudiées spécifiquement, le Golden Retriever et le Berger Allemand, pour lesquelles des équations ont été établies. Nous avons cherché à déterminer si les équations utilisant les différents paramètres (ICC, BP et BD) sont applicables ou non aux Berger Allemand et inversement, puis si les équations multi-raciales de grand format leurs sont applicables.

##### *Diamètre interne de la cavité chorionique (ICC)*

Trois modèles utilisant l'ICC sont disponibles pour des chiennes de grand format, l'un pour des chiennes Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011), l'autre pour des chiennes Berger Allemand (Groppetti et al., 2015) et le dernier pour des chiennes d'autres races, brachycéphales ou non (Alonge et al., 2016b).

Concernant les chiennes Golden Retriever, la précision de prédiction du modèle ICC spécifique à cette race n'a jamais été évaluée et nous n'avons pas trouvé de données dans les différentes études pour la calculer nous-même. Par ailleurs, la formule de Luvoni et Grioni (2000) établie pour des chiennes de format moyen a montré une précision de 100% de mises-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour autour de la date prédite sur 9 chiennes de cette race, d'après Socha et Janowski (2011). La différence entre cette formule et le modèle spécifique aux Golden retriever serait non significative (Socha et Janowski, 2011), ce qui est confirmé par des variations de prédiction quasiment nulles entre ces deux équations, allant de 0 à 0,4 jour pour une cavité chorionique mesurant entre 5 et 20 mm de diamètre (figure 45). Ceci est lié au fait que Luvoni et Grioni (2000) ont échographié des chiennes croisées Golden Retriever et Setter Irlandais pour établir leur formule.

En revanche, les prédictions de ce modèle et de celui pour Berger Allemand (Groppetti et al., 2015) ne sont pas similaires, avec des différences allant de 0,2 à 2,4 jours pour un ICC mesurant entre 5 et 20 mm. De la même façon, le modèle multi-racial (Alonge et al., 2016b) donne des différences allant de 0,7 à 2,8 jours par rapport au modèle Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011). En l'absence de donnée sur l'efficacité de prédiction de ces trois équations chez des chiennes Golden Retriever, il a été considéré que la formule spécifique à la race serait probablement la plus précise.

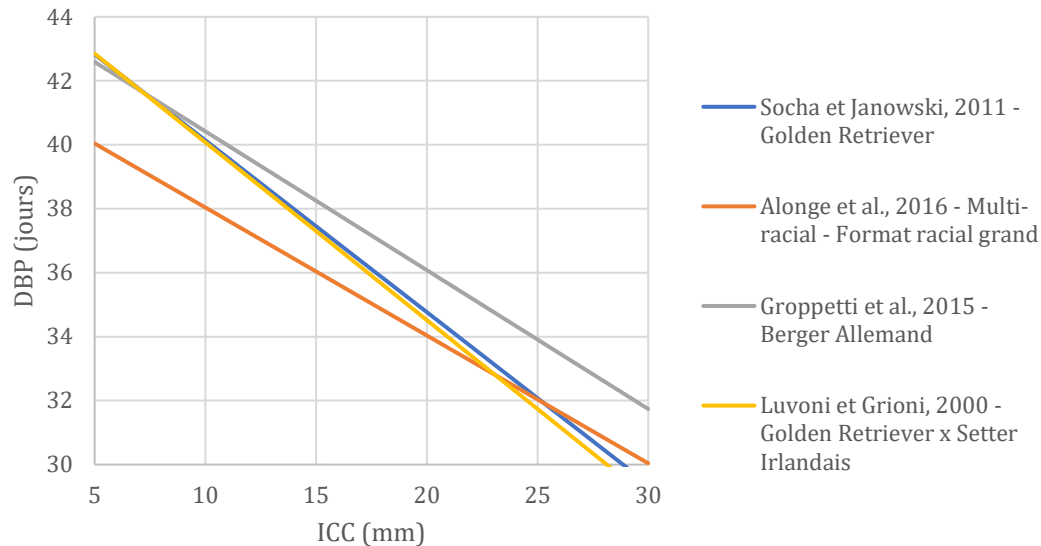


Figure 45 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) ; Comparaison entre les modèles pour chiennes Golden Retriever (Luvoni et Grioni, 2000 ; Socha et Janowski, 2011), Berger Allemand (Groppetti et al., 2015) et d'autres races (Alonge et al., 2016b) de grand format

*L'ICC se mesure en première moitié de gestation, soit entre 30 et 45 DBP environ*

Dans le cas de la race Berger Allemand, la précision du modèle spécifique à cette race (Groppetti et al., 2015) a été estimée dans deux études (Socha et Janowski, 2017 ; Cecchetto et al., 2017), avec 50.9-55.6% de mise-bas à plus ou moins un jour et 84.9-90% à plus ou moins deux jours autour de la date prédite, sur 34 et 20 chiennes. Dans leur étude, Socha et Janowski (2017) ont également appliqué le modèle de Luvoni et Grioni (2000) pour format moyen, établie avec des chiennes croisées Golden retriever et Setter Anglais, à 9 chiennes Berger Allemand et ont obtenu une précision légèrement supérieure de l'ordre de 77.4% et 92.5% sur les mêmes intervalles. Toutefois, ces pourcentages ont été obtenus à partir de groupes de chiennes différents et d'effectifs différents, ce qui peut être à l'origine de ces écarts.

En partant du principe que l'équation établie pour Berger Allemand (Groppetti et al., 2015) est la plus précise pour cette race, les deux autres modèles pour grand format ne sont donc pas applicables à cette race, car leurs résultats diffèrent de façon trop importante. En effet, la différence avec la formule pour Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011) est de l'ordre de 0,2 à 2,4 jours pour un ICC entre 5 et 20 mm, et de l'ordre de 1,7 à 2,6 jours avec la formule multi-raciale de ce format (Alonge et al., 2016b).

Ainsi, les modèles d'ICC spécifiques aux Golden Retriever (Luvoni et Grioni, 2000 ; Socha et Janowski, 2011) sont les seuls applicables à cette race, ce qui pourrait s'expliquer par une courbe de croissance de l'ICC différente chez cette race. De plus, aucune chienne Golden Retriever n'a été incluse dans la cohorte à l'origine du modèle multi-racial (Alonge et al., 2016b) de ce format, ce qui pourrait expliquer que le modèle ne soit pas adapté à ces chiennes. Dans le cas des chiennes Berger Allemand, ni les modèles pour Golden Retriever (Luvoni et Grioni, 2000 ; Socha et Janowski, 2011), ni pour d'autres chiennes de grand format (Alonge et al., 2016b), ne fournissent des résultats proches de celui spécifique à la race. Nous avons donc choisi d'utiliser uniquement les formules spécifiques à ces deux races pour des chiennes Golden Retriever et Berger Allemand. Dans le cas d'autres races de grand format, nous calculerons le résultat moyen de la formule multi-raciale (Alonge et al., 2016b) et de la formule de Luvoni et Grioni (2000), dont la précision de prédiction a été estimée à 74,4% et 92,3% à plus ou moins un et deux jours de la date prédite respectivement en l'appliquant à 26 chiennes de grand format (Socha et Janowski, 2014).

#### Diamètre bipariétal (BP)

Quatre formules utilisant le BP ont été établies pour des chiennes de grand format : pour des chiennes Berger Allemand (Groppetti et al., 2015), pour des chiennes Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011) et pour des chiennes d'autres races brachycéphales ou non (Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019).

Concernant les chiennes Golden retriever, la précisions de prédiction de la formule spécifique à cette race (Socha et Janowski, 2011), établie à partir de mesures du BP sur 9 chiennes, n'a jamais été évaluée à ce jour. De même pour les autres modèles pour chiennes de grand format, leurs précisions respectives n'ont pas été testées pour cette race et nous ne disposions pas de données pour le faire dans notre travail.

En comparant le modèle spécifique à cette race aux autres formules du même format, nous avons mis en évidence des différences de prédiction faibles avec le modèle pour Berger Allemand (Groppetti et al., 2015), de 1,4 à 1,9 jours pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm (tableau 26). En l'absence de donnée sur leur efficacité de prédiction appliqué à des chiennes Golden Retriever, nous ne pouvions toutefois pas déterminer si l'une des deux formules serait plus précise chez cette race.

En revanche, les différences de prédiction de la formule Golden Retriever par rapport aux modèles multi-raciaux de grand format se sont montrées variables : de l'ordre de 0,9 à 1,6 jours avec le modèle de Cuevas (2019) et de 2,4 jours avec le modèle d'Alonge et al. (2016b). Cependant, il ne nous était pas possible de déterminer le modèle le plus précis pour les Golden retriever sans information sur leur niveau de précision de prédiction.

Par ailleurs, dans leur étude pour développer un modèle spécifique aux Golden Retriever, Socha et Janowski (2011) ont tout d'abord appliqué la formule pour des chiennes de format moyen de Luvoni et Grioni (2000) à des femelles Golden Retriever. Ils ont ainsi obtenu une précision de 80% et 90% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un et deux jours respectivement, en réalisant 10 mesures du BP sur 9 chiennes. Malgré ces pourcentages de précision élevés, leurs travaux mettaient en évidence une différence significative entre ce modèle et le leur ( $p < 0,01$ ), bien que nous n'ayons obtenu qu'une différence de prédiction de 1,8 jours au maximum entre les deux. Ces résultats s'expliquent encore une fois par les origines raciales des femelles échographiées pour établir cette formule, croisées Golden Retriever et Setter Irlandais. Au vu des taux de précisions élevés pour cette formule et des variations importantes de prédictions entre les différents modèles, nous avons décidé de conserver uniquement pour les chiennes Golden Retriever les formules dont les variations de prédiction par rapport au modèle de Luvoni et Grioni (2000) sont strictement inférieures à 2. Il s'agit donc du modèle multi-racial de Cuevas (2019) et du modèle spécifique aux Golden Retriever.

Ainsi, nous avons mis en évidence ici des différences non négligeables de la formule développée pour cette race et d'autres modèles. Cependant, aucune généralité n'est apparue concernant les modèles multi-raciaux, puisque l'un d'entre eux semblent utilisable pour des chiennes Golden Retriever et l'autre non. Ceci est probablement lié au fait que ces formules sont des modèles mixtes et qu'elles ont intégré des proportions différentes de femelles brachycéphales dans leurs cohortes.

Tableau 26 : Différences minimales et maximales (min - max) du nombre de jours pré-partum prédits entre les modèles basés sur le diamètre bipariétal (BP) pour grand format

*Les valeurs ont été calculées pour un BP mesurant entre 5 et 20 mm*

	Socha et Janowski (2011) - Golden Retriever	Alonge et al. (2016b) - Multi-racial - Format racial grand	Cuevas (2019) - Multi-racial - Format racial grand	Luvoni et Grioni (2000) - croisé Golden Retriever	Groppetti et al. (2015) - Berger Allemand
Socha et Janowski (2011) - Golden Retriever		2,4 - 2,4	0,9 - 1,6	0,0 - 1,8	1,4 - 1,9
Alonge et al. (2016b) - Multi-racial - Format racial grand	2,4 - 2,4		0,8 - 1,5	0,6 - 3,3	0,4 - 1,0
Cuevas (2019) - Multi-racial - Format racial grand	0,9 - 1,6	0,8 - 1,5		0,2 - 1,8	0,4 - 0,5
Luvoni et Grioni (2000) - croisé Golden Retriever	0,0 - 1,8	0,6 - 3,3	0,2 - 1,8		0,2 - 2,3
Groppetti et al. (2015) - Berger Allemand	1,4 - 1,9	0,4 - 1,0	0,4 - 0,5	0,2 - 2,3	



Dans le cas des chiennes Berger Allemand, l'efficacité de prédiction du modèle utilisant le BP spécifique à cette race, développé par Groppetti et al. (2015), été évaluée à 72,5%-83.3% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins un jour et 85%-95.2% de mise-bas dans un intervalle de plus ou moins deux jours autour de la date prédite sur 20 et 34 chiennes de la race (Cecchetto et al., 2017 ; Socha et Janowski, 2017).

A l'aide des données brutes fournies par Cecchetto et al. (2017) sur 17 chiennes Berger Allemand, nous avons pu estimer les pourcentages de précision des autres modèles du même format à 75% et 85% pour le modèle multi-racial d'Alonge et al. (2016b), à 67,5% et 82,5% pour le modèle multi-racial de Cuevas (2019) et à 35% et 75% pour le modèle Golden Retriever (Socha et Janowski, 2011). Ces pourcentages de prédiction sont relativement proches dans l'intervalle de plus ou moins deux jours de la date prédite de ceux du modèle spécifique, ce qui s'explique par les écarts de prédiction entre les différentes formules. En effet, les prédictions des formules multi- raciales (Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019) varient d'un jour au maximum par rapport à celles du modèle Berger Allemand (Groppetti et al., 2015), à l'exception du modèle Golden Retriever pour lequel les écarts de prédiction avec le modèle de Groppetti et al. sont proches de 2 jours.

Pour le modèle de Luvoni et Grioni (2000) pour chiennes de format moyen, la précision de prédiction est inférieure, notamment dans un intervalle de plus ou moins un jour de l'ordre de 54.8% (Socha et Janowski, 2017) et de 67.5% d'après nos calculs. De plus, le nombre de jours pré-partum prédit par cette formule diffère de plus de 2 jours par rapport au modèle de Groppetti et al. (2015) pour un BP mesurant de 5 à 20 mm.

Ainsi, les deux modèles développés à partir de chiennes Golden Retriever ou croisées Golden Retriever, présentent tous deux des différences importantes par rapport au modèle spécifique pour les Berger Allemand, que ce soit par rapport aux pourcentages de précision ou par rapport aux écarts de prédiction. Nous avons donc choisi de ne pas les utiliser sur ces chiennes. En revanche, aucune différence majeure n'a été observée avec les modèles multi-raciaux du format, et ceux-ci peuvent donc être utilisés.

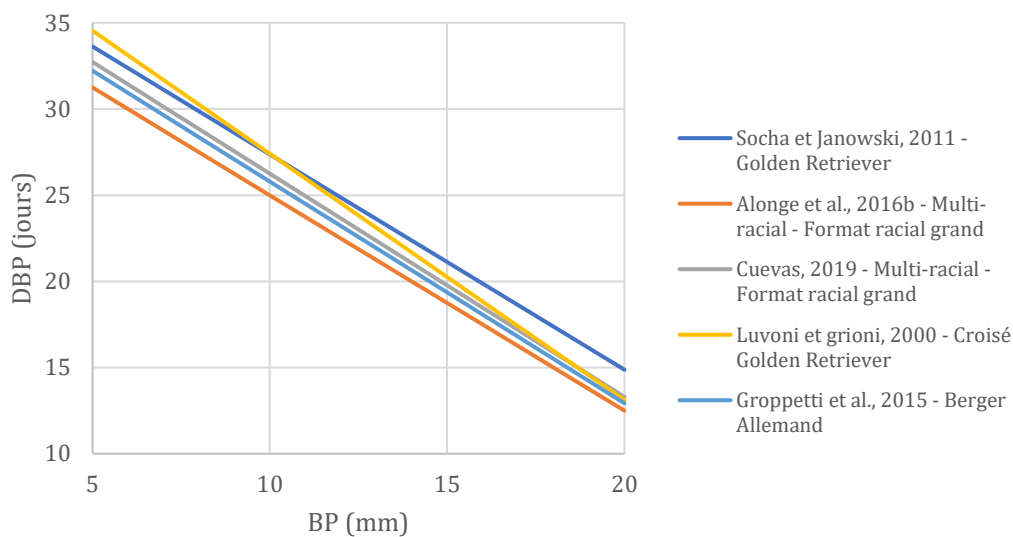


Figure 46 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (BP) ; Comparaison des modèles pour chiennes Golden Retriever (Luvoni et Grioni, 2000 ; Socha et Janowski, 2011), Berger Allemand (Groppetti et al., 2015) et d'autres races (Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019) de grand format

### Diamètre abdominal (BD)

Une seule équation utilisant le BD a été développée pour des chiennes de grand format (Cecchetto et al., 2017).

#### 3.4.5. Différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux pour des chiennes de format géant

Aucune équation spécifique à des races n'a été établie pour des chiennes de grand format. Toutefois, des formules à partir de plusieurs races ont été développées en utilisant l'ICC et le BP.

### Diamètre interne de la cavité chorionique (ICC)

Concernant le diamètre interne de la cavité chorionique, deux équations établies à partir de plusieurs races non brachycéphales existent (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b). Les résultats fournis par ces deux formules sont proches, pour un ICC mesurant entre 5 et 20 mm, allant de 0,1 de différence au minimum à 1,4 jours au maximum. Ainsi, ces deux modèles pour chiennes de format géant sont comparables et il a été décidé d'en calculer un résultat moyen dans notre outil de prédiction.

### Diamètre bipariétal (BP)

Dans le cas du BP, nous disposons de trois équations : deux multi-raciales non brachycéphales (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b) et une multi-raciale établie à partir de chiennes brachycéphales et non brachycéphales (Cuevas, 2019). La précision de prédiction sur des chiennes de format géant n'a été évaluée pour aucune de ces formules. Toutefois, les différences de prédiction sont strictement inférieures à 2 jours pour le modèle multi-racial d'Alonge et al. (2016b) par rapport aux deux autres, tandis que la différence va jusqu'à 2,2 jours entre la formule de Cuevas (2019) et de Socha et al. (2015) (figure 47). En l'absence d'information sur l'efficacité de ces modèles, nous n'avons pas pu déterminer lequel serait le plus précis chez des chiennes de format géant. Il a donc été décidé d'utiliser les deux équations multi-raciales non brachycéphales (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b) pour ce type de chienne et l'équation mixte (Cuevas, 2019) pour des chiennes brachycéphales.

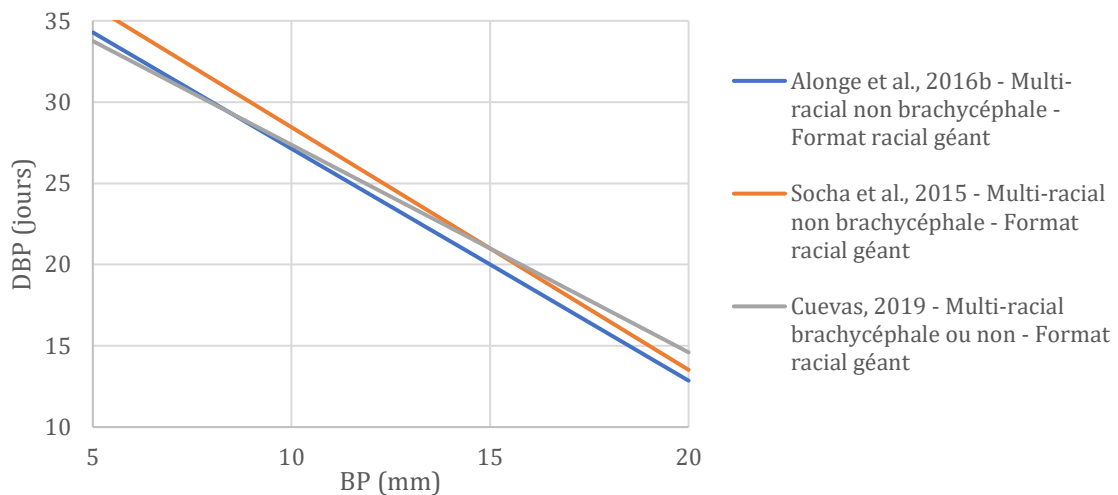


Figure 47 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du BP (mm) ; Comparaison des modèles pour chiennes de plusieurs races non brachycéphales (Socha et al., 2015 ; Alonge et al., 2016b) et brachycéphales ou non (Cuevas, 2019) de format géant

### Diamètre abdominal (BD)

Aucune formule pour le BD n'a été établie pour des chiennes de format géant.

## **CONCLUSION SUR L'INFLUENCE DES MODELES RACIAUX SUR LES COURBES DE CROISSANCE**

### *Diamètre interne de la cavité chorionique (ICC)*

Dans le cas des modèles utilisant l'ICC, nous n'avons pas mis en évidence de généralité concernant les différences de résultats entre modèles raciaux et multi-raciaux. Dans le cas des chiennes de format miniature, tous les modèles, qu'ils soient multi-raciaux ou adaptés à certaines races (Yorkshire Terrier et Bichon Maltais), fournissent des résultats très similaires. Ce n'est pas le cas en revanche pour les modèles établis pour des chiennes de grand format, pour lesquels les prédictions varient fortement entre modèles multi-raciaux et raciaux. De la même façon, la différence du nombre de jours restants avant mise-bas est importante entre les modèles raciaux (Golden Retriever et Berger Allemand).

### *Diamètre bipariétal (BP)*

Là encore pour le diamètre bipariétal, nous n'avons pas mis en évidence de généralité sur les modèles les plus adaptés pour déterminer la date de mise-bas chez certaines races de chiennes. Dans certains cas, les modèles établis pour certaines races apportent une meilleure précision de prédiction chez des chiennes de ces races que des modèles multi-raciaux, tandis que parfois ils fournissent des précisions quasiment identiques à celles des modèles multi-raciaux de même format.

### *Diamètre abdominal (BD)*

Nous n'avons pas pu déterminer si des formules multi-raciales ou raciales seraient plus efficaces dans le cas du diamètre abdominale car nous ne disposons que de formules raciales dans chaque format. Nous avons tout de même cherché à comparer les modèles raciaux d'un même format entre eux.

Les mêmes constats ont été faits que pour les deux autres paramètres biométriques. Les formules établies pour des chiennes de format miniature, Bichon Maltais et Yorkshire Terrier, sont quasiment identiques, mais ce n'est pas le cas entre les modèles établis spécifiquement pour des races dans les autres formats.

Par ailleurs, pour les trois paramètres biométriques (ICC, BP, BD), toutes les précisions de prédiction ont été estimées sur des groupes de chiennes relativement petits et qui ne tiennent donc pas toujours compte de la variabilité de la durée de gestation au sein de la race. Il serait intéressant de tester la précision des formules sur différentes races avec des effectifs plus importants et de continuer à développer davantage de modèles raciaux à l'avenir.

### 3.5. Facteurs de variation

Plusieurs facteurs maternels et gestationnels sont susceptibles d'influer sur la durée de gestation et la croissance fœtale et donc, sur la précision de prédiction des modèles biométriques. Nous avons donc cherché à déterminer lesquels influencent ces modèles et s'il est nécessaire d'en tenir compte dans notre outil informatique.

#### 3.5.1. La taille de la portée

La taille de la portée influe sur la durée de gestation et la précision de prédiction des modèles existants. De nombreuses études ont mis en évidence une corrélation significative et négative de la taille de la portée et de la durée de gestation chez la chienne et la chatte (Eilts et al., 2005 ; Sparkes et al., 2006 ; Bobic Gavrilovic et al., 2008 ; Mir et al., 2011 ; Gatel et al., 2014 ; Groppetti et al., 2015 ; Hollinshead et Halon, 2017). Ainsi, la gestation est plus courte que la moyenne pour des grandes portées. Mir et al. (2011) ont rapporté, sur 151 chiennes de 53 races, une gestation de  $65,2 \pm 2,6$  jours en moyenne pour des portées d'un ou deux chiots contre  $62,8 \pm 1,9$  jours et  $62,2 \pm 1,3$  jours pour des portées de 3 à 9 chiots et des portées de plus de 10 chiots respectivement, soit trois jours d'écart en moyenne selon la taille de la portée.

Certaines études ont ainsi établi des facteurs de correction en fonction du nombre de chiots ou de chatons. Hollinshead et Halon (2017) ont estimé que pour chaque chiot additionnel, la durée de gestation diminuerait de  $0,08 \pm 0,02$  jour, et inversement. Le nombre de chiots à partir duquel ces valeurs s'appliquent n'a pas été précisé, mais nous avons supposé qu'il s'agissait de la moyenne, soit  $5,8 \pm 3,1$  chiots par portée. Gavrilovic et al. (2007) ont, quant à eux, estimé que pour chaque chiot additionnel à la portée moyenne chez les chiennes Drever ( $6,81 \pm 2,11$  chiots), la gestation diminuerait de 0,25 jour et inversement. Eilts et al. (2005) et Mir et al. (2011) décrivent des gestations plus longues de 1 à 2 jours en moyenne lorsque la portée comprend 4 ou moins de chiots ( $65,2 \pm 2,9$  jours à partir du pic de LH ; Eilts et al., 2005), par rapport à des portées de 5 chiots ou plus ( $63,5 \pm 1,9$  jours à partir du pic de LH; Eilts et al., 2005) pour lesquelles la durée de gestation atteint à peu près un plateau (figure 48).

Chez les chattes, la gestation serait raccourcie de 0,1 jour en moyenne pour chaque chaton (Sparkes et al., 2006). La taille de la portée influence donc la durée de gestation, cependant cet impact nous semble négligeable. En effet, d'après ces chiffres, la variation de la durée serait de l'ordre d'1 jour environ au maximum, même lors de très grandes ou très petites portées.

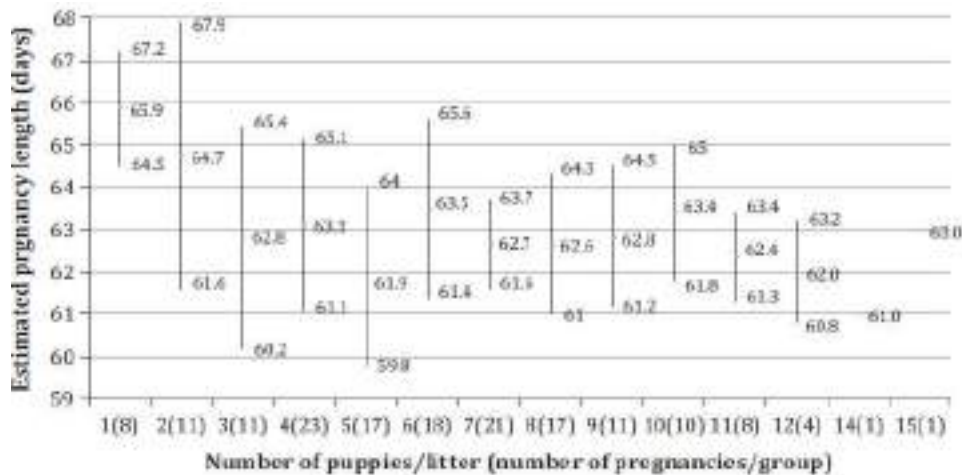


Figure 48 : Durée de gestation moyenne estimée à partir de l'ovulation en fonction du nombre de chiots dans la portée (Mir et al., 2011)

D'autre part, certains auteurs rapportent également une fiabilité de prédiction variable des formules biométriques en fonction de la taille de la portée. Ainsi, les modèles du diamètre bipariétal seraient moins précis lors de petite ou grande portées que pour des portées considérées normales, mais ce ne serait pas le cas pour le diamètre de la cavité chorionique (Beccaglia et Luvoni, 2006 ; Gropetti et al., 2015 ; Cecchetto et al., 2017). Beccaglia et Luvoni (2006) ont ainsi obtenu des précisions significativement inférieures pour des petites et grandes portées dans un intervalle de plus ou moins un jour avec les formules BP de Luvoni et Gioni (2000) chez des formats petits (<2 et >6 chiots) et moyens (<5 et >9 chiots) (tableau 27). Dans le cas des chiennes Berger Allemand, la précision de prédiction serait très inférieure pour les portées de 3 chiots ou moins (Gropetti et al., 2015). Cependant, très peu de mesures ont été réalisées sur des portées de petite ou grande taille, contrairement aux portées considérées normales pour le format ou la race. L'influence de la taille de la portée a également été rapportée pour les modèles DPTV (Beccaglia et al., 2008b). Par ailleurs, elle a été parfois contredite par quelques études (Kutzler et al., 2003 ; Alonge et al., 2016b ; Ponglowhapan, 2016), mais ces résultats s'expliquent par le peu de gestations avec des petites ou grandes portées incluses dans ces études par rapport aux portées normales.

Tableau 27 : Tableau présentant les précisions de prédiction en fonction de la taille de la portée, des modèles du diamètre interne de la cavité chorionique et du diamètre bipariétal de Luvoni et Grioni (2000) pour des chiennes de formats petit et moyen (Beccaglia et Luvoni, 2006)

Litter size (number of pups)	±1 day		±2 days	
	ICC diameter, n (%)	BP diameter, n (%)	ICC diameter, n (%)	BP diameter, n (%)
Small (<2 to <5)	8/9 (88.9)	13/25 (52) <sup>a</sup>	8/9 (88.9)	21/25 (84) <sup>ab</sup>
Normal (2-5 to 5-9)	67/80 (83.8)	131/176 (74.4) <sup>b</sup>	69/80 (86.3)	153/176 (86.9) <sup>a</sup>
Large (>5 to >9)	4/6 (66.7)	10/19 (52.6) <sup>a</sup>	5/6 (83.3)	13/19 (68.4) <sup>b</sup>

ICC inner chorionic cavity, BP Biparietal  
No difference is observed within rows. Different superscripts denote significant differences within columns (P<0.05)

Par ailleurs, bien que l'impact de la taille de la portée soit maintenant soutenu par de nombreuses études, une seule d'entre elles a cherché chez la chienne à établir des formules adaptées à ce facteur de variation (Cuevas, 2019). L'auteur a mis en évidence des différences significatives entre des régressions du BP établies pour des portées de taille normale et de grande taille chez des chiennes de format moyen (> 8 chiots) et de format géant (> 11 chiots), mais pas chez les autres formats. Cependant, elle a fait l'hypothèse que les régressions linéaires en fonction du nombre de chiots ne varient que par l'addition ou la soustraction d'un facteur fixe et que les pentes des courbes de croissance sont identiques, ce qui pourrait ne pas être exact. De plus, seules les portées de plus de trois chiots ont été incluses pour les formats petit à géant dans cette étude. Chez la chatte, Gatel et al. (2014) ont publié une formule multi-variée utilisant la longueur du fémur et tenant compte du nombre de chatons, mais l'efficacité de cette équation n'a jamais été évaluée.

Ainsi, les variations de la durée de gestation rapportées pour des petites portées (< 5 chiots) sont importantes, pouvant aller jusqu'à 3 jours. De plus, le nombre de fœtus influe grandement sur la précision des modèles biométriques existants. Il faudrait donc tenir compte de ce facteur pour prédire la date de mise-bas chez la chienne et la chatte. Toutefois, en l'absence de formules adaptées à différentes tailles de portées, nous n'avons pas pu en tenir compte dans notre outil. Celui-ci sera donc principalement utilisable pour des portées de taille moyenne et des modifications pourront être apportées à l'avenir pour d'autres tailles de portées.

### 3.5.2. L'âge de la mère avant gestation

L'influence de l'âge de la mère est plus controversée que la taille de la portée. Certains auteurs rapportent une corrélation négative entre l'âge de la mère avant sa gestation et la durée de celle-ci chez la chienne et la chatte (Bobic Gavrilovic et al., 2008 ; Gatel et al., 2014 ; Hollinshead et Halon, 2017). Ainsi, pour chaque année supplémentaire de la mère, la durée de gestation moyenne diminuerait de  $0,11 \pm 0,04$  jour chez la chienne. Cependant, ceci pourrait être due à une corrélation négative entre la taille de la portée et

l'âge de la mère, avec des portées en moyenne plus petites de 0,13 chiot pour chaque année supplémentaire par rapport à l'âge moyen des chiennes de l'étude ( $3,9 \pm 1,7$  ans) (Hollinshead et Halon, 2017). Cependant, cette corrélation entre l'âge de la mère et la durée de gestation n'a pas été observée dans plusieurs études (Eilts et al., 2005 ; Mir et al., 2011 ; Garcia Mitacek et al., 2015).

D'autre part, seuls Gropetti et al., (2015) se sont intéressés à l'influence de l'âge de la mère sur la précision de prédiction de modèles biométriques et aucune différence significative n'a été observée selon l'âge pour les modèles du BP et ICC des chiennes Berger Allemand.

Compte tenu de ces résultats, nous n'avons donc pas tenu compte de cette caractéristique dans notre arbre de décision.

### 3.5.3. Le « sex ratio » de la portée

La proportion de mâles et de femelles dans une portée n'est pas corrélée à la durée de gestation chez la chienne. Mir et al. (2011) expliquent qu'une corrélation apparente peut être observée, mais que ces variations sont en réalité liées à la taille de la portée, puisque les portées avec une majorité de mâles sont généralement plus grandes, avec une moyenne de 4,8 chiots contre 2,8 chiots lorsque les femelles sont majoritaires.

De plus, aucune influence n'a été mise en évidence sur la précision de prédiction des modèles utilisant la mesure d'ICC et du BP (Beccaglia et Luvoni, 2006 ; Beccaglia et al., 2008b ; Alonge et al., 2016b ; Cuevas, 2019).

Nous avons donc estimé qu'il n'était pas nécessaire de tenir compte de cette caractéristique chez la chienne. L'influence de ce facteur n'a pas été évalué chez la chatte à notre connaissance.

### 3.5.4. Autres facteurs de variation

D'autres facteurs maternels ont été étudiés chez la chatte, tels que le rang de gestation et la hauteur au garrot, et n'ont montré aucune influence sur le calcul du DBP (Gatel et al., 2014).



### 3.6. Période de gestation

Toutes les études ayant travaillé sur ce paramètre s'accordent sur le fait que la période de gestation à laquelle les mesures sont réalisées influence la précision de prédiction des modèles biométriques chez la chienne et la chatte (Beccaglia et Luvoni, 2012 ; Garcia Mitacek et al., 2015 ; Groppetti et al., 2015 ; Cecchetto et al., 2017).

Beccaglia et Luvoni (2012) ont mis en évidence une diminution progressive de la précision des modèles utilisant le BP de Luvoni et Grioni (2000) et de Beccaglia et al. (2008a) à plus ou moins un jour de la date prédite après la 6<sup>ème</sup> semaine, tout en maintenant une bonne précision à plus ou moins deux jours jusqu'à la 8<sup>ème</sup> semaine. De plus, les précisions des modèles basés sur l'ICC et sur le BP seraient comparables à la 5<sup>ème</sup> semaine de gestation, limite maximale de mesure de l'ICC et limite minimale de mesure du BP (tableau 28). Des résultats identiques ont été rapportés chez la chatte par Garcia Mitacek et al. (2015) et chez des chiennes Berger Allemand par Cecchetto et al. (2017). Ces derniers ont obtenu une baisse de précision importante en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation avec le modèle ICC de Groppetti et al. (2015), passant de 76,9% (10/13) à 41,2% (7/17) dans un intervalle de plus ou moins un jour et de 100,0% (13/13) à 82,4% (14/17) dans un intervalle de plus ou moins deux jours. De la même façon pour leur modèle basé sur le BP, celui-ci deviendrait significativement moins précis dans les 15 derniers jours de gestation, à plus ou moins un et deux jours. Concernant les modèles du ICC, la meilleure précision serait obtenue en 4<sup>ème</sup> semaine, soit aux alentours de 30 jours de gestation (Beccaglia et Luvoni, 2012), bien que l'ICC ne soit utilisé que deux semaines.

Tableau 28 : Précisions de prédiction des modèles basés sur le diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) et sur le diamètre bipariétal (BP) chez la chienne (Luvoni et Grioni, 2000) et chez la chatte (Beccaglia et al., 2008a) de la 4<sup>ème</sup> à la 9<sup>ème</sup> semaine de gestation (Beccaglia et Luvoni, 2012)

Semaine de gestation	±1 jour		±2 jours	
	ICC % (n)	BP % (n)	ICC % (n)	BP % (n)
4	81% (47/58)		93.1% (54/58)	
5	67.7% (67/99)	78.6% (33/42)	85.9% (85/99)	95.2% (40/42)
6		78.9% (75/95)		88.4% (84/95)
7		64.6% (73/113)		82.3% (91/113)
8		63.2% (60/95)		85.3% (81/95)
9		50.9% (27/53)		69.8% (37/53)

Cependant, aucune formule n'a été développée à notre connaissance pour une ou des semaines de gestation spécifiquement. L'ICC n'étant utilisable qu'en première moitié de gestation pour avoir une bonne précision de prédiction, et le BP et le BD qu'en deuxième moitié de gestation, ceci détermine la ou les structures à mesurer selon le stade de gestation. Ainsi, pour une femelle présentée au vétérinaire en première moitié de gestation, nous utiliserons les modèles basés sur l'ICC de nos arbres, et les modèles basés sur le BP et le BD en deuxième moitié de gestation.

### **3.7. Mode de calcul : jour de gestation (DG) ou nombre de jours pré-partum (DBP)**

Après avoir choisi toutes les caractéristiques maternelles et gestationnelles à prendre en compte dans nos arbres de décision, nous nous sommes intéressés aux différences entre les modèles établis à partir du jour de gestation et ceux établis à partir du nombre de jours pré-partum.

L'intérêt de la méthode utilisant le jour de gestation nous a semblé limité. En effet, le but de notre étude est de pouvoir déterminer le nombre de jours restants avant la mise-bas, afin de la préparer au mieux, et non pas de connaître le stade auquel la femelle se trouve. Ces formules sont tout de même utilisées pour prévoir le moment de la parturition, mais cette méthode s'appuie sur une déduction du nombre de jours restants à partir de la durée de gestation moyenne, de 65 jours chez la chatte et de 65 ou 63 jours chez la chienne selon l'évènement de référence du début de gestation. Ce mode de calcul ne tient donc pas compte des variations de la durée de gestation, que nous détaillerons dans la dernière partie. Ceci est d'autant plus vrai lorsque l'accouplement est choisi comme jour de début de gestation pour établir la courbe de croissance, puisque nous avons vu que la durée de gestation peut alors varier entre 57 et 72 jours chez la chienne (Luvoni et Grioni, 2000) et de plusieurs jours également chez la chatte.

Toutefois, dans le cas des chiennes, il semblerait que ce type de modèle fournisse des résultats similaires aux modèles DBP lorsque la durée de gestation utilisée pour déduire le nombre de jours pré-partum correspond à la durée moyenne de gestation de la race. Nous avons pu observer ceci pour plusieurs races, notamment les chiennes Yorkshire Terrier. Son et al. (2001) ont obtenu une durée de gestation moyenne de 63,4 jours à partir du jour d'ovulation estimé et ont établi des courbes de croissance pour les paramètres ICC et BP. En déduisant le nombre de jours pré-partum à partir de cette durée, nous avons obtenu des résultats qui ne varient que de 1,4 jour au maximum par rapport aux formules établies pour Yorkshire Terrier de Socha et Janowski (2011) développées directement à partir du nombre de jours restants avant mise-bas. En revanche, lorsque nous avons réalisé le même calcul en utilisant la durée de gestation moyenne du format correspondant, soit 61,8 jours, nous avons obtenu des écarts de prédiction jusqu'à 2,1 jours. De plus, la précision de prédiction est passée de 100% dans un intervalle de plus ou moins un jour autour de la date prédite à 62,5%.

Nous avons donc choisi d'utiliser préférentiellement des formules de type DBP lorsqu'il en existe pour les caractéristiques de la femelle, à l'exception des formules DG pour lesquelles la durée de gestation moyenne du groupe de femelles échographiées a été

précisée par les auteurs. Dans le cas où il n'en existe pas, nous utiliserons par défaut des modèles de type DG.



# DEUXIÈME PARTIE - DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL DE CALCUL AUTOMATISÉ DE LA DATE DE MISE-BAS

## 1. Objectifs

L'objectif de notre outil est de calculer rapidement le nombre de jours restants avant la mise-bas chez les chiennes et les chattes, sans avoir besoin de se référer à de nombreuses formules ou à des tables de prédiction complexes.

De plus, nous voulions que celui-ci soit utilisable lorsque la date des dernières chaleurs ou de l'accouplement n'était pas connue, en tenant compte des caractéristiques de la femelle, définies dans nos arbres de décision, et des structures embryonnaires ou fœtales que le vétérinaire a pu mesurer.

Pour finir, nous voulions développer une interface simple d'utilisation, qui ne nécessite pas de connaissances particulières en informatique.

## 2. Méthode de mise au point

Nous avons choisi d'utiliser le support « Microsoft Excel » de la suite Microsoft Office pour développer notre outil de calcul, car celui-ci permettait de remplir tous nos objectifs.

Le fichier s'organise autour de quatre onglets. Le premier est un mode d'emploi et le deuxième correspond à l'interface utilisateur, que le vétérinaire doit remplir. Ce sont donc les deux seuls onglets que l'utilisateur va consulter. Les deux derniers contiennent la construction de l'outil et les formules permettant de calculer les résultats, que l'utilisateur n'a pas besoin de consulter. Nous allons tout d'abord présenter ces deux derniers onglets, pour expliquer le fonctionnement de l'outil.

Le quatrième onglet est la première page que nous avons écrite. Il s'agit des listes de références, dans laquelle chaque colonne correspond à une caractéristique de la femelle gestante : espèce, format, morphologie du crâne, race et structure embryonnaire ou fœtale mesurée. A chacune de ces caractéristiques, nous avons associé des listes déroulantes contenant toutes les options disponibles, définies lors de la fabrication de nos arbres de décision (figure 49) :

- Espèce : Chien ou Chat
- Poids : <6 kg, 6-10kg, 11-25 kg, 26-40 kg, >40 kg, Grande race, Race normale
- Morphologie du crâne : Brachycéphale, Non Brachycéphale
- Race : Yorkshire terrier, Bichon Maltais, Carlin, Shih Tzu, Bouledogue Anglais, Golden Retriever, Berger Allemand, Maine Coon, Autres
- Structure mesurée : ICC, BP, BD, BP et BD

Dans le cas des chiennes, le poids est à choisir parmi les 5 catégories définies dans l'analyse de la littérature, tandis que pour les chattes, il faudra juste sélectionner le format de la race (grande ou normale).

Ces listes déroulantes ont ensuite été insérées dans l'interface utilisateur (deuxième onglet), pour que ce dernier puisse sélectionner les caractéristiques de la femelle.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Espèce	Poids		Morpho		Race		Structure			
2	Chien	<6 kg		Brachycéphale		Autres		ICC			
3	Chat	6-10 kg		Non Brachycéphale		Carlin		BP			
4		11-25 kg				Shih Tzu		BD			
5		26-40 kg				Yorkshire Terrier		BP + BD			
6		>40 kg				Bichon Maltais					
7		Grande race				Bouledogue Anglais					
8		Race normale				Golden Retriever					
9						Berger Allemand					
10						Maine Coon					
11											
12											
13											
14											

Figure 49: Page de tableur contenant les caractéristiques et les listes déroulantes

Dans le troisième onglet, nous avons ensuite rassemblé le jeu de données. A partir des arbres de décision établis, nous avons inséré un tableau contenant toutes les combinaisons de caractéristiques possibles, chaque combinaison correspondant à une branche de l'arbre. Ainsi, chaque combinaison contient l'option sélectionnée pour chaque caractéristique décrite précédemment et prend la forme : Espèce\_Poids\_Morphologie du crâne\_Race\_Structure. Celles-ci ont été construites à la main, à partir d'un principe de concaténation, en saisissant le signe « = » dans la cellule cible puis en cliquant successivement sur les cellules à concaténer, en intercalant « & » entre chaque. L'utilisation d'une fonction pour déduire toutes les combinaisons à partir des références aurait introduit des combinaisons impossibles, comme Chat\_>40 kg\_Brachycéphale\_Berger Allemand\_ICC par exemple. De plus, ceci nous permet de modifier, d'ajouter ou de supprimer des combinaisons à tout moment et facilement.

Puis, nous avons inséré plusieurs colonnes à la suite de la colonne de concaténation. Celles-ci contiennent les formules associées à chaque combinaison qui permettront de

calculer le nombre de jours restants avant mise-bas. Ces formules correspondent à celles présentées dans les arbres de décision, à chaque fin de branche (annexe 3 et 4). Elles ont été insérées en saisissant le signe « = » dans la cellule cible, puis en entrant les constantes de la formule ainsi que la cellule contenant la variable : « =b+a\*cellule cible ». Trois des colonnes correspondent ensuite à la moyenne des résultats obtenus avec ces équations, au résultat minimum et au résultat maximum. Nous avons utilisé pour cela les fonctions « =moyenne », « =min » et « =max », qui vont chercher ces résultats dans les colonnes du tableau où les équations ont été insérées. De plus, dans le cas où l'utilisateur a pu mesurer à la fois BP et BD, les résultats fournis correspondent à la moyenne, au minimum et au maximum des équations BP et BD de la combinaison de caractéristiques correspondante.

Ainsi, lorsque l'utilisateur entre la valeur de la structure mesurée dans l'interface utilisateur, les fonctions vont automatiquement utiliser cette valeur et afficher tous les résultats possibles avec cette mesure dans la colonne « calcul » (figure 50).

Equation	Poids	Métrique	Type	Formule	Caractéristiques	Moyenne	Minimum	Maximum	EC	BP	BD	Calcul	Moyenne	Minimum	Maximum
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=BP + BD	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	30,31	26,04	35,38	0	34	38	31,81	26,54	36,94	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=C	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	42,36	42,07	44,04	0	34	38	43,17	44,54	44,54	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=BP	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	17,00	36,04	17,13	0	34	38	17,03	36,54	17,13	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=D	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	25,52	35,18	35,56	0	34	38	25,26	35,55	35,55	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Carte	=C	Chien ->6 kg - Brachycephale - Carte	44,89	44,89	44,89	0	34	38	44,89	44,89	44,89	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Carte	=BP	Chien ->6 kg - Brachycephale - Carte	38,00	38,00	38,00	0	34	38	38,00	38,00	38,00	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Carte	=D	Chien ->6 kg - Brachycephale - Carte	38,00	38,00	38,00	0	34	38	38,00	38,00	38,00	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Carte	=BP + BD	Chien ->6 kg - Brachycephale - Carte	28,00	35,00	33,79	0	34	38	34,31	33,50	33,50	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Shih Tzu	=C	Chien ->6 kg - Brachycephale - Shih Tzu	44,89	44,89	44,89	0	34	38	44,89	44,89	44,89	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Shih Tzu	=BP	Chien ->6 kg - Brachycephale - Shih Tzu	17,58	17,58	17,58	0	34	38	17,58	17,58	17,58	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Shih Tzu	=D	Chien ->6 kg - Brachycephale - Shih Tzu	25,49	25,49	25,49	0	34	38	25,49	25,49	25,49	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Shih Tzu	=BP + BD	Chien ->6 kg - Brachycephale - Shih Tzu	11,49	17,00	25,49	0	34	38	11,50	25,49	25,49	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=C	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	44,21	44,42	44,73	0	34	38	44,37	44,71	44,88	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=BP	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	22,38	22,38	22,38	0	34	38	22,38	22,38	22,38	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=D	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	29,54	29,54	29,54	0	34	38	29,54	29,54	29,54	
Chien ->6 kg		Brachycephale	Autres	=BP + BD	Chien ->6 kg - Brachycephale - Autres	25,89	22,16	28,52	0	34	38	24,20	28,51	28,51	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Amalgam Anglais	=C	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Amalgam Anglais	45,60	45,60	45,60	0	34	38	45,60	45,60	45,60	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Amalgam Anglais	=BP	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Amalgam Anglais	32,48	32,48	32,48	0	34	38	32,48	32,48	32,48	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Amalgam Anglais	=D	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Amalgam Anglais	33,00	33,00	33,00	0	34	38	33,00	33,00	33,00	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Amalgam Anglais	=BP + BD	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Amalgam Anglais	25,24	30,48	33,70	0	34	38	27,48	33,00	33,00	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Autres	=C	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Autres	45,60	45,60	45,60	0	34	38	45,60	45,60	45,60	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Autres	=BP	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Autres	28,32	28,32	28,32	0	34	38	28,32	28,32	28,32	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Autres	=D	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Autres	30,00	30,00	30,00	0	34	38	30,00	30,00	30,00	
Chien 11 - 25 kg		Brachycephale	Autres	=BP + BD	Chien 11 - 25 kg - Brachycephale - Autres	34,78	25,52	35,00	0	34	38	35,51	35,00	35,00	
Chien 30 - 40 kg		Brachycephale	Autres	=C	Chien 30 - 40 kg - Brachycephale - Autres	42,04	42,04	42,04	0	34	38	42,04	42,04	42,04	
Chien 30 - 40 kg		Brachycephale	Autres	=BP	Chien 30 - 40 kg - Brachycephale - Autres	11,07	11,07	11,07	0	34	38	11,07	11,07	11,07	

Figure 50 : Exemple de combinaisons de caractéristiques possibles et des formules associées

Nous avons ensuite développé l'interface à remplir par le vétérinaire (« Espace vétérinaire »), séparée en deux parties : les paramètres d'entrée à gauche et la partie résultats à droite (figure 51).

Le cadre « paramètres d'entrée » correspond aux informations que l'utilisateur doit compléter. Nous y avons inséré les listes déroulantes construites dans l'onglet 4, afin qu'il puisse sélectionner les caractéristiques de la femelle. L'utilisateur doit ensuite entrer les mesures de la ou des structures sélectionnées, en millimètres. Des consignes en italique ont été ajoutées pour guider l'utilisateur.

Le cadre de droite renvoie la combinaison formée ainsi que le nombre de jours moyen restants avant la mise-bas et le nombre de jours minimum et maximum prédit. Pour cela, nous avons inséré une fonction sur le principe de la concaténation, qui combine les caractéristiques sélectionnées. Ceci permet notamment à l'utilisateur d'avoir un visuel de

la combinaison. Cependant, toute modification doit être faite à partir des listes déroulantes et non pas sur cette fonction. A l'aide d'une fonction « INDEX » et « EQUIV », le résultat est automatiquement calculé. La première va chercher dans la table de jeu de données la cellule contenant la combinaison créée par l'utilisateur, et la seconde renvoie la valeur située à x et y lignes et colonnes de celle-ci respectivement. Dans notre cas, les valeurs renvoyées correspondent au nombre de jours pré-partum moyen, minimum et maximum parmi les prédictions des équations, et est décalée de +1, +2 et +3 colonnes respectivement (c'est-à-dire une, deux et trois colonnes sur la droite, contenant les résultats) et de 0 ligne.

Dans le cas où la combinaison de caractéristiques formée par l'utilisateur n'existe pas dans la liste, par exemple si l'on sélectionne à la fois « Chat » et « >40 kg », la case résultat renvoie une erreur (#N/A). Nous avons également inséré une fonction « SI » et « ESTNA », qui permettent, lorsque combinées, de renvoyer un commentaire d'erreur dans cette situation : =SI(ESTNA(N8);"#N/A - Résultat impossible - modifiez vos paramètres d'entrée";"").



Figure 51 : Espace vétérinaire de l'outil de calcul

Le 1<sup>er</sup> onglet a été fabriqué en dernier. Celui-ci contient un guide d'utilisation, ainsi qu'un exemple sous forme de capture d'écran. Nous y avons inclus des images échographiques et des explications sur les repères pour réaliser les mesures de l'ICC, du BP et du BD. De plus, nous y expliquons le fonctionnement de l'outil et comment remplir les informations demandées dans l'onglet « Espace vétérinaire ».

### 3. Utilisation de l'outil de calcul

Cet outil de calcul automatisé de la date de mise-bas à partir de mesures échographiques a ainsi été développé dans le but d'être facilement utilisable par tous les



vétérinaires. Son interface est simple d'utilisation et son fonctionnement requiert uniquement un ordinateur, un échographe, ainsi que des sondes allant au minimum de 5 MHz à 12,5 MHz. Un accès à internet n'est pas nécessaire.

Afin de réaliser des mesures correctes et donc d'estimer avec la meilleure fiabilité possible le nombre de jours pré-partum, nous recommandons de tondre toute la zone abdominale de la femelle gestante et de placer celle-ci en décubitus dorsale ou latérale. La contention doit être suffisante pour réaliser des mesures précises mais ne doit pas être trop stressante pour l'animal. Nous conseillons de mesurer la structure choisie sur un maximum d'embryons/fœtus, et d'utiliser la moyenne de ces valeurs dans le logiciel. Dans le cas où, à la fois BP et BD sont mesurables, les deux valeurs moyennes doivent être fournies dans les cases correspondantes.

De plus, si la femelle est présentée à son vétérinaire en première moitié de gestation, le diamètre interne de la cavité chorionique devrait être mesuré. En deuxième moitié, le diamètre bipariétal, le diamètre abdominal ou les deux peuvent être mesurés. Ces informations sont expliquées dans le « mode d'emploi » (1<sup>er</sup> onglet).

Chez les chiennes, dans le cas où le poids de la femelle avant gestation était intermédiaire à deux catégories de format, l'utilisateur devrait choisir la catégorie correspondant au poids moyen de la race. De la même façon, en cas d'obésité ou de maigre, il est recommandé de se baser sur le poids idéal de la chienne. Nous avons toutefois tenu compte du fait qu'un individu peut être parfois plus petit ou plus grand que la moyenne de la race. Ainsi, pour chaque race disponible, des combinaisons ont été établies avec les deux catégories de poids les plus probables. Dans le cas d'une chienne Yorkshire Terrier par exemple, l'outil fonctionne et fournit les mêmes résultats, que l'utilisateur choisisse <6 kg ou 6-10 kg.



# TROISIÈME PARTIE - DISCUSSION

## 1. La méthodologie des études

### 1.1.1. Les paramètres étudiés et le type de modèles développés

Parmi les études que nous avons rassemblées, les paramètres biométriques les plus étudiés étaient le diamètre interne de la cavité chorionique en 1<sup>ère</sup> moitié de gestation et le diamètre bipariétal en 2<sup>ème</sup> moitié de gestation. Ce dernier est également l'un des plus utilisés chez la femme pour déterminer l'âge de gestation à partir du deuxième trimestre, mais c'est la longueur tête-périnée qui est la plus communément mesurée au premier trimestre (Verburg et al., 2008 ; Leung et al., 2008 ; McLennan et Schluter, 2008 ; Kullinger et al., 2019). Cette structure a cependant été peu étudiée pour l'espèce canine et féline, malgré la mise en évidence d'une corrélation avec l'âge gestationnel dès 1990 chez la chienne et dès 2002 la chatte (England et al. 1990 ; Zambelli et al., 2002). De plus, la précision de prédiction de ce paramètre est peu connue pour ces espèces, mais celle rapportée pour une formule chez des chiennes de race Berger Allemand laisse envisager une bonne fiabilité (60% à  $\pm 1$  jour et 80% à  $\pm 2$  jours) (Cecchetto et al., 2017).

D'autres paramètres sont rapportés dans les travaux chez la femme, telles que la longueur du fémur, la circonférence abdominale et la circonférence de la tête (Leung et al., 2008). Cependant, ceux-ci n'ont pas été étudiés, ou quasiment pas dans le cas du premier (Feliciano et al., 2015), pour la chienne et la chatte.

D'autre part, nous avons recensé principalement des corrélations de type linéaire simple avec l'âge gestationnel pour les chiennes et les chattes. La plupart des auteurs ont posé cette hypothèse dans leurs travaux et n'ont pas testé d'autres modèles de régression sur leurs données. De plus, le faible nombre de femelles échographiées dans chaque cohorte, et donc de mesures, pourrait être à l'origine d'une impression de croissance linéaire. Il se pourrait donc que ce ne soit pas le type de régression le plus adapté pour toutes les structures, comme proposé dans certaines études (Moriyoshi et al., 1995 ; Zambelli et al., 2002 ; Garcia Mitacek et al., 2015).

Dans le cas d'autres espèces, d'autres types de corrélations ont été établis (England et al., 1990). Chez la femme, il existe des modèles linéaires simples, polynômiales de 3<sup>ème</sup> de degré ou encore complexes, avec des racines carrées et des logarithmes, pour la longueur tête-périnée et pour le diamètre bipariétal (Leung et al., 2008 ; McLennan et Schluter, 2008 ; Dias et al., 2010). Une étude sur de plus grands effectifs de chiennes et de chattes pourrait donc mettre en évidence différents modèles ou confirmer ceux existants.

England et al. (1900) et Topie et al. (2015) ont également proposé l'hypothèse que la mesure de deux structures ou plus au même moment de la gestation augmenterait la fiabilité de prédiction de la date de mise-bas. Ainsi, ils ont obtenu une variabilité de prédiction plus faible (England et al., 1990) ou un pourcentage de précision à plus ou moins un jour de la date prédite plus élevé (Topie et al., 2015) en utilisant un modèle combinant deux paramètres, par rapport à des modèles simples seuls ou au résultat moyen de deux modèles simples. Ceci n'a cependant pas été testé dans d'autres études.

Dans le même but, quelques auteurs ont établi des modèles multi-variables, c'est-à-dire tenant compte d'autres facteurs que les structures mesurées telles que la taille de la portée, le poids de la mère et son âge avant gestation (Gatel et al., 2014 ; Alonge et al., 2016a). Les précisions de prédiction de ces formules rapportées par les auteurs sont similaires à celles des formules simples, mais elles ont été obtenues sur de petits effectifs (n=8 ; Alonge et al., 2016a) ou à partir des mêmes mesures qui ont servi à développer l'équation (Gatel et al., 2014). Il serait donc intéressant d'appliquer ces équations à des groupes de chiennes et de chattes plus importants, pour confirmer ou non leur efficacité de prédiction.

Chez la femme, des modèles simples sont utilisés plutôt que des modèles combinés ou multi-variables. Au vu des contraintes, en médecine vétérinaire, liées à ces formules et en l'absence de preuve d'une meilleure efficacité, nous avons décidé de ne pas les inclure à notre outil. En effet, ces modèles requièrent de pouvoir mesurer plusieurs structures ou de connaître certaines informations via d'autres examens, comme le nombre de fœtus par comptage radiographique. Nous avons tout de même choisi dans notre outil de fournir le résultat moyen des modèles du diamètre bipariétal et abdominal lorsque les deux structures peuvent être mesurées par l'utilisateur. Toutefois, si une meilleure précision de prédiction à l'aide de ces formules est prouvée à l'avenir, celles-ci pourront être ajoutées au fichier de calcul.

### 1.1.2. Les protocoles d'étude

Deux méthodes de calcul ont été utilisées par les différents auteurs pour développer des formules : l'une corrélant les mesures au nombre de jours de gestation (DG), l'autre les corrélant au nombre de jours pré-partum (DBP). La première méthode, en déduisant le nombre de jours pré-partum à partir d'une durée moyenne de gestation chez toutes les femelles (65 jours à partir du pic de LH ou 63 jours post-ovulation chez la chienne et 65 jours post-accouplement chez la chatte) ne permet pas de tenir compte de la variabilité de durée de gestation en fonction du format, de la race, de la taille de la portée, etc. Toutefois, nous avons vu que les prédictions entre les deux méthodes de calcul sont similaires, lorsque l'on tient compte de la durée moyenne de gestation chez la race étudiée.

La méthode de calcul via le DG est également utilisée chez la femme avec une bonne fiabilité (Verburg et al., 2008). Les auteurs rapportent tout de même une difficulté à évaluer la précision des modèles car différents événements peuvent être employés comme référence de début de grossesse chez la femme (Napolitano et al., 2014).

N'ayant pas de données pour réellement conclure sur cet aspect, nous avons préféré sélectionner les modèles établis à partir du nombre de jours pré-partum lorsque cela était possible.

D'autres aspects des protocoles pourraient également avoir introduit des biais dans les modèles établis.

D'une part, lors de la sélection de femelles dans leurs cohortes, certaines études n'ont inclus volontairement que des chiennes ou des chattes avec certaines caractéristiques. Dans certains cas, seules des femelles dont la durée de gestation variait peu par rapport à la moyenne ont été conservées pour l'étude (Cecchetto et al., 2017), ou encore seules les femelles avec des portées de taille moyenne pour le format correspondant (Zambelli et al., 2002, 2004 ; Blaise, 2006 ; Socha et Janowski, 2011 ; Socha et al., 2015 ; Socha et Janowski, 2017). Ainsi, les modèles issus de ces études ne tiennent pas compte de l'ensemble de la variabilité qui peut exister entre individus.

D'autre part, plusieurs mesures ont été effectuées au cours de la même gestation ou sur plusieurs gestations chez la même femelle dans la majorité des études. Ces valeurs ont été considérées comme indépendantes dans le but d'augmenter le nombre de données et de simplifier les modèles. Dans le cas où l'objectif est de mettre au point une nouvelle formule, cette méthode pourrait introduire des erreurs dans la courbe de croissance des structures, car il est impossible de savoir si les mêmes fœtus ont été mesurés à chaque examen. Or, des variations existent au sein d'une même portée (Beccaglia et al., 2008a ; Garcia Mitacek et al., 2015 ; Keiser et al. 2017 ; De Cramer et Nothling, 2018). Afin d'avoir des courbes de variation exactes, il faudrait être capable de mesurer le même fœtus tout au long de la gestation. De plus, multiplier les mesures plutôt qu'augmenter les effectifs étudiés ne permet pas de prendre en compte la variabilité entre individus.

Par ailleurs, nous nous sommes appuyés sur les pourcentages de précision de prédiction fournis dans les études pour comparer l'efficacité des modèles. Toutefois, ces pourcentages ont été calculés sur des effectifs de tailles différentes et souvent petits. Il serait donc intéressant de réaliser une étude avec un nombre important de chiennes et de chattes pour vérifier ces résultats sur tous les modèles, à partir du même groupe de femelles.

De plus, la méthode de calcul de ces pourcentages n'est pas clairement détaillée dans les études. Il semble, d'après les résultats bruts fournis par quelques études (Son et al., 2001 ; Cecchetto et al., 2017), que les auteurs aient calculé la différence entre le DBP prédit et le

DBP réel et que la mise-bas ait été considéré à plus ou moins un et deux jours de la date prédite lorsque cette différence est strictement inférieure à 2 et 3 jours respectivement. Par exemple, si cette différence est de 1,5 jours, les auteurs n'ont pas réalisé d'arrondi au jour supérieur, mais ont considéré que l'écart n'était que d'une journée. Cependant, en l'absence de détails sur la méthode de calcul des autres études, nous n'avons pas pu déterminer si les intervalles plus ou moins un et deux jours correspondent toujours à une différence strictement inférieure à 2 et 3 jours respectivement, et non pas strictement inférieure à 1 et 2 jours. Ceci pourrait notamment expliquer des pourcentages de précision de prédiction plus faibles avec certaines équations.

## **2. L'outil**

### **2.1. La fiabilité de prédiction de l'outil**

Le but de l'outil que nous avons développé dans cette étude est de calculer le nombre de jours restants avant la mise-bas chez toutes les femelles, chienne ou chatte. Nous n'avons cependant pas pu évaluer sa précision de prédiction car il aurait fallu regrouper un grand nombre de chiennes et de chattes, de toutes races et de toutes caractéristiques. Ce travail pourrait être réalisé dans une prochaine étude.

Cependant, nous savons que cet outil ne fournit qu'une idée approximative du moment de la mise-bas. En effet, dans son étude, Cuevas (2019) rapporte une étendue des intervalles de prédiction à 95% de 6 à 10 jours pour ses modèles. Cette étendue s'explique en partie par les petits effectifs étudiés, qui augmentent l'imprécision des formules, mais également par les variations de la durée de gestation. Dans leur étude sur 1150 chattes de 14 races différentes, Sparkes et al. (2006) rapportent 90,2% de gestations ayant une durée comprise entre 63 et 67 jours, 97,1% entre 61 et 69 jours et un intervalle maximum allant de 50 à 74 jours. De façon similaire chez la chienne, 90% des gestations auraient une durée comprise dans un intervalle de plus ou moins deux jours autour de la moyenne et 100% à plus ou moins trois jours (Maenhoudt, 2017), ce qui revient à une dispersion d'une semaine. Ainsi, bien que la majorité des durées de gestation soient comprises dans un intervalle de cinq jours, environ 10% des femelles auraient des gestations plus longues ou plus courtes que cela. Les résultats fournis par notre fichier de calcul doivent donc être considérés avec précaution, puisque notre outil fournit une valeur moyenne du DBP. Le vétérinaire devrait donc fournir le résultat moyen ainsi l'intervalle de dispersion, correspondant à la moyenne plus ou moins 3 jours.

Ces variations parfois importantes entre les prédictions et la mise-bas réelle peuvent être liés à des facteurs techniques. En effet, l'un des points majeurs de cette méthode est de pouvoir réaliser des mesures correctes et de qualité. Certains facteurs tels

que la précision de l'échographe, la tonte de la zone abdominale et la contention de la femelle peuvent avoir un impact sur celles-ci. En revanche, il a été démontré dans quelques études que les différences de mesure entre plusieurs observateurs ne sont pas significatives d'un point de vue statistique et que les mesures sont reproductibles (Ponglowhapan et al., 2016 ; Cuevas, 2019). Elles requièrent tout de même un certain entraînement de la part du vétérinaire et une bonne connaissance des repères de mesure.

Une grande partie de ces variations sont cependant liées à des facteurs maternels et gestationnels.

### 2.1.1. Variabilité liée au format

Lors de la construction des arbres de décision, les formules du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) et du diamètre bipariétal (BP) adaptées aux formats des chiennes apportent une meilleure précision de la date de mise-bas. Ainsi, cette variabilité a pu être prise en compte dans notre outil, en n'utilisant que des modèles correspondants au format de la femelle.

Ces variabilités s'expliquent par des courbes de croissance différentes de ces structures selon le poids des chiennes, comme le prouve les facteurs de correction décrits par Kutzler et al. (2003), mais également par des durées de gestation différentes. En effet, plusieurs auteurs rapportent des différences significatives de taille du BP et de l'ICC pour des stades de gestation identiques (Alonge et al., 2016b ; Socha et Janowski, 2018 ; Limmanontet al., 2019) (tableau 29), ainsi que de la durée de gestation entre les formats les plus éloignés (Mir et al., 2001 ; Hollinshead et Halon, 2017). Celle-ci serait corrélée positivement au poids de la chienne, avec une moyenne de 61,8 jours ( $\pm 2,1$  jours) pour des femelles de moins de 10 kg et de 63,5 jours ( $\pm 2$  jours) pour des femelles de plus de 40 kg, à partir du jour d'ovulation (figure 52).

Tableau 29 : Valeurs du diamètre interne de la cavité chorionique (ICC) à 25-26 jours de la mise-bas (MB) et du diamètre bipariétal (BP) à 1-2 jours de la mise-bas (MB) chez les chiennes, en fonction du format (Alonge et al., 2016b ; Socha et Janowski, 2018 ; Limmanontet al., 2019)

*\*Aucune donnée pour les chiennes de 11 – 25 kg n'a été rapportée.*

	<6 kg	<11 kg	26 – 40 kg	>40 kg
ICC (mm)	31,15 (26j avant MB)		42,40 (26j avant MB)	41,30 (25j avant MB)
BP (mm)	23,9 $\pm$ 2.7 (1j avant MB)	25,0 $\pm$ 2.9 (1j avant MB)	28,1 (2j avant MB)	29,4 (1j avant MB)

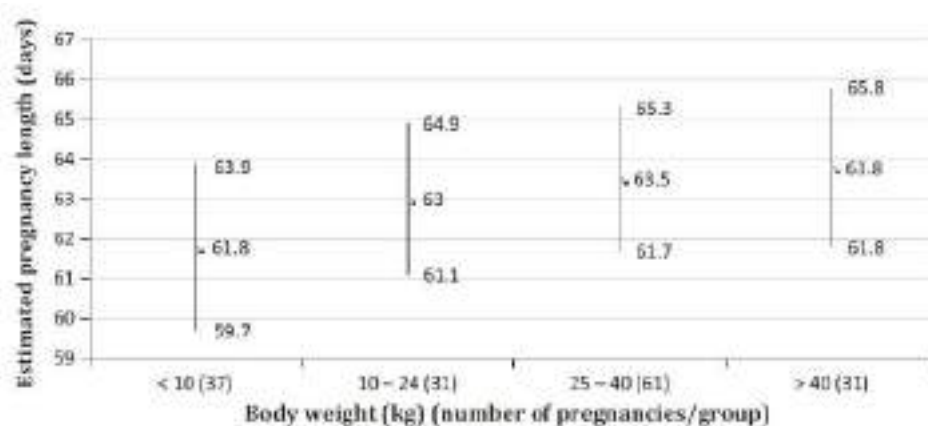


Figure 52 : Durée de gestation à partir du jour d'ovulation estimé chez 151 chiennes de différents formats (Mir et al., 2011)

### 2.1.2. Variabilité liée à la forme de la tête

La morphologie de la tête est également apparue comme un facteur influençant les modèles de prédiction du diamètre bipariétal. En effet, les races brachycéphales présentent un faciès écrasé, avec une distance rostro-caudale des os du crâne raccourcie, ainsi qu'une forme plus arrondie du crâne. Compte-tenu de ces particularités morphologiques, il est probable que la courbe de croissance du diamètre bipariétal soit différente chez ces races et que les modèles établis à partir de chiennes non brachycéphales ne puissent pas s'appliquer à ces chiennes. Ceci expliquerait les variations de prédiction importantes mises en évidence entre les modèles spécifiques aux races brachycéphales et ceux adaptés aux chiennes non brachycéphales.

En revanche, de telles variations n'ont pas pu être observées parmi les modèles utilisant le diamètre interne de la cavité chorionique ou le diamètre abdominal, par manque de formule adaptée aux races brachycéphales. Cependant, l'ICC étant une structure extra-embryonnaire, sa mesure n'est probablement pas influencée par les caractéristiques des fœtus.

Ainsi, en étudiant les différences entre les modèles utilisant le BP établis pour chiennes brachycéphales et non brachycéphales et en sélectionnant les formules les plus adaptées à ces races dans notre outil de calcul, la variabilité liée à cette caractéristique a été prise en compte. Toutefois, nous n'avons pas pu faire de même pour les modèles utilisant le BD, par manque de formules adaptées à la forme du crâne.

L'évaluation de la précision de prédiction de modèles pour chiennes non brachycéphales appliqués à des chiennes brachycéphales, et inversement, pourrait confirmer ou non l'intérêt d'utiliser des formules spécifiques à ces races. Si ceci s'avérait confirmé, il serait intéressant d'étudier également les courbes de croissance du BP chez



des chiennes dolicocephales et de développer davantage de modèles adaptés à ces morphologies. De plus, les chiennes brachycéphales font partie des races les plus à risque de dystocie et requièrent une surveillance rapprochée (Cuevas, 2019). Il est donc d'autant plus important d'améliorer les modèles de prédiction chez ces chiennes à l'avenir, pour assurer un suivi optimal.

Ces observations seraient probablement similaires chez les chattes, bien qu'aucune étude n'ait été publiée à ce sujet à notre connaissance.

### 2.1.3. Variabilité liée à la race

Compte-tenu des différences de morphologie au sein des formats, nous nous attendions également à observer des différences nettes entre les modèles raciaux et multi-raciaux. En effet, si l'on compare par exemple des chiennes Basset Hound, Berger Allemand, Bouledogue Anglais et Lévrier Greyhound, toutes ces races appartiennent à la même catégorie de poids, mais leurs conformations sont très différentes.

De plus, il semblerait que la durée de gestation dépende de la race de la chienne (Okkens et al., 1993 ; Eilts et al., 2005). Dans leur étude portant sur 151 chiennes de 53 races différentes, Mir et al. (2011) ont obtenu une durée de gestation moyenne significativement plus courte pour des chiennes Berger Allemand ( $63,2 \pm 1,8$  jours) que pour des chiennes Rottweiler ( $65,6 \pm 1,6$  jours) en comptant à partir du jour d'ovulation estimé. Ces variations de durée ne sont pas uniquement liées au format, puisque les auteurs rapportent une durée de gestation supérieure de 2 jours pour les Rottweilers et supérieure de 3 jours pour les Léviérs Greyhound ( $68,0 \pm 1,5$  jours à partir du pic de LH) par rapport aux durées moyennes des formats correspondant (Mir et al., 2011 ; Hollinshead et Halon, 2017). Ces variations entre races sont parfois importantes, pouvant aller jusqu'à 7 jours d'écart en moyenne entre des chiennes Labrador et des Large Hound (Eilts et al., 2005).

Concernant les chattes, l'influence de la race est controversée. Sparkes et al. (2006) ont rapporté des gestations de 63, 64 et 66 jours en moyenne pour les races Korat, Burmese et Oriental Shorthair respectivement. Cependant, ces variations n'ont pas été retrouvées dans d'autres études (Musters et al., 2011 ; Gatel et al., 2014).

Il est donc envisageable qu'au-delà du format, les courbes de croissance des structures embryonnaires et fœtales varient également en fonction de la race des chiennes. Cependant, nous n'avons pas toujours observé de différences entre les modèles raciaux et multi-raciaux.

En effet, nous n'avons pas noté de variations de prédiction importantes entre les modèles ICC et BP pour Yorkshire Terrier ou Bichon Maltais et les modèles multi-raciaux du même format. En revanche, pour les Golden retriever, les modèles les plus précis semblaient être ceux développés spécifiquement pour la race. Le modèle pour Berger Allemand ne semblait pas utilisable chez ces chiennes avec la même précision, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que la durée de gestation chez cette race serait en moyenne plus longue de 2 jours par rapport aux chiennes Golden Retriever (Eilts et al., 2005). De plus, l'un des modèles multi-raciaux pour grand format fournissait des prédictions comparables aux formules de cette race, contrairement à l'autre. Ceci s'explique probablement par les caractéristiques des chiennes sélectionnées dans les cohortes d'étude, la seconde incluant plus de chiennes brachycéphales que l'autre. Ces observations viennent donc nuancer les études affirmant des modèles développés spécifiquement pour une race seraient toujours plus efficaces que des modèles multi-raciaux.

Nous avons donc tenté, dans notre analyse, de tenir compte de ces différences et de sélectionner pour chaque race, les modèles les plus adaptés. Néanmoins, nous ne disposions d'équations biométriques spécifiques qu'à quelques races. D'autres modèles pourraient être ajoutés à l'outil pour améliorer sa précision à l'avenir, si des études s'intéressent à d'autres races.

Par ailleurs, notre analyse s'est appuyée sur les pourcentages de précision de prédiction disponibles dans la littérature, estimés sur des effectifs relativement petits. Ceux-ci n'incluent probablement pas suffisamment de femelles pour tenir compte de toute la variabilité inter-individuelle au sein d'une race. Ces résultats devraient donc être vérifiés à l'aide d'effectifs plus importants et pour des races dont la durée de gestation varie beaucoup par rapport à la moyenne (Lévrier Greyhound par exemple).

#### 2.1.4. Variabilité liée à la période de gestation

La fiabilité des modèles existants varie en fonction de la période de gestation à laquelle sont réalisées les mesures, avec une précision particulièrement diminuée en fin de gestation pour BP et BD.

Concernant le diamètre bipariétal, la perte de précision en fin de gestation pourrait s'expliquer, au moins en partie, par une croissance individuelle des fœtus en fin de gestation. En effet, les différences entre les individus apparaîtraient principalement en fin de gestation (Son et al., 2001). Cet argument s'appuie sur des variations considérables du poids mais aussi du diamètre bipariétal au moment de la naissance, entre portées mais également au sein d'une portée. En effet, le diamètre du crâne pour les chatons le jour de la mise-bas mesure en moyenne 2,26-2,34 cm, avec des variations de 0,05 à 0,32 cm entre le plus petit et le plus grand fœtus d'une portée (Beccaglia et al., 2008a ; Garcia Mitacek et

al., 2015 ; Keiser et al. 2017). Le même constat a été fait chez les chiots, avec des diamètres bipariétaux allant de 28,8 à 49,8 cm et de 27,8 à 54,3 cm entre des chiots de différentes portées de Bouledogue Anglais et de Boerboel respectivement, ainsi que des écarts de 0 à 0,12 cm et 0 à 0,18 cm au sein des mêmes portées (De Cramer et Nothling, 2018). Ces variations de mesure en fin de gestation sont observables sur les courbes de croissance des structures fœtales, par une dispersion du nuage de points à l'approche de la mise-bas (figure 53).

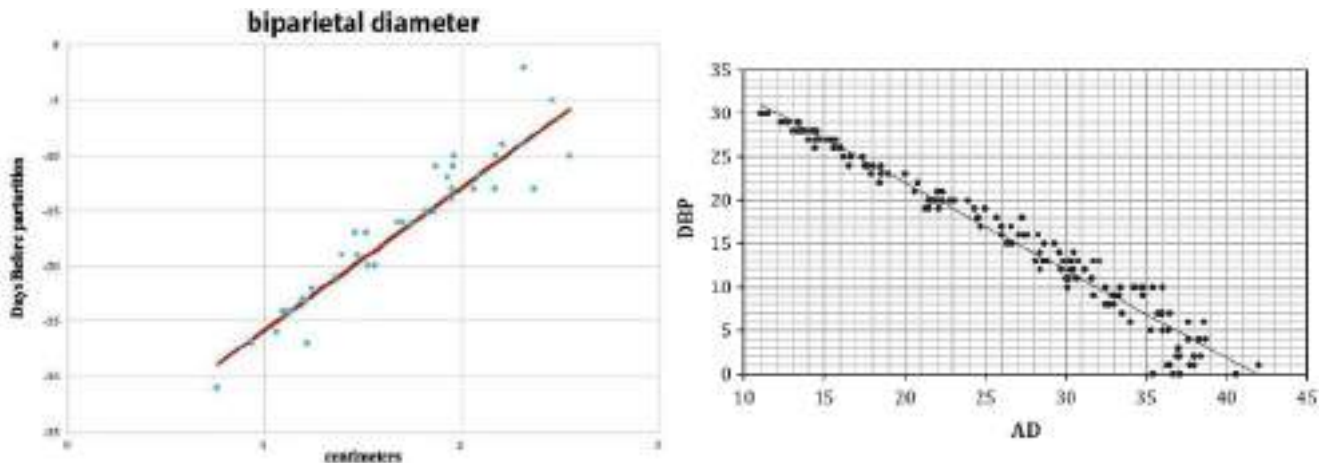


Figure 53 : Nombre de jours pré-partum (DBP) en fonction du diamètre bipariétal (Cecchetto et al., 2017) et du diamètre abdominal (AD ; Topie et al., 2015) autour des droites de régression

Nous recommandons donc dans notre outil de ne pas mesurer le diamètre interne de la cavité chorionique en deuxième moitié de gestation. De plus, nous savons que les résultats seront moins fiables si les mesures sont réalisées en fin de gestation, particulièrement dans la semaine qui précède la mise-bas. Dans le cas où une femelle gestante serait présentée à son vétérinaire à cette période, une autre méthode pour planifier la mise-bas devrait être utilisée, tel que le dosage répété de progestérone chez la chienne. Chez la chatte, la mesure du diamètre bipariétal ou du diamètre abdominal pourrait donner une indication sur l'approche ou non de la mise-bas. Topie et al. (2015) estiment que la mise-bas aurait lieu dans les 72h si le BP est supérieur à 23 mm et qu'elle aurait lieu au-delà de 72h si le BD est inférieur à 35 mm.

#### 2.1.5. Variabilité liée à la taille de la portée

Le nombre de fœtus est apparu comme un facteur influençant l'efficacité de prédiction des modèles biométriques, avec une précision diminuée pour des portées de grande ou petite taille. Des observations similaires ont été rapportées chez la femme en cas de grossesse multiple. En effet, les formules développées à partir d'un seul fœtus sous-estimeraient la datation de la gestation dans le cas de jumeaux (Dias et al., 2010).

L'influence du nombre de chiots sur la précision de prédiction des modèles utilisant les paramètres fœtaux s'explique par deux aspects. Tout d'abord, les chiots et chatons issus de petites portées auraient une taille et un diamètre bipariétal plus importants que ceux issus de grandes portées (Keiser et al., 2016). Ceci serait donc probablement, en plus de durées de gestation différentes, à l'origine de courbes de croissance différentes. D'autre part, il est possible que les modèles actuels aient été établis avec une majorité de gestations de taille normale pour le format ou la race, puisque ces tailles de portée sont les plus fréquentes. Ainsi, les modèles existants ne seraient pas adaptés aux courbes de croissance lors de fœtus en petit ou grand nombre. La précision de prédiction pourrait donc être améliorée à l'avenir en développant des formules adaptées à chaque catégorie de taille de portée, pour chaque format.

Le nombre de fœtus n'a pas été pris en compte dans notre outil, par manque de formules adaptées. Celui-ci est donc adapté au calcul de la date de mise-bas dans le cas de portées de taille moyenne. C'est pourquoi, si un examen radiographique a été réalisé au préalable et rapporte une grande ou une petite portée par rapport à la moyenne du format, ou si une petite portée est visible à l'échographie, les résultats doivent être considérés avec plus de précaution.

## **2.2. L'utilisation de l'outil de calcul**

Nous avons conseillé, en deuxième partie, de mesurer un maximum de fœtus identifiables et d'utiliser la valeur moyenne dans l'outil de prédiction. Cependant, le nombre de fœtus mesurés pourrait en réalité ne pas influencer le résultat. Cuevas (2019) n'a obtenu que des différences non significatives d'un point de vue statistique en mesurant deux fœtus ou plus par gestation. Ces observations sont en revanche probablement incorrectes en fin de gestation, compte tenu des variations parfois importantes au sein d'une portée, comme expliqué plus tôt.

De plus, il nous a semblé important de mesurer un maximum de fœtus, afin d'avoir une vue d'ensemble de la taille des structures sur la portée et une moyenne représentative de celle-ci, et non pas d'un seul fœtus. Cependant, si ceci n'est pas possible, notre outil de calcul peut tout de même être utilisé en mesurant uniquement deux fœtus, situés chacun dans une corne (Cuevas, 2019).

### **2.3. Les intérêts de l'outil de calcul**

L'outil que nous avons développé présente l'intérêt de fournir un résultat rapide du nombre de jours restants avant la mise-bas et cela, sans avoir besoin de se référer à de nombreuses formules. En effet, il existe un grand nombre d'équations et de tables, adaptées à certaines races ou formats, et il peut être difficile de savoir laquelle utiliser.

Au-delà de faciliter la détermination de la date de mise-bas, l'intérêt de notre outil de calcul réside également dans le fait qu'il est facilement modifiable. En effet, nous avons construit le fichier de telle sorte qu'il soit possible de modifier, retirer ou ajouter des formules. Dans le cas où des modèles seraient développés pour d'autres races par exemple, il suffirait d'ajouter celles-ci aux références disponibles et d'inclure les nouvelles combinaisons de caractéristiques associées et leurs formules. Il est également possible d'y ajouter d'autres espèces, à partir du moment où des formules de prédiction efficaces sont disponibles. L'outil pourra donc évoluer à mesure de l'avancée des connaissances sur la méthode de détermination de la mise-bas par biométrie.

De plus, ce fichier de calcul peut être utilisé sur toute la période de gestation à partir du diagnostic de gestation, qui a lieu autour du 20<sup>ème</sup> jour. En effet, nous y avons inclus des paramètres biométriques mesurables en première et en deuxième moitié de gestation, en sélectionnant ceux qui apparaissaient les plus précis. Dans le cas où aucune information n'est connue sur la date des chaleurs ou de l'accouplement, le vétérinaire peut déterminer approximativement la période de gestation en se reportant à des tables de suivi du développement embryonnaire et fœtal par échographie (Tainturier, 2005).

Par ailleurs, il s'agit du seul outil de calcul automatique pour chiennes et chattes à notre connaissance. En effet, quelques travaux ont également établi des logiciels de calcul mais uniquement pour chattes ou à partir de la date d'accouplement chez la chienne (Manville, 2005). De plus, ces outils n'ont pas pris en compte toutes les formules existantes dans la littérature mais ont développé leurs propres équations, auxquelles nous n'avons pas pu avoir accès.



## CONCLUSION

La biométrie embryonnaire et fœtale par mesures échographiques est une méthode de détermination de la date de mise-bas très utilisée en médecine vétérinaire. En trente années d'études sur cette technique, de nombreuses formules de prédiction ont été établies. Nous voulions alors mettre au point un outil de calcul automatisé qui regrouperait tous ces modèles.

Dans cette étude, nous avons rassemblé au total 26 travaux chez la chienne et 11 chez la chatte, portant sur le développement de formules biométriques ou sur l'évaluation de la fiabilité de ces formules. Les paramètres biométriques les plus précis pour déterminer la date de mise-bas chez la chienne et la chatte correspondent au diamètre interne de la cavité chorionique, au diamètre bipariétal et au diamètre abdominal. A partir de ces travaux, nous avons montré que le poids de la mère, la forme de la tête, la race, la taille de la portée et la période de gestation influencent la fiabilité de prédiction des modèles. Ainsi, nous avons proposé des arbres de décision regroupant les équations qui semblent les plus adaptés pour chaque type de femelle, à partir desquels nous avons développé un outil de calcul automatisé.

Cet outil fournit le nombre de jours pré-partum à partir des mesures réalisées, et facilite grandement la détermination de la date de mise-bas. En effet, il existe de nombreuses formules et tables et il peut être difficile de savoir lesquelles utiliser dans quelles circonstances. L'utilisation de notre outil de calcul, qui rassemble ces équations et sélectionne automatiquement les plus adaptées pour la femelle, offre un gain de temps considérable pour un vétérinaire.

La fiabilité de notre fichier de calcul n'a pas pu être testée sur des femelles gestantes. Nous savons qu'une certaine imprécision est à prendre en compte lors de son utilisation, due aux variations des durées de gestation chez les chiennes et les chattes. De plus, nous avons pu voir que certaines caractéristiques affectent la précision des modèles existants.


Le suivi de gestation est un service vétérinaire pour lequel la demande est en expansion chez les éleveurs de chiens et de chats. Il est donc nécessaire à l'avenir de continuer à améliorer cette méthode de prédiction de la mise-bas, en développant davantage de formules tenant compte des différents facteurs de variation. Ceci est une des conditions essentielles pour planifier correctement la parturition et les soins aux nouveau-nés, prévenir le risque de dystocie et ainsi diminuer la mortalité néo-natale.

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**  
**En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire**

Je soussigné(e), Sylvie CHASTANT-MAILLARD, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de Sarah CLOCHARD intitulée « Mise au point d'un outil de calcul automatisé de la date de mise-bas de la chienne et la chatte à partir des données de la littérature » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 24/07/2020  
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Professeure Sylvie CHASTANT-MAILLARD

Vu :  
Le Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
M. Pierre SANS

  
Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Reproduction  
23 chemin des Capelles  
31076 TOULOUSE cedex 03  
France


Vu :  
Le Président du jury  
Professeur Jean PARCIBAUD

Vu et autorisation de l'impression :  
Le Président de l'Université Paul Sabatier  
M. Jean-Marc BROTO

Mme Sarah CLOCHARD  
a été admis(e) sur concours en : 2015  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 09/07/2019  
a validé son année d'approfondissement le : 25/06/2020  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.





## REFERENCES

ALONGE S., BECCAGLIA M., LUVONI G.C., 2016a. Single formulae of inner diameter of chorionic cavity and biparietal diameter for the prediction of parturition term in different size bitches of non-brachycephalic breeds. Congrès ISCFR-EVSSAR (International Symposium on Canine and Feline Reproduction – European Veterinary Society for Small Animal Reproduction), Paris, France, 2016.

ALONGE S., BECCAGLIA M., MELANDRI M., LUVONI G.C., 2016b. Prediction of whelping date in large and giant canine breeds by ultrasonography foetal biometry. *Journal of Small Animal Practice*. Vol. 57, n°9, 479-483. <https://doi.org/10.1111/jsap.12534>

BECCAGLIA M., 2011. Prediction of parturition in cats. Congrès EVSSAR (European Veterinary Society for Small Animal Reproduction), Milan, Italie, 2011, 28-29.

BECCAGLIA M., LUVONI G.C., 2004. Ultrasonographic Study During Pregnancy of the Growth of an Encephalic Portion in the Canine Foetus. *Veterinary Research Communications*. Vol. 28, suppl. 1, 161-164. <https://doi.org/10.1023/b.verc.0000045396.64881.a9>

BECCAGLIA M., LUVONI G.C., 2005. Evaluation of gestational age in the bitch by ultrasonographic measurements of foetal head. Congrès EVSSAR (European Veterinary Society for Small Animal Reproduction), Nantes, France, 2005, 23-24.

BECCAGLIA M., LUVONI G.C., 2006. Comparison of the accuracy of two ultrasonographic measurements in predicting the parturition date in the bitch. *Journal of Small Animal Practice*. Vol. 47, n°11, 670-673. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2006.00108.x>

BECCAGLIA M., LUVONI G.C., 2012. Prediction of Parturition in Dogs and Cats: Accuracy at Different Gestational Ages. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 47, n°s6, 194-196. <https://doi.org/10.1111/rda.12006>

BECCAGLIA M., ALONGE S., TROVO C., LUVONI G.C., 2016. Determination of gestational time and prediction of parturition in dogs and cats: an update. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 51, n°s1, 12-17. <https://doi.org/10.1111/rda.12782>

BECCAGLIA M., ANASTASI P., GRIMALDI E., ROTA A., FAUSTINI M., LUVONI G.C., 2008a. Accuracy of the prediction of parturition date through ultrasonographic measurement of fetal parameters in the queen. *Veterinary Research Communications*. Vol. 32, Supplément 1, 99-101. <https://doi.org/10.1007/s11259-008-9107-1>

BECCAGLIA M., ANFUSO F., LUVONI G.C., 2003. Ultrasonographic identification of foetal brain structures during pregnancy in the dog. Congrès EVSSAR (European Veterinary Society for Small Animal Reproduction), Dublin, Irlande, 2003, 115–116.

BECCAGLIA M., FAUSTINI M., LUVONI G.C., 2008b. Ultrasonographic Study of Deep Portion of Diencephalo-Telencephalic Vesicle for the Determination of Gestational Age of the Canine Foetus. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 43, n°3, 367-370. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00916.x>

BECK K.A., BALDWIN C.J., BOSU W.T.K., 1990. Ultrasound prediction of parturition in queens. *Veterinary radiology and ultrasound*. Vol. 31, n°1, 32-35. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1990.tb00069.x>

BENNETT D., 1974. Canine dystocia : a review of the literature. *Journal of Small Animal Practice*. Vol. 15, n°2, 101-107. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1974.tb05667.x>

BILLAULT C.M., 2008. La durée de gestation réelle chez la chienne et les facteurs l'influencent : étude rétrospective effectuée au Centre d'Etude en Reproduction des Carnivores entre 2001 et 2006. Th. Méd. Vét. Créteil : 2008. Disponible à l'adresse : <http://theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=1005>

BLAISE A., 2006. Diagnostic et suivi de la gestation par échographie chez la chatte. Th. Méd. Vét. : Lyon : 2006. Disponible à l'adresse : [http://www2.vetagro-sup.fr/bib/fondoc/th\\_sout/th\\_pdf/2006lyon084.pdf](http://www2.vetagro-sup.fr/bib/fondoc/th_sout/th_pdf/2006lyon084.pdf)

BOBIC GAVRILOVIC B., ANDERSSON K., LINDE FORSBERG C., 2008. Reproductive patterns in the domestic dog – A retrospective study of the Drever breed. *Theriogenology*. Vol. 70, n°5, 783-794. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.04.051>

CECCHETTO M., MILANI C., VENCATO J., SONSTAS H., MOLLO A., CONTIERO B., ROMAGNOLI S., 2017. Clinical use of fetal measurements to determine the whelping day in German shepherd breed bitches. *Animal Reproduction Science*. Vol. 184, 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.07.005>

CHASTANT-MAILLARD S., GUILLEMOT C., FEUGIER A., MARIANA C., GRELLET A., MILA H., 2017. Reproductive performance and pre-weaning mortality: Preliminary analysis of 27,221 purebred female dogs and 204,537 puppies in France. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 52, n°S2, 158-162. <https://doi.org/10.1111/rda.12845>

CONCANNON P.W., 2000. Canine Pregnancy: Predicting Parturition and Timing Events of Gestation. Recent advances in Small Animal Reproduction. International Veterinary Information Service, Ithaca, NY. <http://people.upei.ca/lofstedt/public/chromosome.puzzle/images%20for%20chromosomes/private/pdf.files.not.in.courses/pregnacy.concannon.pdf>

CUEVAS M., : Intérêt de la mesure échographique du diamètre bipariétal fœtal pour la datation de la gestation chez la chienne : étude expérimentale. Th. Méd. Vét. Alfort : 2019. Disponible à l'adresse : <http://theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=3824>

DAVIDSON A.P., NYLAND T.G., TSUTSUI T., 1986. Pregnancy diagnosis with ultrasound in the domestic cat. *Veterinary Radiology*. Vol. 27, n°4, 109-114. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1986.tb00014.x>

DAVIDSON A., 2010. Clinical assistance of the neonate. Proceedings of the 5th EVSSAR Congress (European Veterinary Society for Small Animal Reproduction), Budapest, Hongrie, 2010, 100-105.

DARVELID A.W., LINDE-FORSBERG C., 1994. Dystocia in the bitch: A retrospective study of 182 cases. *Journal of Small Animal Practice*. Vol. 35, n°8, 402-407. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1994.tb03863.x>

DE CRAMER K.G.M., NOTHLING J.O., 2017. The precision of peri-œstrous predictors of the date of onset of parturition in the bitch. *Theriogenology*. Vol. 96, 153-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.04.018>

DE CRAMER K.G.M., NOTHLING J.O., 2018. Is the biparietal diameter of fetuses in late gestation too variable to predict readiness for cesarean section in dogs? *Theriogenology*. Vol. 113, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.02.005>

- DIAS T., MAHSUD-DOMAN S., THILAGANATHAN B., PAPAGEORGHIU A., BHIDE A., 2010. First-trimester ultrasound dating of twin pregnancy: are singleton charts reliable? BJOG : an International Journal of Obstetrics & Gynaecology. Vol. 117, N°8. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2010.02592.x>
- EILTS B.E., DAVIDSON A.P., HOSGOOD G., PACCAMONTI D.L., BAKER D.G., 2005. Factors affecting gestation duration in the bitch. Theriogenology. Vol. 64, n°2, 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.11.007>
- ENGLAND G.C.W., ALLEN W.E., PORTER D.J., 1990. Studies on canine pregnancy using B-mode ultrasound: Development of the conceptus and determination of gestational age. Journal of Small Animal Practice. Vol. 31, n°7, 324-329. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1990.tb00821.x>
- FELICIANO M.A.R., MACIEL G.S., COUTINHO L.N., ALMEIDA V.T., USCATEGUI R.R., VICENTE W.R.R., 2015. Gestational Echo Biometry in Brachycephalic Pregnant Bitches. Medicina Veterinaria. Vol. 16, N°3. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v16i327069>
- FONTBONNE A., 2008. Practice and accuracy of ovarian ultrasound examinations for the determination of the time of ovulation in bitches and comparison with hormonal parameters. In Vivo Ovulation, Oocyte Maturation and fertilization in the Bitch. Th. PhD, AgroParis Tech, France, 2008, 27 – 67
- FOURNIER A., MILA H., GRELLET A., CHASTANT-MAILLARD S., 2017. Un chaton sur 6 n'atteint pas l'âge de 2 mois en France aujourd'hui. Syndicat National des Professions du Chien et du Chat. N°85, 4-5. [https://www.neocare.pro/wp-content/uploads/2020/03/54\\_2017\\_Fournier\\_Un-chaton-sur-6-natteint-pas-l%C3%A2ge-de-deux-mois-en-France-SNPCC.pdf](https://www.neocare.pro/wp-content/uploads/2020/03/54_2017_Fournier_Un-chaton-sur-6-natteint-pas-l%C3%A2ge-de-deux-mois-en-France-SNPCC.pdf)
- GARCIA MITACEK M.C., STORNELLI M.C., PREDERIO R.G., DE LA SOTA R.L., STORNELLI M.A., 2015. Ultrasonographic and progesterone changes during Days 21 to 63 of pregnancy in queens. Theriogenology. Vol. 84, n°7, 1131-1141. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.06.014>
- GATEL L., ROSSET E., CHALVET-MONFRAY K., BUFF S., RAULT D.N., 2011. Relationships between fetal biometry, maternal factors and birth weight of purebred domestic cat kittens. Theriogenology. Vol. 76, n°9, 1716-1722. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.07.003>
- GATEL L., RAULT D., CHALVET-MONFRAY K., SAUNDERS J., BUFF S., 2014. Prediction of Parturition Time in Queens using Radiography and Ultrasonography. Anatomia, Histologia, Embryologia. Vol. 44, n°4, 241-246. <https://doi.org/10.1111/ah.12130>
- GAUDET D.A., 1985. Retrospective study of 128 cases of canine dystocia. Journal of the American Animal Hospital Association. Vol. 2, n°8, 813-818
- GAZITUA D.A., CORRADINI P., FERRANDO G., RAGGI L.A., PARRAGUEZ V.H., 2001. Prediction of Gestational Age by Ultrasonic fetometry in Llamas (Lama Glama) and Alpacas (Lama Pacos). Animal Reproduction Science. Vol. 66, n°1-2, 81-92. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(01\)00083-5](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(01)00083-5)
- GRECO D.S., DAVIDSON A.P., 2017. Small Animal Endocrinology and Reproduction. Hoboken (USA): John Wiley & Sons, Inc., 537-542. Blackwell's Five-Minute Veterinary Consult Clinical Companion. ISBN 9781118356371
- GROPETTI D., VEGETTI F., BRONZO V., PECILE A., 2015. Breed-specific fetal biometry and factors affecting the prediction of whelping date in the German shepherd dog. Animal Reproduction Science. Vol. 152, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.11.018>

- GUNN-MOORE D.A., THRUSFIELD M.V., 1995. Feline dystocia: prevalence, and association with cranial conformation and breed. *Veterinary Record*. Vol., 136, n°14, 350-353. <https://doi.org/10.1136/vr.136.14.350>
- HERMANSON J.W., EVANS H.E., LAHUNTA A., 2018. Prenatal development. In : Miller and Evans' *Anatomy of the Dog Fifth Edition*. Elsevier Health Sciences, 13-63.
- HOLLINSHEAD F.K., HANLON D.W., 2017. Factors affecting the reproductive performance of bitches: A prospective cohort study involving 1203 inseminations with fresh and frozen semen. *Theriogenology*. Vol. 101, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.06.021>
- INDREBÖ A., TRANGERUD C., MOE L., 2007. Canine neonatal mortality in four large breeds. *Acta Veterinaria Scandinavica*. Vol. 49, suppl. 1. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-S1-S2>
- KEISER R., PREICHLER IM., BALOGH O., 2017. Are foetal ultrasonographic and maternal blood progesterone measurements near parturition reliable predictors of the time of birth in the domestic cat?. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 52, n°3, 487-494. <https://doi.org/10.1111/rda.12939>
- KIM Y., TRAVIS A.J., MEYERS WALLEN V.N., 2007. Parturition prediction and timing of canine pregnancy. *Theriogenology*. Vol. 68, n°8, 117-1182. <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.theriogenology.2007.08.018>
- KULLINGER M., GRANFORS M., KIELER H., SKALKIDOU A., 2019. Adherence to Swedish national pregnancy dating guidelines and management of discrepancies between pregnancy dating methods: a survey study. *Reproductive Health*. Vol. 16. <https://doi.org/10.1186/s12978-019-0760-3>
- KUTZLER M.A., YEAGER A.E., MOHAMMED H.O., MEYERS WALLEN V.N., 2003. Accuracy of canine parturition date prediction using fetal measurements obtained by ultrasonography. *Theriogenology*. Vol. 60, n°7, 1309-1317. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00146-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00146-8)
- LENARD Z.M., HOPPER B.J., LESTER N.V., RICHARDSON J.L., ROBERTSON I.D., 2007. Accuracy of prediction of canine litter size and gestational age with ultrasound. *Australian Veterinary Journal*. Vol. 85, n°6, 222-225. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2007.00162.x>
- LEUNG T.N., PANG M.W., DALJIT S.S., LEUNG T.Y., POON C.F., WONG S.M., LAU T.K., 2008. Fetal Biometry in Ethnic Chinese: Biparietal Diameter, Head Circumference, Abdominal Circumference and Femur Length. *Ultrasound in Obstetric and Gynecology*. Vol. 31, n°3, 321-327. <https://doi.org/10.1002/uog.5192>
- LEVY X., FONTAINE E., SEGALINI V., FONTBONNE A., 2009. Elective Caesarean Operation in the Bitch Using Aglepristone Before the Pre-Partum Decline in Peripheral Progesterone Concentration. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 44, suppl. 2, 182-184. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01386.x>
- LIMMANONT C., PONGLOWHAPAN S., TANHAN P., SIRINARUMITR T., SIRINARUMITR K., 2019. Fetal Head Diameter in Dogs and Cats Measured by Radiography and Ultrasonography. *Thai Journal of Veterinary Medicine*. Vol. 49, n°2, 175-182. [https://www.researchgate.net/publication/338688129\\_Fetal\\_Head\\_Diameter\\_in\\_Dogs\\_and\\_Cats\\_Measured\\_by\\_Radiography\\_and\\_Ultrasonography](https://www.researchgate.net/publication/338688129_Fetal_Head_Diameter_in_Dogs_and_Cats_Measured_by_Radiography_and_Ultrasonography)
- LINDE-FOSBERG C., PERSSON G., 2007. A survey of dystocia in the Boxer breed. *Acta Veterinaria Scandinavica*. Vol. 49, 8. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-8>

- LOPATE C., 2008. Estimation of gestational age and assessment of canine fetal maturation using radiology and ultrasonography: A review. *Theriogenology*. Vol. 70, n°3, 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.05.034>
- LOPATE C., 2012. Assessment of fetal well-being and gestational age in the bitch and queen. In : *Management of Pregnant and Neonatal Dogs, Cats, and Exotic Pets*. John Wiley & Sons, Ltd, chap 5, 55-75. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1002/9781118997215.ch5>
- LUVONI G.C., GRIONI A., 2000. Determination of gestational age in medium and small size bitches using ultrasonographic fetal measurements. *Journal of Small Animal Practice*. Vol. 41, n°7, 292-294. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2000.tb03204.x>
- MAENHOUDT C., 2017. Dater une gestation à 1 jour près et diagnostiquer un prématuré. Congrès AFVAC (Association Française des Vétérinaires pour Animaux de Compagnie), 2017, Nantes, France, 3-6.
- MCLENNAN A.C., SCHLUTER P.J., 2008. Construction of modern Australian first trimester ultrasound dating and growth charts. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*. Vol. 52, n°5, 471-479. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1673.2008.01992.x>
- MILA H., GRELLET A., FEUGIER A., CHASTANT-MAILLARD S., 2015. Differential impact of birth weight and early growth on neonatal mortality in puppies. *Journal of Animal Science*. Vol. 93, n°9, 4436-4442. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8971>
- MIR F., BILLAULT C., FONTAINE E., SENDRA J., FONTBONNE A., 2001. Estimated Pregnancy Length from Ovulation to Parturition in the Bitch and its Influencing Factors: A Retrospective Study in 162 Pregnancies. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 46, n°6, 994-998. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01773.x>
- MORIYOSHI M., WAKI Y., NAKAO T., KAWATA K., 1995. Observation of the growth process of a beagle embryo and fetus by ultrasonography. *Journal of Veterinary Medicine Science*. 13 novembre 1995. Vol. 58, n°5, 443-445. <https://doi.org/10.1292/jvms.58.443>
- MÜNNICH A., KÜCHENMEISTER U., 2009. Dystocia in Numbers – Evidence-Based Parameters for Intervention in the Dog: Causes for Dystocia and Treatment Recommendations. *Reproduction of Domestic Animals*. Vol. 44, suppl. 2, 141-147. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01405.x>
- MUSTERS J., DE GIER J., KOOISTRA H.S., OKKENS A.C., 2011. Questionnaire-based Survey of Parturition in the Queen. *Theriogenology*. Vol. 75, n°9, 1596-1601. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.12.020>
- NAPOLITANO R., DHAMI J., OHUMA E.O., IOANNOU C., CONDE-AGUDELO A., KENNEDY S.H., VILLAR J., PAPAGEORGHIU A.T., 2014. Pregnancy dating by fetal crown-rump length: a systematic review of charts. *BJOG: an International Journal of Obstetrics & Gynaecology*. Vol. 121, n°5, 556-565: <https://doi.org/10.1111/1471-0528.12478>
- OKKENS A.C., HEKERMAN T.W., DE VOGEL J.W., VAN HAAFTEN B., 1993. Influence of litter size and breed on variation in length of gestation in the dog. *Veterinary*. Vol. 15, n°4, 160-161. <https://doi.org/10.1080/01652176.1993.9694397>
- PLACE N.J., WELDELE M.L., WAHAJ S.A., 2002. Ultrasonic measurements of second and third trimester fetuses to predict gestational age and date of parturition in captive and wild spotted hyenas *Crocuta crocuta*. *Theriogenology*. Vol. 58, n°5, 1047-1055. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)00937-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)00937-8)

- PONGLOWHAPAN S., BORIKAPPAKUL P., 2016. Physiological and technical factors affecting the accuracy of parturition date prediction by fetal biparietal diameter measurement using ultrasonography. Congrès ISCFR-EVSSAR (International Symposium on Canine and Feline Reproduction - European Veterinary Society for Small Animal Reproduction), Paris, France, 2016, 192.
- SALOMON L.J., DUyme M., CREQUAT J., BRODATY G., TALMANT C., FRIES N., ALTHUSER M., 2006. French Fetal Biometry: Reference Equations and Comparison With Other Charts. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. Vol. 28, n°2, 193-198. <https://doi.org/10.1002/uog.2733>
- SOCHA P., JANOWSKI T., 2011. Predicting the parturition date in yorkshire terrier and golden retriever bitches using ultrasonographic fetometry. *Bulletin of Veterinary Institute of Pulawy*. Vol. 55, 71-75. <http://www.piwet.pulawy.pl/bulletin/images/stories/pdf/20111/20111071076.pdf>
- SOCHA P., JANOWSKI T., 2014. Predicting the Parturition Date in Bitches of Different Body Weight by Ultrasonographic Measurements of Inner Chorionic Cavity Diameter and Biparietal Diameter. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 49, n°2, 292-296. <https://doi.org/10.1111/rda.12271>
- SOCHA P., JANOWSKI T., 2017. Comparison of three different fetometric formulas of ICC and BP for calculating the parturition date in a population of German Shepherd. *Theriogenology*. Vol. 95, 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.02.026>
- SOCHA P., JANOWSKI T., 2018. Specific fetometric formulas of ICC and BP for calculating the parturition date in the miniature breeds of canine. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 53, n°2, 545-549. <https://doi.org/10.1111/rda.13143>
- SOCHA P., JANOWSKI T., 2019. Development of specific fetometric formulas of ICC and BP for predicting the parturition date in Maine Coon queens. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 54, n°3, 622-626. <https://doi.org/10.1111/rda.13404>
- SOCHA P., RUDOWSKA M., JANOWSKI T., 2012. Effectiveness of determining the parturition date in bitches using the ultrasonographic fetometry as compared to hormonal and cytological methods. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. Vol. 15, n°3, 447-453. <https://doi.org/10.2478/v10181-012-0069-4>
- SOCHA P., JANOWSKI T., BANCERZ KISIEL A., 2015. Ultrasonographic fetometry formulas of inner chorionic cavity diameter and biparietal diameter for medium-sized dogs can be used in giant breeds. *Theriogenology*. Vol. 84, n°5, 779-783. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.05.012>
- SOCIÉTÉ CENTRALE CANINE (1990). Statistiques des inscriptions au Livre des Origines Français. <https://www.centrale-canine.fr/sites/default/files/2020-01/Statistiques%20LOF%201990.pdf>
- SOCIÉTÉ CENTRALE CANINE (2019). Statistiques des inscriptions au Livre des Origines Français. <https://www.centrale-canine.fr/sites/default/files/2020-01/Statistiques%20LOF%202019.pdf>
- SON C.H., JEONG K., KIM J.E., PARK I., KIM S., LEE C., 2001. Establishment of the Prediction Table of Parturition Day with Ultrasonography in Small Pet Dogs. *Journal of Veterinary Medical Science*. Vol. 63, n°7, 715-721. <https://doi.org/10.1292/jvms.63.715>
- SPARKES A.H., ROGERS K., HENLEY W.E., GUNN-MOORE D.A., MAY J.M., GRUFFYDD-JONES T.J., BESSANT C., 2006. A questionnaire-based study of gestation, parturition and neonatal mortality in pedigree breeding cats in the UK. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. Vol. 8, n°3, 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2005.10.003>

STANCZYK E., ANTONCZYK A., TWARDON J., NIZANSKI W., 2012. Comparison of Efficacy of Two Biometric Parameters for Prediction of the Parturition Date in Second Half of Pregnancy in the Bitch. Congrès ISCFR (International Symposium on Canine and Feline Reproduction), Whistler, Canada, 2012.

TAINTURIER D., 2005. Examen échographique de l'appareil reproducteur femelle. In CHETBOUL V. et al., Echographie et Doppler du Chien et du Chat – Thorax, Abdomen, Œil, Système nerveux ; Atlas en couleur. 2<sup>nd</sup> éd., Elsevier Masson. 375-421. 2-294-02150-9

TOPIE E., BENCHARIF D., BRIAND L., TAINURIER D., 2015. Monitoring the foetal phase of gestation in the queen with a 12.5-MHz ultrasound probe and prediction of the parturition by combining the measurements of head and abdominal diameters. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 50, n°4, 560-566. <https://doi.org/10.1111/rda.12523>

TSUTSUI T., SHIMIZU T., 1975. Studies on the reproduction in the dog. IV. On the fertile period of ovum after ovulation. *Japanese Journal of Animal and Reproduction*. Vol. 21, 65-69.

VERBURG B.O., STEEGERS E.A.P., DE RIDDER M., SNIJDERS R.J., SMITH E., HOFMAN A., MOLL H.A., JADDOE V.W.V., WITTEMAN J.C.M., 2008. New charts for ultrasound dating of pregnancy and assessment of fetal growth: longitudinal data from a population-based cohort study. *Ultrasound Obstetrics and Gynecology*. Vol. 31, 388-396. 10.1002/uog.5225

VERONESI MC. The concept of readiness for birth: what about the dog?. Congrès EVSSAR (European Veterinary Society for Small Animal Reproduction), Venice, Italie, 2018, 82-87.

YEAGER A.E, MOHAMMED H.O., MEYERS WALLEN V., VANNERSON L., CONCANNON P.W., 1992. Ultrasonographic appearance of the uterus, placenta, fetus, and fetal membranes throughout accurately timed pregnancy in beagles. *American Journal of Veterinary Research*. Vol. 53, 342-351.

ZAMBELLI D., CASTAGNETTI C., BELLUZZI S., BASSI S., 2002. Correlation between the age of the conceptus and various ultrasonographic measurements during the first 30 days of pregnancy in domestic cats (*Felis catus*). *Theriogenology*. Vol. 57, 1981-1987. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.02.009>

ZAMBELLI D., CASTAGNETTI C., BELLUZZI S., PALADINI C., 2004. Correlation between fetal age and ultrasonographic measurements during the second half of pregnancy in domestic cats (*Felis catus*). *Theriogenology*. Vol. 62, n°8, 1430-1437. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.02.009>





## **LISTE DES ANNEXES**

**ANNEXE 1** : Tableau rassemblant les études sur la biométrie embryonnaire et fœtale chez la chienne

**ANNEXE 2** : Tableau rassemblant les études sur la biométrie embryonnaire et fœtale chez la chatte

**ANNEXE 3** : Arbre de décision pour les chiennes

**ANNEXE 4** : Arbre de décision pour les chattes



## **ANNEXE 1 : Etudes sur la biométrie embryonnaire et fœtale chez la chienne (n = 26)**

*BD : Diamètre abdominal*

*BP : Diamètre bipariétal*

*CRL : Longueur de l'embryon*

*DBP : Nombre de jours restants avant la mise-bas*

*DG : Jour de la gestation*

*DPTV : Portion profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique*

*FL : Longueur du fémur*

*GD : Diamètre de l'estomac*

*HDF : Diamètre du cœur du fœtus*

*ICC : Diamètre interne de la cavité chorionique*

*MB : Mise-bas*

*ODUH : Diamètre externe de la corne utérine*

*PL : Longueur du placenta*

*PT : Epaisseur du placenta*

Auteurs	Année	Nombre de chiennes	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chiennes précisé	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesuré(s)	Nombre de fœtus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
England GCW Allen WE Porter D)	1990	50	Grand (22-30 kg)	2 Labrador Golden Retriever	145 à MB	Non	Non	BP BD GD PT CRL ICC	Un maximum	Non	DG	Linéaires multiples	P
Yeager AE Mohammed HO Meyers-Wallen V Yannerson L Concannon PW	1992	8	Moyen (10-25 kg)	1 Beagle	120 à 160	Non	Non	CRL BP BD PL ODUH	Non précisé	Non	DG	Linéaires simples	Non précisé
Moriyoshi M Waki Y Nakao T Katawa K	1995	6	Petit (7-9 kg)	1 Beagle	130 à 160	Oui 1 - 2 ans	Oui 3 - 11	BD HD HDF	≥3	Non	DG	Polynome de 2 <sup>nd</sup> degré	P et R <sup>2</sup>
Luvoni GC Crioni A	2000	75 7 : équations (I) 68 : évaluer précision (II)	Petit (3-8 kg) Moyen (15-30 kg)	2 Golden Retriever x Setter Irlandais (4 (I) et 35 (II)) Jack Russel Terrier (3 (I) et 33 (II))	123 à 164 Précoce (123-144) Tardive (128-164)	Oui 2 - 6.5 ans	Non	ICC PT ODUH BP	≥2	Non	DBP	Linéaires simples	Pourcentage à MB ± 1 jour
Son CH Jeong K Kim JE Park I Kim S Lee C	2001	46 18 : équations (I) 28 : évaluer précision (II)	Petit (1.7 - 3.6 kg)	2 Bichon Maltais (23 : 8 (I) et 15 (II)) Yorkshire Terrier (23 : 10 (I) et 13 (II))	120 post-ovulation à MB Précoce (120-137) Tardive (>137)	Non	Non	ICC PL ODUH BP BD CRL	Non précisé	Non	DG	Linéaires simples	Corrélation P et R <sup>2</sup> Pourcentage à jour exact et MB ± 1 jour

Auteurs	Année	Nombre de chiennes	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chiennes précisé	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesuré(s)	Nombre de fœtus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
Kutzler MA Yeager AE Mohammed HO Meyers Wallen VN	2003	83 I : 21 II : 16 III : 29 IV : 17	Petit (<9 kg) (I) Moyen (9-20 kg) (II) Grand (20-40 kg) (III) Géant (>40 kg) (IV)	32	J20 à J62	Non	Oui 1 - 14	ICC CRL BD BP	2 (1 si un seul fœtus)	Oui Taille de la portée Format racial Période de gestation	DG		Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Beccaglia M Luvoni GC	2004	7 4 (I) et 3 (II)	Petit (5-10 kg) Moyen (10-25 kg)	Multi- raciale Jack Russel (I) Races croisées (II)	J18 à MB	Non	Non	ICC BP DPTV	Non précisé	Non	DBP	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Beccaglia M Luvoni GC	2005	95	Petit (<10 kg) Moyen et Grand (11-40 kg)	Non précisé	J35 à J57	Non	Non	BP DPTV	Non précisé	Non	DG et DBP		Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Beccaglia M Luvoni GC	2006	134 I : 57 II : 77	Petit (<10 kg) (I) Moyen (11-40 kg) (II)	Non précisé	J20 à MB	Non	Oui ≈ 4,3 ± 1,6 (I) ≈ 7,1 ± 2,4 (II)	ICC BP	>2	Oui Taille de la portée Proportion mâles/femelles	DBP		Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Lenard ZM Hopper BJ Lester NV Richardson JL Robertson ID	2007	76 I : 24 II : 6 III : 46	Petit (<10 kg) (I) Moyen (10-20 kg) (II) Grand (>20 kg) (III)	19	J20 à J62	Non	Oui 2 - 10 (I) 6 - 9 (II) 1 - 12 (III)	BD BP	2	Oui Taille de la portée Format racial Période de gestation	DG		Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours

Auteurs	Année	Nombre de chiennes	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chiennes précis	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesuré(s)	Nombre de fœtus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
Beccaglia M Faucini M Luvoni GC	2008	107 7 : équations (I) 100 : évaluer précision (II)	Petit ( $\leq 10$ kg) (II) Moyen (11-25 kg) (13) (II) Grand (26-40 kg) (7 (I) et 41 (III))	Non précisé	J35 à J58	Non	Oui 1 - 10	DPTV	$\geq 2$	Oui Taille de la portée Proportion mâles/femelles	DG	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Pourcentage à MB $\pm 1$ jour et $\pm 2$ jours
Lopate C	2008	Inconnu	Petit ( $< 10$ kg) Moyen (11-25 kg) Grand (26-40 kg)	Non précisé	J19 post-LH à MB	Non	Non	ICC DPTV OUDH BP BD	$\geq 2$	Non	DG et BPD		Pourcentage à MB $\pm 1$ jour et $\pm 2$ jours
Socha P Janowski T	2011	19 10 (I) et 9 (II)	Petit ( $< 10$ kg) Grand (25-40 kg)	2 Yorkshire Terrier (I) Golden Retriever (II)	J25 à J65 Précoce (J25-J40) Tardive (J40-J65)	Non	Oui I : 2 - 6 II : 5 - 9	ICC BP	$\geq 2$	Non	DBP	Linéaires simples	Pourcentage à MB $\pm 1$ jour et $\pm 2$ jours
Socha P Rudowska M Janowski T	2012	6	Petit et Moyen (7-24 kg)	Croisés	J20 à MB Précoce (J20-J35 post-ovulation) Tardive ( $> J30$ )	Oui 3 - 4 ans	Non	ICC BP	Non précisé	Non	DG et DBP		Pourcentage à MB $\pm 1$ jour et $\pm 2$ jours
Stanczyk E Antonczyk A Twardon J Nizanski W	2012	18 I : 9 II : 9	Petit ( $< 10$ kg) (I) Moyen (10-30 kg) (II)	Multi-races	J37 à J59	Oui 2 - 8 ans	Non	BP BD	$\geq 2$	Oui Période de gestation	DG et DBP		Pourcentage à MB $\pm 1$ jour et $\pm 2$ jours

Auteurs	Année	Nombre de chiennes	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chiennes précisés	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesuré(s)	Nombre de fœtus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
Beccaglia M Luvoni GC	2012	Inconnu	Petit (<10 kg) Moyen (10-30 kg)	Non précisé	J28 à J65 Précoce (semaine 4-5) Tardive (semaine 5-9)	Non	Non	ICC BP	≥2	Oui Période de gestation	DBP		Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Socha P Janowski T	2014	70 I : 18 II : 15 III : 26 IV : 11	Petit (<10kg) (I) Moyen (10-25 kg) (II) Grand (25-40 kg) (III) Géant (>40 kg) (IV)	27	J22 à J62 Précoce (J22-J38) Tardive (J40-J62)	Oui 2 - 8 ans	Oui <10kg : 2 - 9 >10kg : 5 - 9	ICC BP	≥2	Non	DBP		Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Groppetti D Vegetti F Bronzo V Pecile A	2015	62 40 : équations 22 : évaluer précision	Grand (23 - 36 kg)	1 Berger allemand	J20 à J54 Précoce (J23-J39) Tardive (J40-MB)	Oui 1.5 - 10 ans	Oui 1 - 12	ICC BP	2 (1 si un seul fœtus)	Oui Taille de la portée Age de la mère Poids de la mère	DG	Linéaires simples	Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Socha P Janowski T Bancarz Kisiel A	2015	24	Géant (>40 kg)	12 Non brachycéphales	J23 à J59 Précoce (J23-J35) Tardive (J36-J59)	Oui 3 - 8 ans	Oui 5 - 9	ICC BP	≥2	Non Période de gestation	DBP	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Feliciano M Maciel G Coutinho L Almeida V Uscategui R Vicente W	2015	25 I : 5 II : 15 III : 5	Petit (<10 kg) Moyen (10-25 kg)	3 Brachycéphales Carlin (I) Shih Tzu (II) Bouledogue Anglais (III)	Toute la gestation	Oui 4 - 6 ans	Oui ≈ 4	BP BD FL PT HDF LD	Non précisé	Non	DG	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours



Auteurs	Année	Nombre de chiennes	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chiennes précisée	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesuré(s)	Nombre de fœtus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
Alonge S Beccaglia M Melandri M Luroni GC	2016	17 I : 8 II : 9	Grand (26-40 kg) (I) Géant (>40 kg) (II)	8 Berger de Bergame Boxer Dobermann Berger Allemand Bobtail Grand Danois Bouvier Bernois Terre-Neuve	]23 à ]64 Précoce (]23-]40) Tardive (]30-]64)	Oui 2 - 8 ans	Oui <5 - >9	ICC BP	≥3	Oui Taille de la portée Proportion mâles/femelles	DG	Linéaires simples	P et R: <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Alonge S Beccaglia M Luroni GC	2016	32 I : 8 II : 8 III : 8 IV : 8	Petit (<10 kg) (I) Moyen (10-25 kg) (II) Grand (25-40 kg) (III) Géant (>40 kg) (IV)	Non brachycéphales	Non Non précisé	Non	Non	ICC BP	≥2	Oui Poids de la mère	DG	Linéaires multi-variées	P et R: <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Cecchetto M Milani C Vencato J Sonstas H Mollo A Contiero E Romagnoli S	2017	25 20 : équations 5 : évaluer précision	Grand (28-40 kg)	1 Berger Allemand	]21 à MB Précoce (]21-]28) Tardive (]29-]48)	Oui 2 - 7 ans	Non	BD CRL DPTV ICC BP	≥2	Oui Période de la gestation Taille de la portée	DBP	Linéaires simples	P et R: <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Socha P Janowski T	2017	34	Grand (28 - 39 kg)	1 Berger Allemand	]23 à ]61 Précoce (]23-]38) Tardive (]37-]61)	Oui 3 - 7 ans	Oui 5 - 9	ICC BP	≥2	Non	DG et DBP		Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours



Auteurs	Année	Nombre de chiennes	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chiennes précis	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesuré(s)	Nombre de fœtus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
Socha P Janowski T	2018	24	Miniature (<5 kg)	6 Yorkshire Terrier Bichon Maltais Teckels à poils courts Teckels à poils durs Shih Tzu Chihuahua	J23 à J61 Précoce (J23-J38) Tardive (J37-J61)	Oui 2 - 7 ans	Oui 2 - 6	ICC BP	≥2	Non	DBP	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup>
Cuevas M	2019	150 70 Brachycéphales 80 Non brachycéphales	Miniature (<5 kg) Petit (5-10 kg) Moyen (10-25 kg) Grand (25-40 kg) Géant (>40 kg)	57	Gestation tardive	Oui ≈ 3.3 ans	Oui 2 - 12	BP	≥2	Oui Taille de la portée Proportions mâles/femelles	DBP	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Intervalle de confiance à 95%

## **ANNEXE 2 : Etudes sur la biométrie embryonnaire et fœtale chez la chatte (n = 11)**

*BD : Diamètre abdominal*

*BP : Diamètre bipariétal*

*CRL : Longueur de l'embryon*

*DBP : Nombre de jours restants avant la mise-bas*

*DG : Jour de la gestation*

*DPTV : Portion profonde de la vésicule diencéphalo-téleencéphalique*

*FL : Longueur du fémur*

*GD : Diamètre de l'estomac*

*HD : Diamètre de la tête*

*HDF : Diamètre du cœur du fœtus*

*ICC : Diamètre interne de la cavité chorionique*

*MB : Mise-bas*

*ODUH : Diamètre externe de la corne utérine*

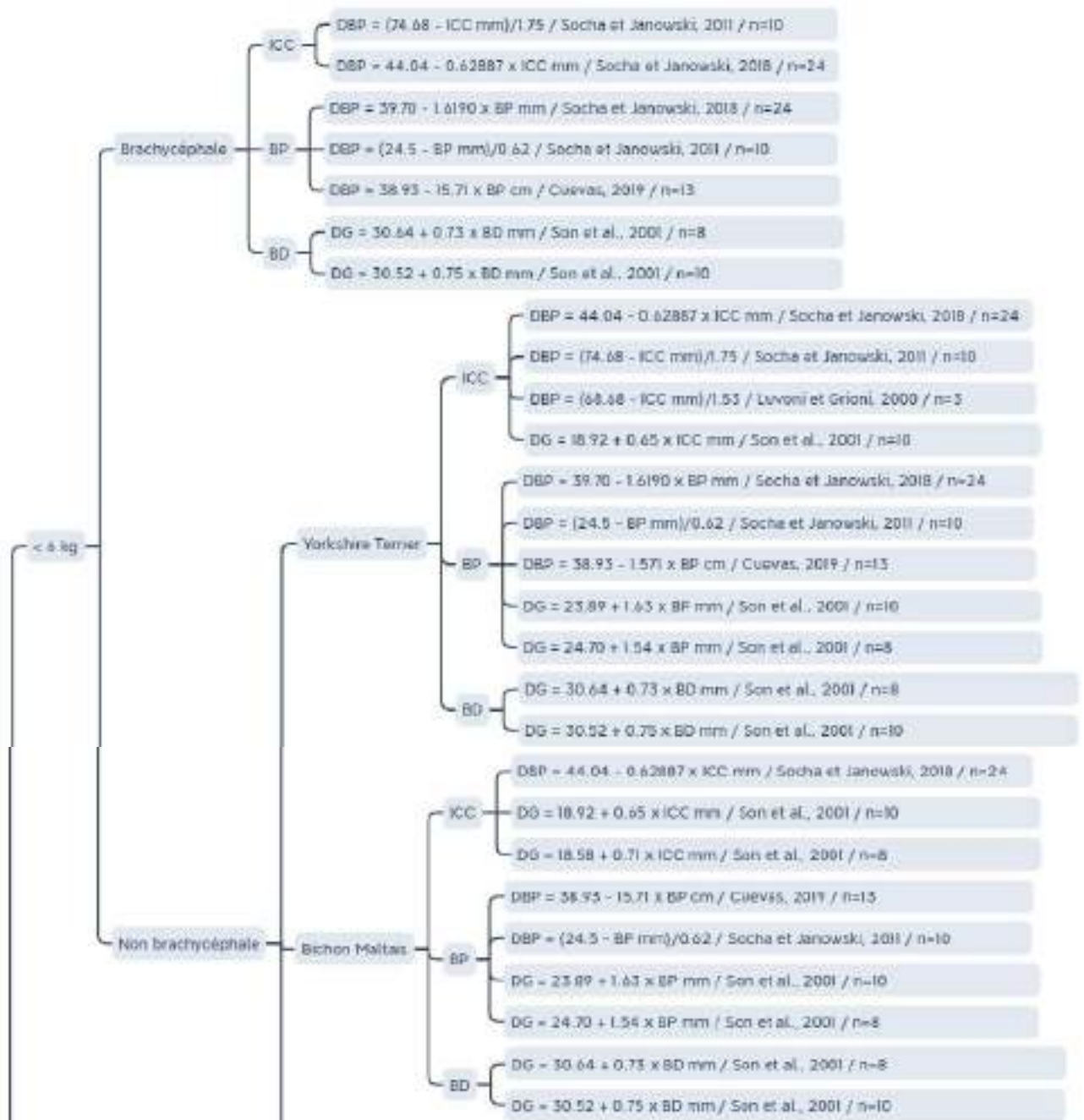
*PL : Longueur du placenta*

*PT : Epaisseur du placenta*

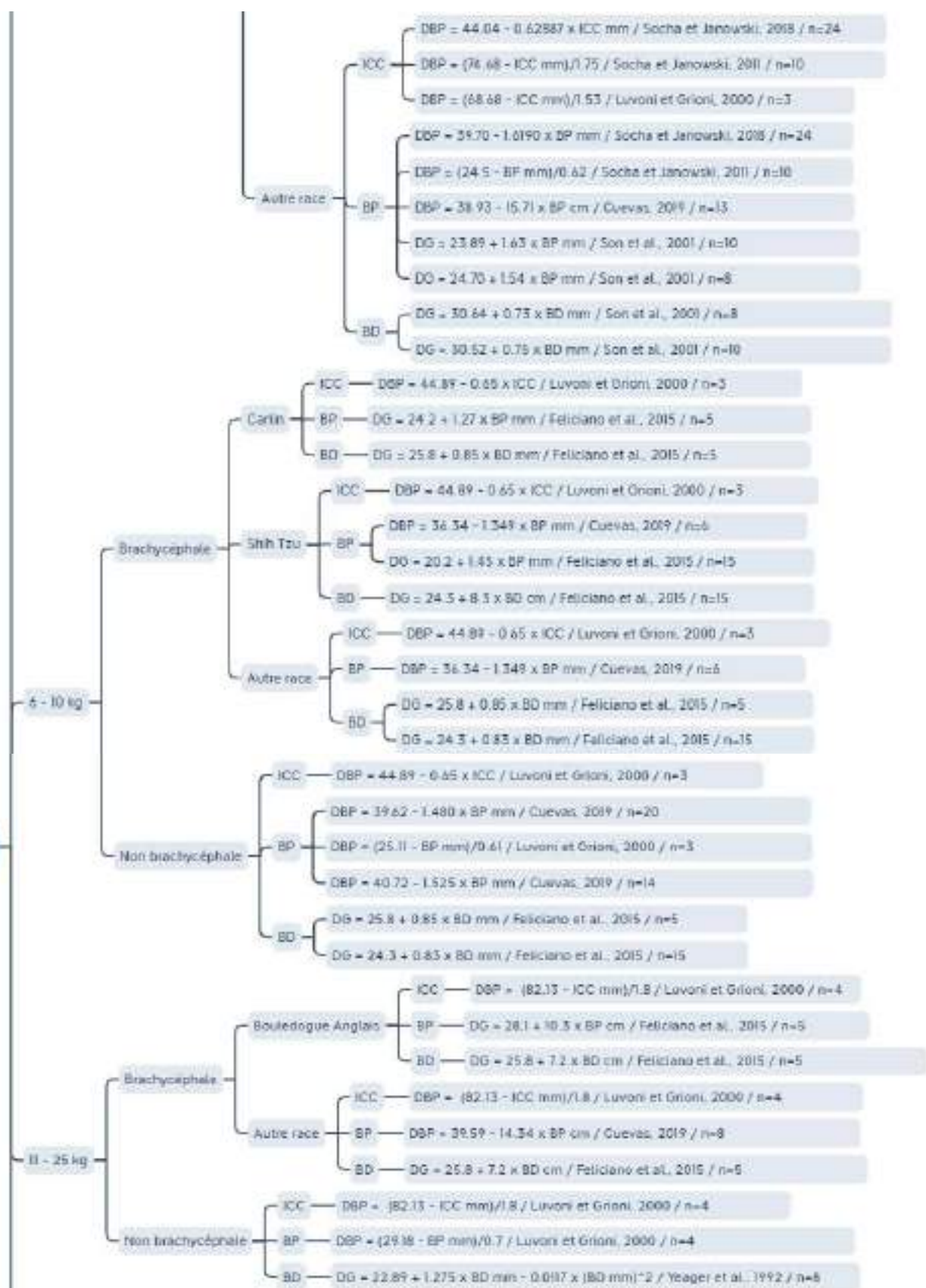
Auteurs	Année	Nombre de chats	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chattes précisée	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesure(s)	Nombre de foetus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
Beck KA Baldwin CJ Bosu WTK	1990	5	Non précisé	Non précisé	J27 à MB	Non	Oui Moyenne de 4 chatons	BD HD	1	Non	DBP	Linéaires simples	Pourcentage à MB $\pm$ 1 jour et $\pm$ 2 jours
Zambelli D Castagnetti C Belluzzi S Bassi S	2002	12	Moyen (3 - 3,5 kg)	Non précisé	J10 - J30	Oui 2 - 5 ans	Oui 3 - 5	ICC ODUH CRL	$\geq$ 2	Non	DG	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup>
Zambelli D Castagnetti C Belluzzi S Paladini C	2004	8	Moyen (3 - 3,5 kg)	Non précisé	J30 à J60	Oui 2 - 5 ans	Oui 3 - 5	BP BD GD	$\geq$ 2	Non	DG	Exponentielle	R <sup>2</sup>
Blaise A	2006	5	Tous formats	Abyssin Persan Bengal Burmilla	J17 à MB	Oui 2 - 3 ans	Oui 3 - 5	BP BD	Non précisé	Non	DBP	Linéaires simples	R <sup>2</sup>
Beccaglia M Anastasia P Grimaldi E Rota A Faustini M Luvoni GC	2008	7	Tous formats (3-4,5 kg)	2 Norvégien Européen	2 <sup>ème</sup> moitié	Oui 1 - 4 ans	Non	BP DPTV	Non précisé	Non	DBP	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Pourcentage à MB $\pm$ 1 jour et $\pm$ 2 jours
Beccaglia M Luvoni GC	2012	60	Moyen (3 - 5 kg)	Non précisé	J28 à MB	Non	Non	ICC BP	$\geq$ 2	Oui Période de gestation	DBP		Pourcentage à MB $\pm$ 1 jour et $\pm$ 2 jours

Auteurs	Année	Nombre de chattes	Format racial	Race(s)	Période de gestation	Age des chattes précisée	Taille des portées précisée	Paramètre(s) mesure(s)	Nombre de fœtus mesurés par gestation	Facteurs de variation pris en compte	Mode de calcul	Type d'équation	Niveau de précision
Gatel L Rault D Chalvet- Monfray K Saunders J Bluffs S	2014	24	Tous formats (2,7 – 5,8 kg)	11 Norvégien Maine Coon Bengal Chausie Chartreux Siberien Chat de Birmanie Turc de Van	J30 à MB	Oui 8 mois – 6 ans	Oui Moyenne de 3,94 ± 1,8 chatons	BP FL	Tous les fœtus	Oui Taille de la portée Race Poids de la mère Age de la mère Rang de gestation Hauteur au garrot	DBP	Linéaires simples et multiples	R <sup>2</sup> et P Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Topie E Bencharif D Briand L Tainturier D	2015	6	Non précisé	1 Domestique	J28 post-accouplement à MB	Oui 1 – 8 ans	Non	HD BD	Non précisé	Non	DBP	Linéaires simples	R <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Garcia Miracek MC Stornelli MC Prediero RG De La Sora RL Stornelli MA	2015	16	Moyen (2 – 4 kg)	Races croisées 7	J21 post-accouplement à MB	Oui 2 – 3 ans	Oui Moyenne de 3,1 ± 0,23 chatons	GSD CRL HD BD	Non précisé	Oui Période de gestation	DC	Polynômes de 2 <sup>nd</sup> degré	Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Keiser R Freichler IM Balogh O	2017	24	Tous formats (3,1 – 7,4 kg)	Domestique Européen Bengal Maine Coon Birmanie Norvégien Egyptian Mau	5 derniers jours	Oui 0,8 – 8,5 ans	Oui 1 – 7	BP BD Yeux	1 – 4	Oui Taille de la portée Période de gestation	DBP	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Pourcentage à MB ± 1 jour et ± 2 jours
Socha P Janowski T	2019	23	Grand (4,5 – 7,6 kg)	1 Maine Coon	J8 à J61	Oui 1 – 6 ans	Oui 3 – 8	ICC BP	≥ 2	Non	DBP	Linéaires simples	P et R <sup>2</sup> Intervalle de prédiction et de confiance à 95%

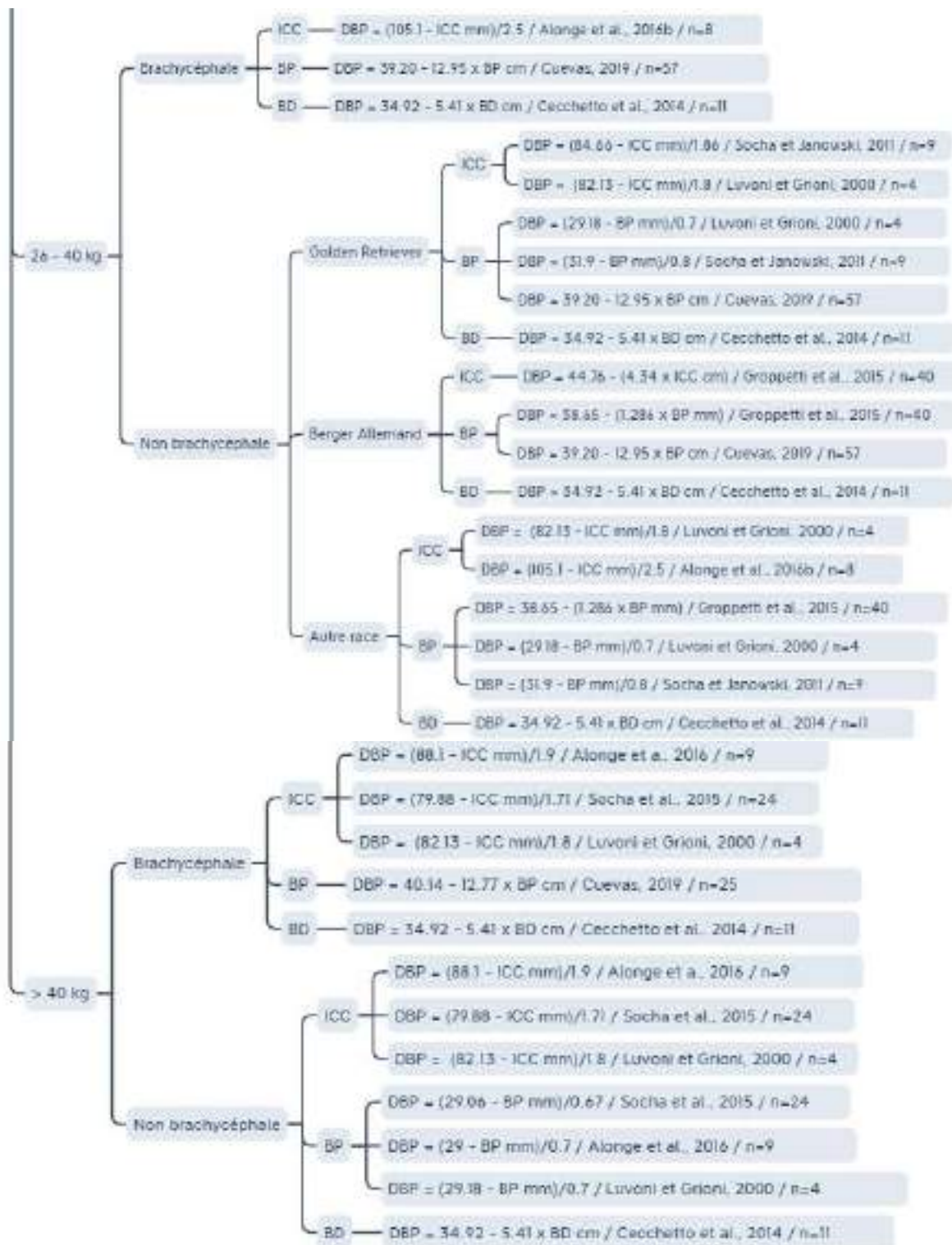
## ANNEXE 3 : Arbre de décision pour les chiennes



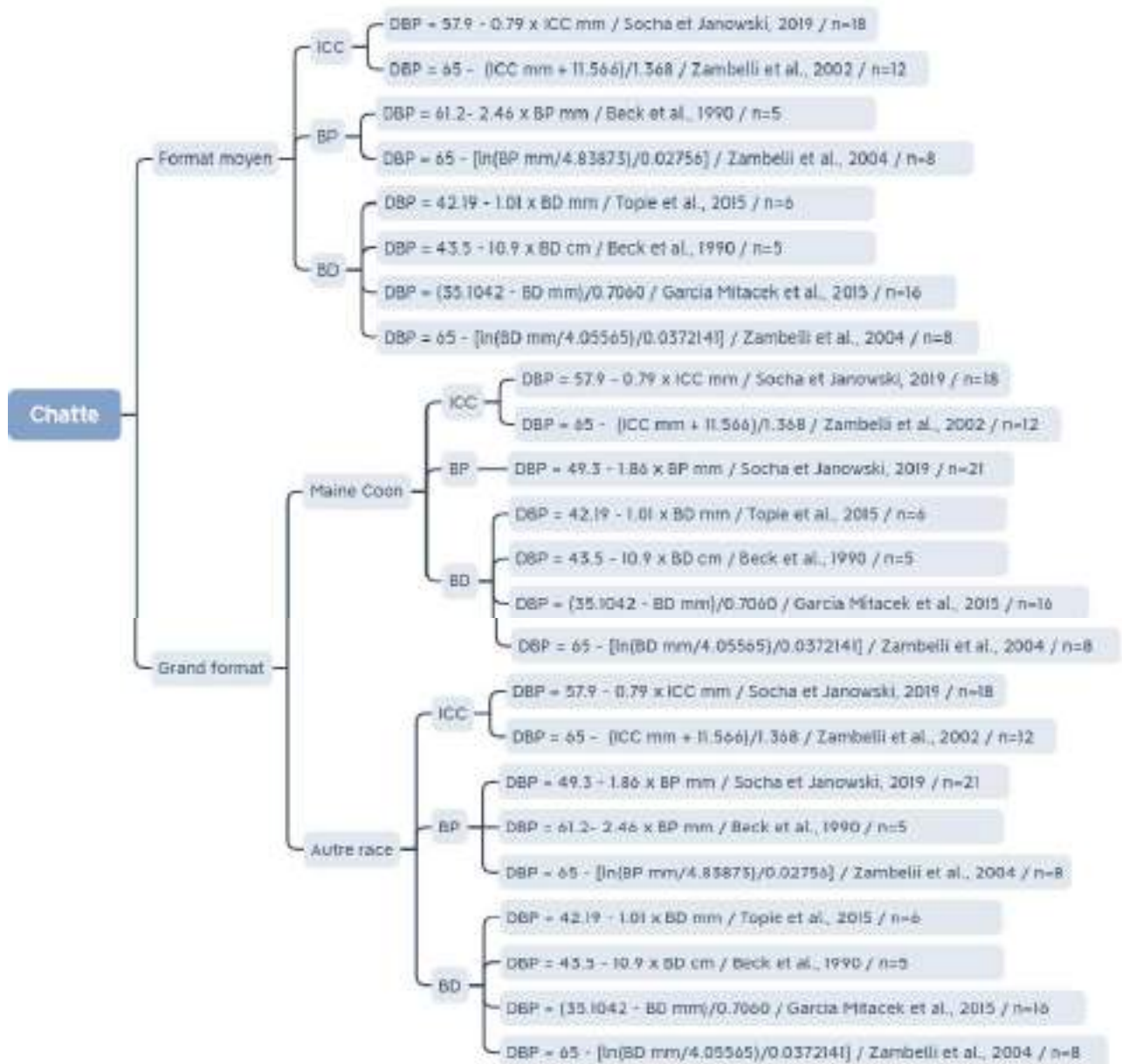
Chienne







## ANNEXE 4: Arbre de décision pour les chattes







**AUTEUR** : CLOCHARD Sarah

**Mise au point d'un outil de calcul automatisé de la date de mise-bas chez la chienne et la chatte à partir des données de la littérature.**

L'objectif de cette étude était de mettre au point un outil de calcul automatisé de prévision de la date de mise-bas chez les chiennes et les chattes, à l'aide des données disponibles de la littérature. La méthode de datation de la gestation choisie était celle de la biométrie embryonnaire ou fœtale par échographie. Au total, 26 études chez la chienne et 11 études chez la chatte ont été rassemblées, portant sur le développement de nouvelles formules biométriques ou sur l'évaluation de la fiabilité de celles-ci. Les paramètres embryonnaires et fœtaux identifiés comme étant les plus précis étaient le diamètre interne de la cavité chorionique, le diamètre bipariétal et le diamètre abdominal. Une étude comparée des différents modèles a mis en évidence l'intérêt d'utiliser des formules adaptées au format et parfois à la race des femelles, ainsi qu'à la forme du crâne chez la chienne (brachycéphalie ou non). Les autres facteurs influençant la précision de prédiction des modèles étaient la taille de la portée et la période de gestation. L'outil de calcul développé dans ce travail prend en compte l'espèce, le format, la race et la forme du crâne des femelles et permet de calculer automatiquement le nombre de jours restants avant la parturition, en fonction des mesures obtenues.

GESTATION - MISE-BAS - PARTURITION - BIOMÉTRIE - ÉCHOGRAPHIE - CHIENNE - CHATTE - DATATION - DETERMINATION - PRÉDICTION - OUTIL NUMERIQUE

**Development of an automated instrument to predict the parturition date in bitches and queens, using data from scientific literature.**

The aim of this study was to develop an automated tool to predict the parturition date in bitches and queens, from available data from scientific literature. Embryo or foetal biometry was the method used to date the number of days before parturition. 26 papers about bitches and 11 papers about queens, that worked on developing new formulas or evaluating accuracy of previous formulas, were compiled. The most accurate parameters identified were the inner chorionic cavity diameter, biparietal diameter and body diameter. A comparative study of the available formulas shown the need to use specific equations depending on the size and sometimes the breed of the female, also depending on the shape of the head for bitches. Other traits influencing the accuracy of prediction was the litter size and the time of gestation. The instrument established during this work takes the specie, the size, the breed and the shape of the skull into consideration and automatically estimates the number of days before parturition, using the measurements.

GESTATION - PARTURITION - WHELPING - BIOMETRY - ULTRASOUND - BITCH - QUEEN - DATING - DETERMINATION - PREDICTION - TOOL