

République Algérienne Démocratique  
et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
المدرسة الوطنية العليا للبيطرة



## THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat Es-Sciences  
En Sciences Vétérinaires

### Thème :

**Les différentes techniques d'induction de l'œstrus et  
de l'ovulation et l'intérêt de l'échographie doppler  
pour la gestion de la reproduction chez la jument de  
race locale Arabe-Barbe**

Présentée par : **MEBARKI Mounir**

Soutenue le : **09/07/2019**

Les membres du jury :

Président	: <b>AIT-LOUDHIA Khatima</b>	Prof	(ENSV Alger)
Directeur de thèse	: <b>KAIDI Rachid</b>	Prof	(ISV Blida1)
Examineur	: <b>LAFRI Mohamed</b>	Prof	(ISV Blida1)
Examineur	: <b>KHELEF Djamel</b>	Prof	(ENSV Alger)
Examineur	: <b>MIMOUNE Nora</b>	MCA	(ENSV Alger)
Examineur	: <b>KHIATI Baghdad</b>	MCA	(ISV Tiaret)

Année universitaire : 2018/2019

# Remerciements

**Je tiens à remercier tout particulièrement monsieur le Professeur  
KAIDI Rachid,**

*De l'Institut des Sciences Vétérinaires de Blida1,*

D'avoir dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, pour ses conseils pertinents, judicieux, son attention et sa patience, qui m'a orienté et m'a largement aidé.

Sincères remerciements.

**À Madame le Professeur AIT-LOUDHIA Khatima,**

*De l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger,*

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Pour sa gentillesse et sa très grande disponibilité.

Mes hommages les plus respectueux.

**À Monsieur le Professeur LAFRI Mohamed,**

*De l'Institut des Sciences Vétérinaires de Blida1,*

Qui a accepté de participer à notre jury de thèse.

Pour son aide précieuse, ses conseils avisés et son optimisme.

Qu'il trouve ici l'expression de mon respect et de ma reconnaissance.

**À Monsieur le Professeur KHELEF Djamel,**

*De l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger,*

Qui nous a fait l'honneur de faire partie de notre jury de thèse.

Sincères remerciements.

**À Madame le Docteur MIMOUNE Nora,**

*De l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire d'Alger,*

Qui nous a fait l'honneur d'examiner notre travail.

Sincères remerciements.

**À Monsieur le Docteur KHIATI Baghdad,**

*De l'Institut des Sciences Vétérinaires de Tiare,*

Qui nous a fait l'honneur de juger notre travail.

Sincères remerciements.

## DEDICACES

*Je dédie cet humble travail à:*

*Nos 1,5 millions de martyrs, qui ont donné leur vie pour nous  
accorder la liberté et l'Indépendance.*

*Gloire à nos valeureux martyrs !!!*

*A mes parents, sans qui l'enfant que j'étais ne serait pas devenu  
l'homme que je suis. C'est avec émotion qu'à mon tour je leur dévoile  
le fruit de mes efforts. J'espère être à la hauteur de leur fierté  
inconditionnelle.*

*Vous m'avez tant apporté.*

*Je vous remercie de m'avoir soutenu et aidé depuis toujours.*

*Je vous aime tant !!*

*A ma chère femme pour son soutien moral ininterrompu, pour sa  
compréhension et son soutien et pour l'aide qu'elle m'a apportée le long  
de ma thèse.*

*Un grand merci !*

*A mes enfants chéris SARA, RAYANE, TAKIEDDINE et  
MOHAMED MAHDI*

*A mes sœurs, frères, nièces et neveux*

*A toutes et tous, un grand merci.*

# RESUME

## Résumé :

L'Arabe-Barbe, la principale race chevaline en Algérie, demeure inconnu en termes de la morphologie et de la fonction reproductive. L'objectif de cette étude était, d'une part, de montrer la variabilité des caractères morphométriques externes des chevaux Arabe-Barbes élevés dans quatre régions de l'Algérie et d'autre part, d'évaluer :

- ❖ L'intérêt du traitement hormonal par la progestérone (PRID<sup>®</sup> delta) comme un moyen d'induction et de synchronisation des chaleurs chez la jument en anœstrus.
- ❖ L'intérêt de l'échographie doppler couleur comme une méthode:
  - ✓ de détermination du moment de l'ovulation chez la jument.
  - ✓ d'évaluation de la fonction sécrétoire du corps jaune.
  - ✓ de détermination du sexe du fœtus.

Les résultats de la morphométrie de cette étude ont révélé que la population d'ABA (Arabe-Barbe Algérien) pourrait être classée en trois groupes, en se basant sur les caractéristiques morphométriques et la répartition géographique, (i) les chevaux de grande taille dans les plaines littorales, (ii) les chevaux de taille moyenne dans les hauts plateaux et les zones bordant le désert et (iii) les chevaux de petite taille dans les régions montagneuses. De plus, ces résultats ont montré que le cheval ABA est un cheval Médioligne avec un format eumétrique.

Les résultats du traitement hormonal ont confirmé l'effet bénéfique de PRID<sup>™</sup> pour la synchronisation œstrale. Cependant, l'utilisation de ce traitement pour la synchronisation des ovulations, particulièrement en hiver n'était pas satisfaisante ( $P < 0,05$ ).

Les résultats de l'échographie doppler ont dévoilé que (i) le suivi folliculaire par échographie Doppler pourrait améliorer le pronostic de l'ovulation chez la jument en améliorant la prédiction de l'ovulation donnée par l'échographie classique ( $p < 0,05$ ).

(ii) le flux sanguin est plus indicatif de l'activité lutéale ( $0,57$  ;  $p < 0,001$  ) que la taille du corps jaune ( $0,21$  ;  $p > 0,05$ ).

(iii) la détermination du sexe fœtal par l'échographie Doppler transrectale était une technique efficace au stade gestationnel précoce (57-70 jours) et au stade gestationnel tardif (90-120 jours).

**Mots clés:** cheval Arabe-Barbe, échographie-Doppler, progestérone, follicule, corps jaune, sexage.

## Abstract

### Abstract:

The Arab-Barb, the main horse breed in Algeria, remains unknown in terms of morphology and reproductive function. The objective of this study is, firstly, to show the external morphometric characters variability of Arab-Barb horses raised in four regions of Algeria and on the other hand, to evaluate:

- ❖ The interest of hormone treatment with progesterone (PRID<sup>®</sup> DELTA) as a means of heat induction and synchronization in anestrus mares.
- ❖ The interest of color Doppler ultrasound as a method allowing:
  - ✓ The determination of the moment of ovulation in the mare.
  - ✓ The evaluation of the secretory function of the corpus luteum.
  - ✓ The determination of the gender of the fetus.

The morphometric results of this study revealed that the AAB (Algerian Arab-Barb) population could be classified into three groups, based on morphometric characteristics and geographical distribution, (i) horses with large size in coastal plains, (ii) horses with average size in high tablelands and areas bordering the desert, and (iii) small horses in mountainous areas. In addition, these results showed that the AAB horse is a Medioline horse with a eumetric format.

The results of the hormonal treatment confirmed the beneficial effect of PRID<sup>™</sup> for estrus synchronization. However, the use of this treatment for ovulation synchronization, especially in winter, was not satisfactory ( $P < 0.05$ ).

The Doppler ultrasound results revealed that (i) follicular follow-up by Doppler ultrasound could improve ovulation prognosis in the mare by improving the prediction of ovulation given by classic ultrasound ( $p < 0.05$ ).

(ii) the blood flow is more indicative of luteal activity (0.57,  $p < 0.001$ ) than the size of the corpus luteum (0.21,  $p > 0.05$ ).

(iii) fetal gender determination by transrectal Doppler ultrasound was an effective technique at the early gestational (57-70 days) and late gestational (90-120 days) stage.

**Key words:** Arab-Barb horse, Doppler Ultrasound, Progesterone, Follicle, Corpus Luteum, Sexing.

## ملخص

### ملخص:

تعتبر سلالة الحصان العربي-البربري الأكثر انتشاراً في الجزائر، إلا أنها و رغم أهميتها تبقى مجهولة لدى الكثيرين خاصة من الناحية المورفولوجية (الشكلية) و الوظيفة التكاثرية. الهدف من هذه الدراسة هو ، أولاً إظهار التباين في الخصائص المورفومترية الخارجية وفقاً للتوزيع الجغرافي لاماكن تربية هذه السلالة في الجزائر ومن ناحية أخرى ،تقييم: أهمية العلاج الهرموني بالبروجسترون® PRID كوسيلة لتحريض و تزامن الشبق لدى الأفراس.

مدى فعالية استخدام التدفق الدموي المسجل بموجات دوبلر فوق الصوتية بالألوان:

لتحديد توقيت الإباضة لدى الأفراس.

لتقييم الوظيفة الإفرازية لدى الجسم الأصفر.

لتحديد جنس الجنين.

أظهرت نتائج هذه الدراسة أنه يمكن تصنيف سلالة الحصان العربي-البربري الجزائري وفقاً للخصائص المورفومترية والتوزيع الجغرافي ، في ثلاث مجموعات: الخيول كبيرة الحجم في السهول الساحلية ، والخيول متوسطة الحجم في الهضاب العليا والمناطق المتاخمة للصحراء والخيول الصغيرة في المناطق الجبلية .

كما تؤكد هذه الدراسة فعالية العلاج بالبروجسترون® PRID كوسيلة لتحريض و تزامن الشبق لدى الأفراس، إلا أنه كانت فعالية العلاج غير مرضية بشأن تزامن التبويض ، وخاصة في فصل الشتاء ( $P<0.05$ ). وقد أثبتت دراستنا أيضاً أنه:

يمكن لمراقبة الجريب عن طريق موجات دوبلر فوق الصوتية تحسين التكهن بوقت الإباضة ( $P<0.05$ ).

التدفق الدموي يعتبر المؤشر الأكثر ملاءمة ( $0.57/P<0.001$ ). للدلالة على عمل الجسم الأصفر مقارنة باستخدام الحجم كمؤشر ( $0.21/P>0.05$ ).

استخدام موجات دوبلر فوق الصوتية تعتبر تقنية فعالة لتحديد جنس الجنين في مرحلة الحمل المبكرة (57-70 يوماً) ومرحلة الحمل المتقدم (90-120 يوماً).

**الكلمات المفتاحية:** الحصان العربي-البربري، موجات دوبلر فوق الصوتية، البروجسترون، الجريب ، الجسم الأصفر ، تحديد نوع الجنس.

- ABA** : Arabe-Barbe Algérien  
**AC** : Aire colorée  
**ACP**: Analyse en Composantes Principales  
**BD = 2D** : Bidimensionnel  
**C** : Vitesse de propagation des ultrasons dans les tissus mous (1540 m/s)  
**CJ** : Corps jaune  
**D** : Vitesse minimale diastolique  
**E2** : Oestradiol-17 $\beta$   
**eCG**: equine Chorionic Gonadotrophin  
**ELISA**: Enzyme Linked immunosorbent Assay  
**f0** : Fréquence émise  
**FSH**: Follicle-stimulating hormone  
**FSI**: Full spectrum imaging  
**FSL** : Flux sanguin lutéale  
**GnRH**: Gonadotrophin releasing hormone = gonadolibérine  
**Hz** : Hertz  
**IP** : Index de Pulsatilité  
**IR** : Index de résistivité  
**LH**: Luteinizing hormone  
**M.A.D.R** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural  
**MGG** : May-Grünwald Giemsa  
**MHz**: Mégahertz  
**OMCB**: Organisation Mondiale du Cheval Barbe  
**p** : Niveau de significativité pour les probabilités critiques  
**P4** : Progestérone  
**PGF2 $\alpha$** : Prostaglandine F2  $\alpha$   
**PLSD**: Protected Least Sig difference  
**PMSG**: pregnant mare serum gonadotrophin  
**PRF** : Fréquence de répétition des pulses  
**PRID** : Progesterone releasing intravaginal device  
**r** : Coefficient de corrélation de Pearson  
**S** : Vitesse maximale systolique  
**SRF** : Speckle reduction filter  
**TL** : Taille lutéale  
**TM** : Temps-mouvement  
**V** : Vitesse du flux sanguin  
 **$\Delta f$** : Variation de fréquence en Hertz

<b>Figure 01 :</b>	Vue frontale de l'appareil génital de la jument	<b>05</b>
<b>Figure 02 :</b>	Comparaison de la position de la medulla et du cortex ovarien chez la jument et les autres mammifères	<b>06</b>
<b>Figure 03 :</b>	Photo des ovaires de jument	<b>06</b>
<b>Figure 04 :</b>	Représentation schématique du cycle annuel de reproduction chez la jument	<b>07</b>
<b>Figure 05 :</b>	Cycle œstral de la jument	<b>08</b>
<b>Figure 06 :</b>	Schéma des vagues de croissance folliculaire au cours de cycle œstrale chez la jument	<b>10</b>
<b>Figure 07 :</b>	Récapitulatif des principales étapes du développement folliculaire	<b>13</b>
<b>Figure 08 :</b>	Endocrinologie du cycle œstral	<b>14</b>
<b>Figure 09 :</b>	Changements hormonaux pendant le cycle œstral	<b>15</b>
<b>Figure 10 :</b>	Représentation schématique des interactions entre l'ovaire, l'endomètre et le conceptus en début de gestation	<b>18</b>
<b>Figure 11 :</b>	Profil hormonal lors du premier tiers de gestation chez la jument	<b>19</b>
<b>Figure 12 :</b>	Evolution de la concentration en œstrogènes au cours de la gestation chez la jument	<b>20</b>
<b>Figure 13 :</b>	Longueur d'onde	<b>22</b>
<b>Figure 14 :</b>	La réflexion et la réfraction de l'onde ultrasonore incidente	<b>23</b>
<b>Figure 15 :</b>	Les différents types de réflexion des échos	<b>24</b>
<b>Figure 16 :</b>	échographie en mode A d'un œil	<b>27</b>
<b>Figure 17 :</b>	Illustration du Mode B	<b>27</b>
<b>Figure 18 :</b>	Mode BD	<b>28</b>
<b>Figure 19 :</b>	Illustration du Mode TM	<b>29</b>
<b>Figure 20 :</b>	Sonde linéaire	<b>30</b>
<b>Figure 21 :</b>	Sonde sectorielle	<b>31</b>
<b>Figure 22 :</b>	Photo et Représentation schématique de l'artéfact réverbération	<b>32</b>
<b>Figure 23 :</b>	photo et Représentation schématique du renforcement postérieur	<b>33</b>
<b>Figure 24 :</b>	Photo et Représentation schématique du cône d'ombre	<b>33</b>
<b>Figure 25 :</b>	Photo et Représentation schématique de l'image en miroir	<b>34</b>
<b>Figure 26 :</b>	Illustration de l'effet Doppler	<b>36</b>
<b>Figure 27 :</b>	Illustration de la fréquence Doppler	<b>37</b>
<b>Figure 28 :</b>	Illustration de l'angle $\theta$	<b>38</b>
<b>Figure 29 :</b>	Flux laminaire et flux turbulent.	<b>39</b>
<b>Figure 30 :</b>	Représentation schématique du fonctionnement d'un système d'échographie Doppler pulsé pour la production d'un spectre de vitesses	<b>40</b>
<b>Figure 31 :</b>	Image échographique illustrant la « porte Doppler »	<b>41</b>
<b>Figure 32 :</b>	Schématisation du Doppler couleur	<b>43</b>
<b>Figure 33 :</b>	Représentation schématique du fonctionnement d'un système d'échographie Doppler couleur pour la production d'une image combinant les modes 2D et couleur	<b>44</b>
<b>Figure 34 :</b>	Deux images échographiques de corps jaune observés à l'aide d'un mode Doppler couleur (droite) et d'un mode Doppler puissance (gauche)	<b>45</b>
<b>Figure 35 :</b>	Image échographique montrant un artéfact dû au mouvement de l'animal : taches bleues dispersées sur la gauche de l'image	<b>46</b>
<b>Figure 36 :</b>	Image échographique Doppler montrant un artéfact dû au péristaltisme intestinal : grandes taches colorées en rouge et bleu	<b>46</b>
<b>Figure 37 :</b>	Représentation de l'effet « aliasing » et résolution de l'artéfact par l'augmentation de la PRF	<b>48</b>
<b>Figure 38 :</b>	Artéfacts d'image-miroir	<b>49</b>
<b>Figure 39 :</b>	Méthode de calcul des index de résistance et de pulsatilité	<b>51</b>
<b>Figure 40 :</b>	Régions d'échantillonnage des chevaux Arabe-Barbe en Algérie	<b>55</b>
<b>Figure 41 :</b>	prise des mesures à l'aide de la toise (a) ; du ruban mesureur (b)	<b>56</b>
<b>Figure 42 :</b>	Les Mesures linéaires et circulaires réalisées dans cette étude	<b>57</b>
<b>Figure 43 :</b>	Analyse en composantes principales réalisée selon les quatre régions échantillonnées en Algérie	<b>60</b>
<b>Figure 44 :</b>	Dendrogramme basé sur les traits morphologiques (distances entre les régions)	<b>60</b>
<b>Figure 45 :</b>	répartitions des âges des juments	<b>67</b>
<b>Figure 46 :</b>	Prid®delta(a) et mise en place du dispositif intravaginal chez la jument (b)	<b>68</b>
<b>Figure 47 :</b>	automate d'immunoanalyse (vidas)	<b>68</b>
<b>Figure 48 :</b>	Manifestations de chaleur chez la jument : Mictions fréquentes (a). Eversion de la vulve (b)	<b>69</b>
<b>Figure 49 :</b>	frottis inflammatoire (vaginite). Présence de très nombreux polynucléaires (cellules de l'inflammation). MGG X 400	<b>70</b>
<b>Figure 50 :</b>	: Signes cliniques une vaginite: 'hyperémie (a); décharge mucopurulente (b).	<b>71</b>

<b>Figure 51 :</b>	Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID™ chez les juments en hiver	72
<b>Figure 52 :</b>	Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID™ chez les juments au printemps	72
<b>Figure 53 :</b>	Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID™ chez les juments en été	73
<b>Figure 54 :</b>	Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID™ chez les juments en automne	73
<b>Figure 55 :</b>	répartitions des âges des juments	77
<b>Figure 56 :</b>	contention : par entraves (a) ; dans un travail (b)	78
<b>Figure 57 :</b>	Mesure du diamètre folliculaire	79
<b>Figure 58 :</b>	Mesure du flux sanguin détectable en mode Doppler couleur a l'aide du logiciel Image J	81
<b>Figure 59 :</b>	Représentation graphique de l'évolution du diamètre folliculaire moyen en fonction du jour	82
<b>Figure 60 :</b>	Images échographiques Doppler couleur montrant l'évolution de la vascularisation d'un follicule de jument dans les trois jours précédant son ovulation	83
<b>Figure 61 :</b>	Représentation graphique de l'évolution de l'aire colorée moyenne en fonction du jour	83
<b>Figure 62 :</b>	Représentation graphique de l'évolution de l'indice de <i>pulsatilité</i> (IP) moyenne en fonction du jour	84
<b>Figure 63 :</b>	Images échographiques Doppler couleur et pulsé d'un follicule préovulatoire montrant l'évolution des paramètres Doppler dans les trois jours précédant son ovulation	85
<b>Figure 64 :</b>	Courbe de régression logistique montrant la probabilité d'avoir une ovulation (0 à 1,0 = probabilité de 0 à 100%) par rapport au diamètre folliculaire	86
<b>Figure 65 :</b>	Courbe de régression logistique montrant la probabilité d'avoir une ovulation (0 à 1,0 = probabilité de 0 à 100%) par rapport a l'aire colorée	87
<b>Figure 66 :</b>	Courbe de régression logistique montrant la probabilité d'avoir une ovulation (0 à 1,0 = probabilité de 0 à 100%) par rapport a l'indice de pulsatilité IP.	87
<b>Figure 67 :</b>	répartitions des âges des juments	91
<b>Figure 68 :</b>	Mesure de la surface d'un corps jaune à l'aide du logiciel Image J	92
<b>Figure 69 :</b>	Images échographiques Doppler couleur montrant l'évolution du flux sanguin d'un Corps jaune de jument au cours de la phase lutéale (clichés personnels)	93
<b>Figure 70 :</b>	les changements relatifs de la progestéronémie, superficie du CJ et flux sanguin lutéale durant le cycle œstral	94
<b>Figure 71:</b>	Localisation du tubercule génital (flèche) chez des fœtus équins mâle et femelle	98
<b>Figure 72:</b>	Image échographique d'un fœtus mâle de 67 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b)	100
<b>Figure 73:</b>	Image échographique d'un fœtus femelle de 64 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b)	100
<b>Figure 74:</b>	Images échographiques d'un fœtus mâle de 88 jours	101
<b>Figure 75:</b>	Image échographique d'un fœtus mâle de 91 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b).	102
<b>Figure 76:</b>	Image échographique d'un fœtus femelle de 103 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b).	102
<b>Figure 77:</b>	Image échographique d'un fœtus femelle de 120 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b).	103
<b>Figure 78:</b>	Images échographiques d'un fœtus de 148 jours	103
<b>Figure 79:</b>	: pourcentages des examens échographiques (des deux sexes, des fœtus males et des fœtus femelles) exactes en modes 2D et doppler couleur	105

<b>Tableau 01 :</b>	Vitesse de propagation des sons dans les différents tissus	<b>22</b>
<b>Tableau 02 :</b>	Impédance acoustique de différents milieux	<b>25</b>
<b>Tableau 03 :</b>	Relation entre profondeur d'exploration et fréquence de la sonde	<b>25</b>
<b>Tableau 04 :</b>	Fréquence des sondes en fonction des indications en reproduction chez les équins	<b>30</b>
<b>Tableau 05 :</b>	Moyenne, écart-type et minima et maxima des 20 paramètres mesurés, indices corporels calculés et le poids des chevaux Arabe-Barbes étudiés	<b>58</b>
<b>Tableau 06 :</b>	Moyenne, écart-type et minima et maxima des indices corporels calculés chez les chevaux Arabe-Barbes étudiés	<b>58</b>
<b>Tableau 07 :</b>	Matrice de corrélation entre les différents paramètres étudiés	<b>95</b>
<b>Tableau 08 :</b>	Détection du sexe fœtale en utilisant l'échographie 2D et Doppler dans les différents stades de gestation	<b>101</b>
<b>Tableau 09 :</b>	Précision de l'échographie 2D et Doppler dans la détection du sexe fœtal	<b>104</b>

Table des matières

RESUME	III
SUMMARY	IV
ملخص	V
LISTE DES ABREVIATIONS	VI
LISTE DES FIGURES.	VII
LISTE DES TABLEAUX	XI

## Première partie : Synthèse bibliographique

INTRODUCTION GENERALE	1
<b><u>Chapitre I. Rappel anatomo-physiologique</u></b>	
I .Anatomie	5
I.1- Utérus	5
I.2- Ovaire	6
II .Rappels physiologiques de la reproduction de l'espèce équine	7
II .1-Physiologie du cycle sexuel de la jument	7
II . 1.1. Période de reproduction	7
II . 1.2. Période d'anœstrus saisonnier	8
II .2-Dynamique folliculaire	9
II . 2.1. Etapes de la folliculogenèse	9
II . 2.2. Croissance et différenciation du follicule	9
II .2.2.1. Recrutement	9
II .2.2.2. Croissance	9
II .2.2.3. Sélection	9
II .2.2.4. Dominance	10

<b>II . 2.3.</b> Vagues de croissance folliculaire	11
<b>II . 2.4.</b> Devenir des follicules	11
<b>II .3-Endocrinologie</b>	14
<b>II . 3.1.</b> Fonction endocrine des ovaires	14
<b>II .3.1.1.</b> Les œstrogènes	14
<b>II .3.1.2.</b> Les progestagènes	15
<b>II . 3.2.</b> Régulation hypothalamo-hypophysaire	16
<b>II .3.2.1.</b> Hormone hypothalamique	16
<b>II .3.2.1. a</b> gonadolibérine ou GnRH	16
<b>II .3.2.2.</b> Hormones hypophysaires	16
<b>II .3.2.2. a</b> Follicle-Stimulating Hormone (FSH)	16
<b>II .3.2.2. b</b> Luteinizing Hormone (LH)	16
<b>II .3.3.</b> Fonction endocrine de l'utérus	17
<b>II .3.3.1.</b> Les prostaglandines	17
<b>II .4- Gestation</b>	17
<b>II .4.1.</b> Physiologie de la gestation	17
<b>II .4.2.</b> Endocrinologie de la gestation	19

## **Chapitre II. Principes de l'image ultrasonore**

<b>I. Bases physiques et techniques :</b>	21
<b>I.1.</b> Ondes ultrasonores	21
<b>I.1-1.</b> Fréquence	21
<b>I.1-2.</b> Longueur d'onde	21
<b>I.1-3.</b> Célérité de l'onde	22
<b>I-1-4.</b> Intensité	23
<b>I.2.</b> Formation des échos	23
<b>I.2-1.</b> Réflexion spéculaire	23
<b>I.2-2.</b> Réflexion non spéculaire	24
<b>I.2-3.</b> Impédance	25

<b>I.3. Pénétration des ultrasons</b>	25
<b>II. Emission et réception des ultrasons</b>	25
<b>III. Modes de traitement des échos</b>	26
<b>III.1. Mode A (Mode Amplitude)</b>	26
<b>III.2. Mode B (Mode Brillance)</b>	27
<b>III.3. Mode BD (Mode Bidimensionnel)</b>	28
<b>III.4. Mode TM (Mode Temps Mouvement)</b>	28
<b>IV. Choix de la fréquence des ultrasons</b>	29
<b>V. Différents types de sondes</b>	30
<b>V.1. Sonde linéaire</b>	30
<b>V.2. Sonde sectoriel</b>	31
<b>VI. Artefacts</b>	31
<b>VI.1. Réverbération</b>	31
<b>VI.2. Interférences</b>	32
<b>VI.3. Renforcement postérieur</b>	32
<b>VI.4. Cône d'ombre acoustique</b>	33
<b>VI.5. Image en miroir</b>	34

## **Chapitre III. Principes de l'échographie Doppler**

<b>I. Principes physiques</b>	35
<b>II. Analyse de l'effet Doppler</b>	38
<b>II.1. Analyse auditive</b>	38
<b>II.2. Analyse graphique</b>	39
<b>II.3. Analyse colorimétrique</b>	40
<b>III. Différents modes Doppler</b>	41
<b>III.1. Doppler pulsé</b>	41
<b>III.2. Doppler continu</b>	42
<b>III.3. Doppler couleur</b>	42

III.4. Doppler puissance	44
<b>IV. Artefacts de l'échographie doppler</b>	<b>45</b>
IV.1. Artéfacts de mouvement	45
IV.1-1. Mouvements du patient	45
IV.1-2. Mouvement des organes du patient	46
IV.2. Effet « aliasing »	47
IV.3. Décalage temporel entre l'image bidimensionnelle et la cartographie Doppler	48
IV.4. Artéfacts d'image-miroir	48
<b>V. Paramètres étudiés en échographie Doppler</b>	<b>49</b>
V.1. Vitesse du flux sanguin	49
V.2. Index de résistance	50
V.3. Index de résistivité (IR <sub>d</sub> )	50
V.4. Index de pulsatilité (IP)	50

## Deuxième partie : Etude expérimentale

### **Chapitre I : Description morphométrique de la race des animaux**

#### **Description morphométrique des chevaux arabe- barbes en Algérie**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>54</b>
<b>2. MATERIEL ET METHODES</b>	<b>55</b>
<b>3. RESULTATS</b>	<b>57</b>
3.1. MESURES MORPHOMÉTRIQUES, INDICES CORPORELS ET POIDS VIFS ESTIMÉ	57
3.2. ROBE	59

3.3. ANALYSES MULTIVARIÉES	59
<b>3. DISCUSSION</b>	<b>61</b>

## **Chapitre II : Gestion de la reproduction**

### **INTERET DU TRAITEMENT HORMONAL PAR LA PROGESTERONE (PRID® DELTA) COMME MOYEN D'INDUCTION ET DE SYNCHRONISATION DES CHALEURS CHEZ LA JUMENT EN ANŒSTRUS**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>65</b>
<b>2. MATERIEL ET METHODES</b>	<b>66</b>
2.1. Lieu et période de l'essai	66
2.1.1. Lieu de l'essai	66
2.1.2. Période de l'essai	66
2.2. Animaux	66
2.3. Protocole expérimental	67
2.3.1. Mise en place du dispositif intravaginal	67
2.3.2. Dosage de la progestérone	68
2.3.3. Contrôle par échographie	69
2.3.4. Détection des chaleurs	69
2.3.5. Examens complémentaires	69
2.4. Analyses statistiques	70
<b>3. RESULTATS</b>	<b>70</b>
3.1. Applicabilité de PRID™	70
3.2. Efficacité de la synchronisation	71
3.3. Concentrations plasmatiques de progestérone	71
<b>4. DISCUSSION</b>	<b>74</b>

<b>4.1</b>	<b>Choix de la race</b>	<b>74</b>
<b>4.2</b>	<b>.Préparation alimentaire des femelles</b>	<b>74</b>
<b>4.3</b>	<b>Résultats</b>	<b>74</b>
<b>INTERET DE L'ECHOGRAPHIE DOPPLER POUR DETERMINER LE MOMENT DE L'OVULATION CHEZ LA JUMENT</b>		
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>76</b>
<b>2.</b>	<b>MATERIEL ET METHODE</b>	<b>77</b>
<b>2.1.</b>	<b>Animaux</b>	<b>77</b>
<b>2.2.</b>	<b>Protocole expérimental</b>	<b>77</b>
<b>2.2.1.</b>	<b>Contention</b>	<b>77</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Exploration rectale</b>	<b>78</b>
<b>2.2.3.</b>	<b>Echographie</b>	<b>78</b>
<b>2.2.4.</b>	<b>Fréquence des échographies</b>	<b>78</b>
<b>2.2.</b>	<b>Mesures réalisées</b>	<b>79</b>
<b>2.2.1.</b>	<b>Mesures en mode 2D</b>	<b>79</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Mesures en mode Doppler couleur</b>	<b>79</b>
<b>2.3.</b>	<b>Analyses statistiques</b>	<b>80</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTATS</b>	<b>82</b>
<b>3.1.</b>	<b>Evolution des différents paramètres étudiés</b>	<b>82</b>
<b>3.2.</b>	<b>La corrélation</b>	<b>86</b>
<b>3.3.</b>	<b>La régression logistique</b>	<b>86</b>
<b>4.</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>88</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>89</b>

**RELATION ENTRE LE FLUX SANGUIN ET LA FONCTION LUTEALE**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>90</b>
<b>2. MATERIEL ET METHODES</b>	<b>91</b>
2.1. Animaux	91
2.2. Échographie	91
2.3. Analyses statistiques	91
<b>3. RESULTATS</b>	<b>93</b>
3.1. Les changements cycliques	93
3.2. La corrélation	95
<b>4. DISCUSSION</b>	<b>95</b>
<b>5. CONCLUSION</b>	<b>96</b>

**DETERMINATION DU SEXE DU FŒTUS EQUINE PAR  
L'ÉCHOGRAPHIE DOPPLER COULEUR TRANSRECTALE DANS  
LES CONDITIONS DE LA FERME**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>97</b>
<b>2. MATERIEL ET METHODE</b>	<b>98</b>
2.1. Évaluation échographique	98
2.2. Analyses statistiques	99
<b>3. RESULTATS</b>	<b>99</b>
<b>4. DISCUSSION</b>	<b>105</b>
<b>5. CONCLUSION</b>	<b>107</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</b>	<b>109</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>111</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>119</b>



## Introduction générale

La biodiversité dans le domaine de l'élevage, est le produit d'une longue adaptation des cheptels aux variations environnementales, à la résistance aux nouvelles maladies, ainsi que d'un patient travail de sélection mené par des générations d'éleveurs, au cours du quelle l'homme a cherché à satisfaire ses besoins dans des conditions climatiques et écologiques très différentes.

L'Algérie, en raison de sa situation géographique, a la chance que les ressources génétiques animales offrent une grande diversité de races. Les équins ne font pas exception à ce constat. Ils constituent à ce titre une richesse variée, avec une grande importance économique et socio-culturelle.

La filière équine occupe une place de choix dans l'histoire et l'économie de l'Afrique du nord. L'Algérie est le pays type d'une grande et ancestrale tradition équestre. Le cheval fut le compagnon des peuples nomades considérés comme des cavaliers dans les tribus berbères de Massinissa, Jugurtha et Juba.

Le cheval en Algérie et plus précisément, la race Barbe et Arabe Barbe ont participé à toutes les guerres et épopées de l'Emir Abdelkader, d'El Hadj Ahmed Bey et de Cheikh Bouamama entre autres.

Aujourd'hui, le cheval constitue un véritable acteur de développement durable notamment dans le domaine environnemental, mais également dans son rapport avec l'homme en contribuant par ailleurs aux activités sportives, sociales et culturelles. Dans ce contexte, le développement de l'élevage équin nécessite sa rationalisation et par conséquent l'emploi des techniques modernes de gestion de l'élevage, en particulier la gestion de la reproduction; car la maîtrise de ces facteurs étant le garant de la rentabilité.

Pour produire, il faut reproduire. Cet adage correspond à tout être vivant dont le cheval. La reproduction du cheval est un sujet qui a fait couler beaucoup d'encre. Ce dernier est un animal d'élevage avec une forte valeur ajoutée. Il existe donc un lien étroit entre la reproduction du cheval et son élevage.



La vie sexuelle des équidés est très longue et le cheval pourrait quasiment se reproduire toute l'année. Mais comme la plupart des mammifères non hominidés, la reproduction présente un aspect très particulier, comportemental et saisonnier. Le comportement sexuel est lié à une activité hormonale précise. Ce comportement s'exprime en liberté lorsqu'on assiste à une reproduction naturelle, ou bien il est géré par l'homme pour une optimisation de l'efficacité.

La jument est une espèce polyœstrienne saisonnière de « jours longs ». Son activité sexuelle est régulée par la photopériode mais aussi par la nutrition et le climat. Dans le monde de l'élevage, une poulinière doit produire systématiquement un poulain viable chaque année pour être économiquement rentable. Pour atteindre cet objectif, elle a besoin d'être dans de bonnes conditions physiques, de présenter des cycles œstraux réguliers ainsi que pouvoir concevoir et maintenir une gestation jusqu'à son terme (*LOUGUET, 2010*).

Depuis quelques années, l'échographie est une technique d'imagerie en pleine expansion en médecine vétérinaire. Largement utilisée en clientèle vétérinaire aussi bien canine que rurale, elle est devenue un complément indispensable à la radiographie et son aide au diagnostic n'est plus à prouver. Les avantages de cette technique, surtout en gynécologie et en pathologie locomotrice, ont progressivement suscité l'intérêt des vétérinaires équinés et ruraux. Pourtant, cette technique peut être extrêmement utile dans le diagnostic d'affections non seulement dans des cliniques spécialisées mais en dehors (*JEREMIE, 2006*).

L'échographie est un examen complémentaire de la palpation transrectale chez la jument, premier examen durant lequel il est nécessaire de bien repérer les différentes structures en procédant de manière systématique, avant de mettre en place la sonde.

Toutefois, à la différence de la palpation transrectale, l'échographie présente les avantages de permettre, avec une grande exactitude, de visualiser les organites ovariens, d'évaluer le stade physiologique de l'utérus et enfin d'établir des diagnostics de gestation précoces, il sera possible d'apprécier la vitalité du conceptus, de dénombrer les embryons ou fœtus, d'estimer avec une meilleure exactitude le sexe et le stade de gestation et enfin de permettre la visualisation des images échographiques par l'éleveur. La précision apportée par l'échographie est un atout permettant de gagner la confiance de l'éleveur. De plus, c'est une technique rapide, fiable, répétable, non invasive et surtout très bien tolérée par l'animal.



Malgré cela, cette technique demeure toujours imprécise. L'échographie-doppler est à l'origine réservée à la médecine humaine. Elle a récemment fait son apparition dans le domaine de la gynécologie équine et se propose d'être une méthode non-invasive permettant de visualiser et d'analyser le flux sanguin des différents organes en général et ceux de la sphère génitale en particulier, permettent au praticien rural d'accéder à cette technique sur le terrain et d'élargir son utilisation à d'autres domaines que la gynécologie. Elle est également devenue intéressante chez d'autres espèces. (*JEREMIE, 2006*).

Cependant, elle nécessite un investissement important lors de l'achat de l'échographe-doppler et des sondes, ainsi qu'un apprentissage de l'opérateur. Celui-ci doit en particulier savoir s'organiser sur le terrain, respecter une démarche rigoureuse dans l'examen de l'appareil génital et bien sûr interpréter les images (*EMILIE & CAROLINE, 2004*).

Dans ce contexte, les objectifs de ce travail visent à contribuer à une meilleure connaissance :

- ✚ Des caractères morphologiques du cheval Arabe-Barbe algérien, et de les comparer avec le standard mondial de la race barbe.
- ✚ De l'efficacité de l'utilisation du traitement hormonal par la progestérone (PRID® DELTA) comme moyen d'induction et synchronisation de l'œstrus chez la jument.
- ✚ De l'intérêt de l'échographie doppler pour déterminer le moment de l'ovulation chez la jument.
- ✚ De la fiabilité du flux sanguin du corps jaune, enregistré par échographie-doppler couleur, dans l'évaluation de l'activité sécrétoire lutéale.
- ✚ De l'efficacité du mode Doppler couleur dans la détection du sexe fœtal équine.



# Partie Bibliographique

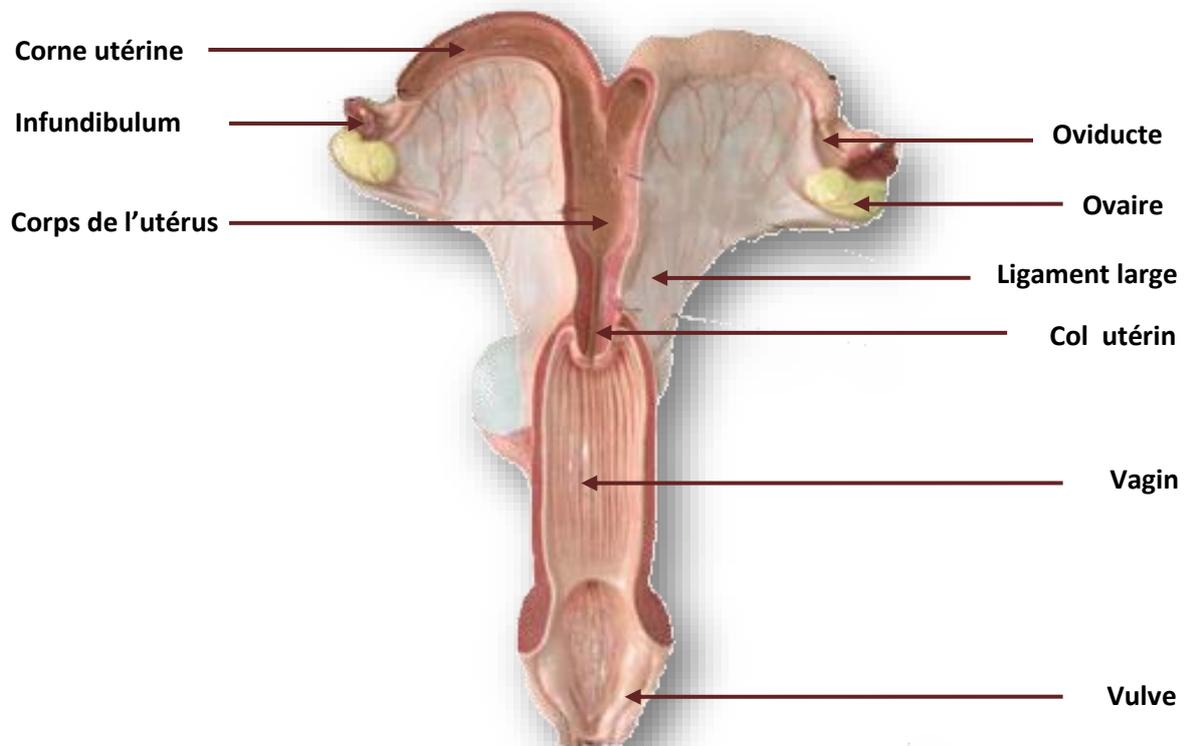


## Chapitre I. Rappel anatomo-physiologique

### I. Anatomie

#### I.1- Utérus

L'utérus de jument est de type bicornis avec une forme de Y (Figure 01). Les deux cornes utérines sont de section circulaire avec un diamètre d'environ 5 cm et une longueur allant de 12 à 20 cm. Elles possèdent deux faces convexes ainsi que deux bords, l'un dit mésométrial et donnant attache au ligament large, l'autre dit libre. Le sommet de chaque corne est relié à la trompe utérine correspondante et la base est rattachée au corps utérin. Le corps utérin est de forme cylindroïde avec un diamètre d'environ 10-12 cm et une longueur d'environ 20 centimètres. Son extrémité caudale se rétrécit pour se poursuivre par le col utérin. L'utérus est relié, d'une part, au vagin par le col de l'utérus, ou cervix, qui se situe au niveau du bassin et mesure 5 à 8 cm de long et d'autre part, aux ovaires par les trompes utérines ou salpinx (**Collin, 2005**). L'utérus est rattaché à la paroi dorsale de l'abdomen et du bassin par l'intermédiaire des ligaments larges. La partie craniale de ces derniers est fusionnée avec le mésovarium qui soutient l'ovaire et la trompe utérine. La partie s'insérant sur l'utérus s'appelle le mésométrium et est renforcée de structures conjonctivo-élastiques permettant une meilleure fixité de l'appareil génital (**Barone, 2001**).

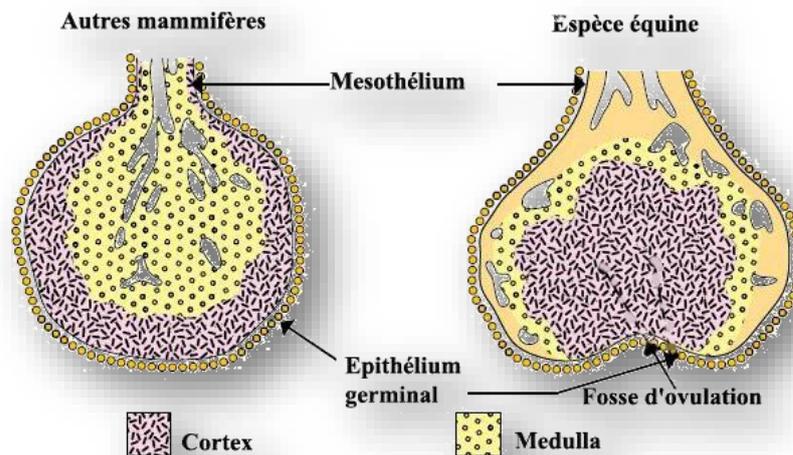


**Figure 01** : Vue frontale de l'appareil génital de la jument (**Brinsko et al., 2010**)



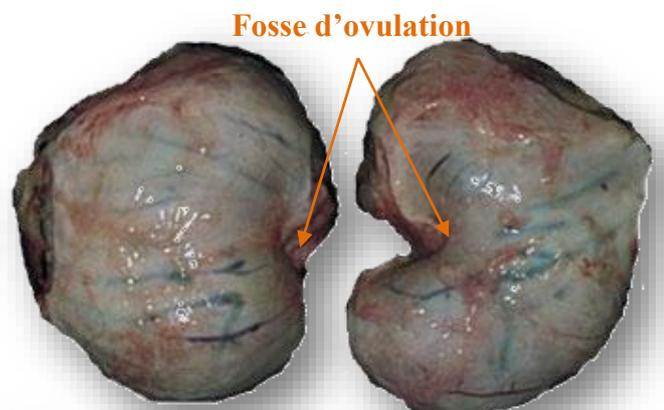
## I.2-Ovaire

Comparativement aux autres espèces, la structure de l'ovaire chez la jument est inversée (Figure 02). En effet, la zone médullaire ou vascularisée est superficielle alors que la zone corticale, qui contient les follicules est à l'intérieur de la glande (Sertich, 1998; Ginther, 1986).



**Figure 02** : Comparaison de la position de la medulla et du cortex ovarien chez la jument et les autres mammifères (Ginther, 1992)

L'ovaire de jument est volumineux (en moyenne 60 x 35 x 30 mm), il est en forme de haricot. La conformation est caractéristique de l'espèce. L'ovaire comporte une encoche profonde ventro-crâniale sur son bord libre : c'est la fosse d'ovulation (Figure 03). A l'exception de cette fosse, l'ovaire est recouvert de péritoine. Le bord mésovarique, dorso-caudal, est régulièrement convexe et dépourvu de hile (Barone, 2001 ; Ginther, 1992). L'ovaire de la jument est déformé à la palpation par la présence de follicules ou d'un corps jaune. Un corps jaune est difficilement distinguable d'un follicule à la palpation car il n'y a pas de papille d'ovulation à la surface de l'ovaire de jument du fait de la présence de la fosse ovulatoire.



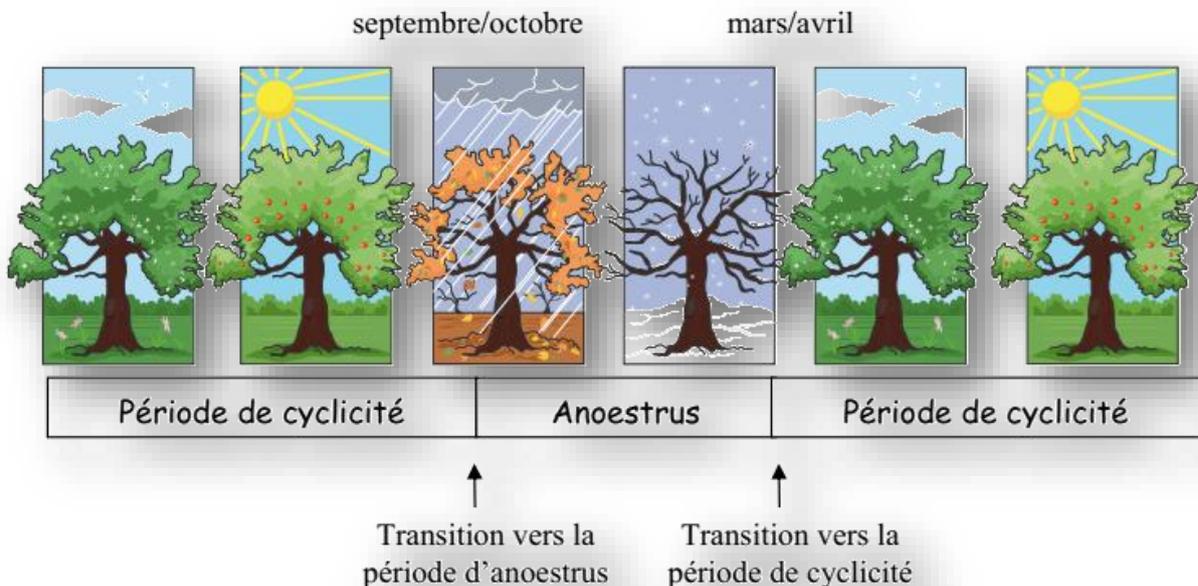
**Figure 03** : ovaires de jument (Hanzen, 2004)



## II. Rappels physiologiques de la reproduction de l'espèce équine

### II.1-Physiologie du cycle sexuel de la jument

L'âge de puberté chez la jument est entre 12 et 24 mois. Cette variation est tributaire de l'alimentation, la race et de la saison de naissance (Squires ; 1993). La jument est une espèce à polyœstrus saisonnier permettant la naissance des poulains au printemps, dont les conditions alimentaires et climatiques (surtout la température) sont les plus favorables. Cette saisonnalité est contrôlée essentiellement par la photopériode. Une photopériode de longue durée (14 h 30 à 16 h de lumière par jour) stimule la reprise de l'activité ovarienne de la jument (Figure 04).



**Figure 04** : Représentation schématique du cycle annuel de reproduction chez la jument (Ginther, 1992)

Le cycle annuel de reproduction chez la jument comporte 2 périodes :

#### II.1.1.Période de reproduction

La période de reproduction ou la saison sexuelle (centrée autour du solstice d'été) caractérisée par une succession de cycles d'une durée d'environ 21 jours, jusqu'à l'établissement d'une gestation ou la fin de la saison sexuelle. Un cycle est défini comme l'intervalle entre deux ovulations précédées d'œstrus et/ou d'un niveau de progestérone inférieur à 1 ng/ml, et suivies d'une élévation des niveaux de progestérone. Un cycle est conventionnellement divisé en deux phases :

- *La phase lutéale* (correspond approximativement au dioestrus), de durée relativement constante (15 jours), pendant laquelle le corps jaune formé après l'ovulation sécrète de la progestérone (Figure 05), hormone responsable du comportement de refus de l'accouplement envers l'étalon.



• *La phase folliculaire* (correspond approximativement à l'œstrus), de durée extrêmement variable (3 à 10 jours), pendant laquelle la jument est réceptive à l'étalon. Cette phase correspond à la croissance folliculaire terminale et aboutit à l'ovulation. La durée du cycle ovarien chez la jument présente donc une très grande variabilité comparée aux autres mammifères (Ginther, 1992). Cette variabilité est visible entre juments mais également pour une même jument au cours de la saison. En effet, les cycles sont plus longs en début et fin de saison sexuelle, et plus courts en milieu de saison c'est-à-dire pendant l'été. Cette variation de longueur des cycles est régit principalement par la durée de l'œstrus (Ginther, 1974).

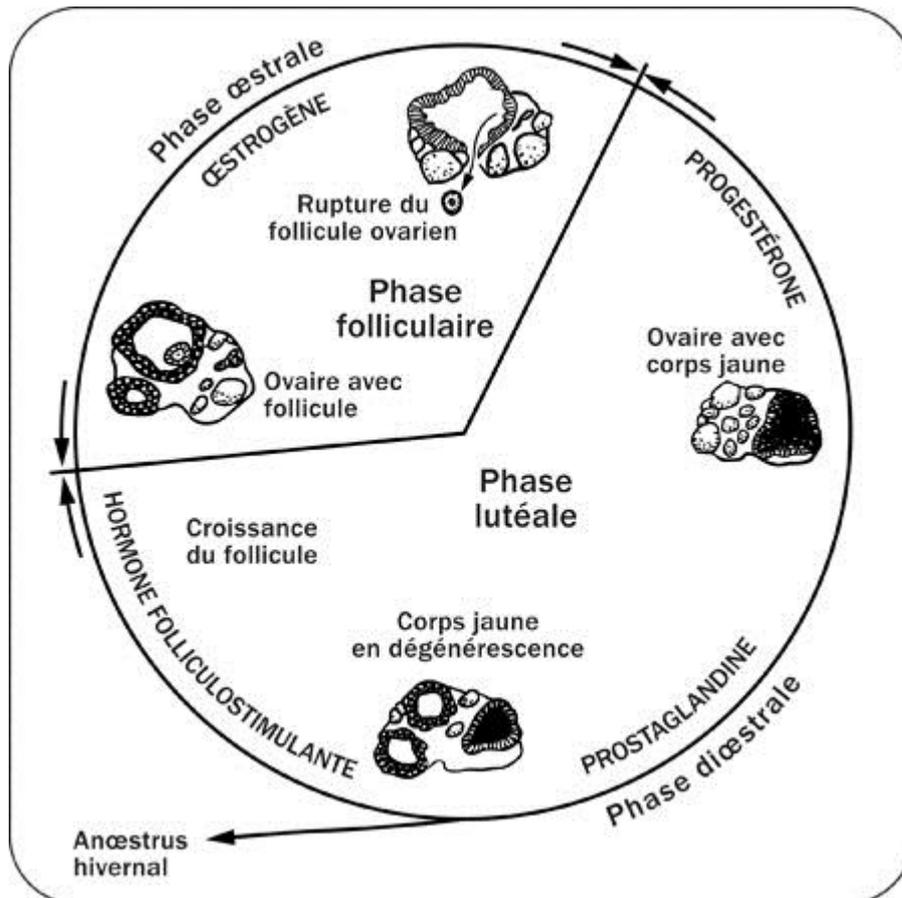


Figure 05 : Cycle œstral de la jument (Ginther, 1992)

### II.1.2. Période d'anœstrus saisonnier

La période d'anœstrus saisonnier comporte 3 parties :

- *La transition vers l'inactivité ovulatoire saisonnière* (aux alentours de l'équinoxe d'automne) caractérisée par la présence de gros follicules qui n'ovulent pas à cause du déficit en LH.
- *L'anœstrus saisonnier* caractérisée par une absence de cycles ovariens (centrée autour du solstice d'hiver).
- *La transition vers la saison sexuelle* (aux alentours de l'équinoxe de printemps) caractérisée par une augmentation de la sensibilité folliculaire à la LH.



Cependant, environ 20% des femelles ne présentent pas d'œstrus saisonnier et sont donc cycliques toute l'année (Diekman et al., 2002).

Il existe une variabilité dans la durée de ces 4 périodes, principalement influencée par l'alimentation (Salazar-Ortiz et al., 2011) et la température (Palmer, 1978).

## II.2-Dynamique folliculaire

### II. 2.1. Etapes de la folliculogénèse

La folliculogénèse est la croissance et la maturation du follicule, entre la réserve constituée par l'ovogénèse (follicule primordial) et l'ovulation qui correspond à la rupture du follicule mûr 24 (tertiaire préovulatoire). La première partie de cette évolution a lieu au cours du développement dans la gonade prépubère. La seconde correspond à la maturation folliculaire observée lors de l'activité cyclique. La réserve de la jument à la naissance est constituée d'environ 40 000 follicules primordiaux contre 120 000 chez la vache. Un follicule primordial est un ovocyte primaire entouré de cellules aplaties indifférenciées. Il grossit et donne un follicule primaire qui contient un ovocyte développé. La différenciation et les mitoses des cellules aplaties forment une couche de cellules cuboïdales. Dans le follicule secondaire, la thèque interne se développe et deux couches de cellules de la granulosa se superposent. Le follicule tertiaire est caractérisé par un antrum contenant un exsudat produit par les cellules de la granulosa. La paroi folliculaire est alors composée de plusieurs couches de cellules de la granulosa et de cellules de la thèque séparées l'une de l'autre par une lame basale. Le développement de ce follicule tertiaire en follicule mûr (ou préovulatoire) est marqué par un accroissement considérable de l'antrum, la différenciation et l'épaississement de la paroi (Pierson, 1993).

### II.2.2.Croissance et différenciation du follicule

#### II.2.2.1.Recrutement

Le recrutement correspond à la sortie de la réserve et l'entrée en croissance de certains follicules primordiaux (de moins de 10 mm). Il débute entre le 6ème et le 10ème jour du diœstrus soit 11 à 14 jours avant ovulation (Figure 06).

#### II.2.2.2.Croissance

Le follicule recruté poursuit son développement jusqu'à devenir un follicule à antrum qui sera sélectionnable. La croissance est caractérisée par une augmentation de la vascularisation thécale et une augmentation de la taille du follicule qui atteint 20 à 30 mm environ de diamètre (Ginther, 1992 ; Pierson, 1993).

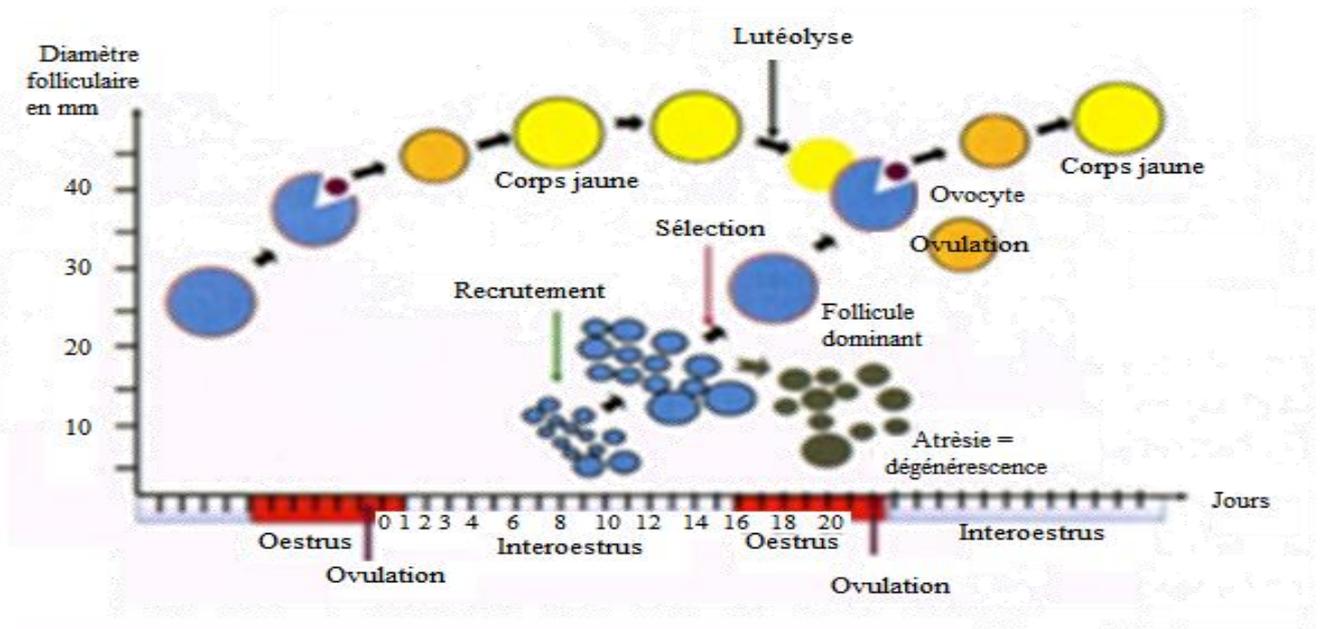
#### II.2.2.3.Sélection

La sélection correspond à l'ajustement du nombre de follicules recrutés au nombre d'ovulations et détermine le choix et l'individualisation du follicule qui ovulera, dit « dominant ». Elle se produit 6 à 8 jours avant ovulation ou s'il n'y a pas d'ovulation, 7 jours avant que le follicule dominant n'atteigne son diamètre maximum.



#### II.2.2.4. Dominance

La dominance correspond à la sécrétion par le follicule sélectionné de facteurs qui contrôlent la croissance des autres follicules de la même vague et vont provoquer leur atrophie (**Tibary et al., 1994**).



**Figure 06** : Schéma des vagues de croissance folliculaire au cours de cycle œstrale chez la jument (**Anne et Francis, 2010**).



### II.2.3. Vagues de croissance folliculaire

Une vague de croissance est caractérisée par l'augmentation puis la diminution du diamètre d'un groupe de follicules pendant la durée d'un cycle œstral. La jument présente en général une vague de croissance folliculaire par cycle. Certaines peuvent cependant en présenter deux. Une vague de croissance au cours de laquelle s'effectuent le recrutement et la sélection d'un follicule dominant est appelée « vague de croissance majeure » par opposition aux vagues de croissance mineures se produisant avant la puberté, au cours desquelles aucun follicule n'est sélectionné (**Squires, 1993**). Dans 80 % des cycles, une vague de croissance primaire se développe : en fin d'œstrus, l'ovaire de jument contient de nombreux petits follicules mesurant 2 à 5 mm qui vont grandir pendant la phase lutéale, à la vitesse moyenne de 3 mm par jour. La croissance de ces petits follicules aboutit à l'émergence d'un follicule dominant en milieu de cycle, vers le dixième jour de la phase lutéale. Ce follicule atteint la taille de 25-30 mm en fin de diœstrus, et son développement ultérieur aboutit à une ovulation (s'il y a ovulation), unique le plus souvent, en phase œstrale. Dans 20 % des cycles, il se produit deux vagues de croissance décalées dans le temps au cours d'un même cycle. La vague de croissance secondaire est caractérisée par l'émergence d'un follicule dominant en fin d'œstrus ou tout début de diœstrus. Dans 15 % des cycles, cette seconde vague de croissance folliculaire est anovulatoire. Dans 5 % des cycles, le développement de ce follicule préovulatoire en début de diœstrus aboutit à une ovulation pendant le diœstrus, sans que la jument ne soit en chaleur (**Ginther, 1992**). Ces ovulations diœstrales peuvent être fécondantes si elles surviennent assez tôt pendant le diœstrus. En revanche, si l'ovulation se produit en fin de diœstrus, le corps jaune résultant d'une telle ovulation ne sera pas assez mûr pour répondre à la sécrétion de prostaglandines F2 $\alpha$  par l'endomètre en fin de phase lutéale. La durée de vie de ce corps jaune et celle du cycle seront alors augmentées, et la jument pourra présenter un anœstrus par corps jaune persistant (**Daels et Hugues, 1993**).

### II.2.4. Devenir des follicules

L'entrée d'un follicule primordial en croissance et en différenciation est une étape irréversible de la folliculogénèse. Elle a deux issues possibles :

#### i. L'atrésie

Ce phénomène irréversible concerne 99% des follicules de la jument (**Pierson, 1993**). Il correspond à l'involution des cellules de la granulosa puis de la thèque. Le mécanisme impliqué dans l'atrésie est l'apoptose : c'est une mort cellulaire programmée, caractérisée par l'activation d'endonucléases aboutissant à la fragmentation de l'ADN. Les événements biochimiques qui gouvernent l'atrésie ne sont pas connus (**Ginther, 1992**). Sur le plan morphologique, le follicule atrétique est caractérisé par une diminution de taille, l'apparition d'un noyau pycnotique dans les cellules de la granulosa suivie d'une dégénérescence de l'ovocyte puis d'une destruction des cellules de la granulosa. Parfois, on observe un clivage de l'ovocyte. Les cellules de la thèque interne s'atrophient et leur production d'œstradiol est fortement réduite. La vascularisation de la thèque interne diminue considérablement (**Palmer, 1987**). Au niveau fonctionnel, les marqueurs biochimiques de l'atrésie sont une augmentation de l'activité lysosomiale et une diminution de la synthèse des protéines et acides nucléiques.



L'atrésie est caractérisée par une diminution qualitative et quantitative, puis un arrêt de la stéroïdogénèse. L'atrésie serait donc un processus de dégradation cellulaire impliqué dans la sélection du follicule dominant.

## ii. L'ovulation

Elle concerne le follicule dominant qui répond à une élévation du taux circulant de FSH et LH par un remaniement structural conduisant à sa rupture et à l'expulsion de l'ovocyte mûr ainsi que du liquide folliculaire dans lequel baignait cet ovocyte (**Tiret et Lefrançois, 2001**). L'ovulation est définie comme une intense réaction inflammatoire : ce processus est en effet caractérisé par une accumulation de cellules inflammatoires dans les tissus folliculaires, une modification de la vascularisation, une activation d'enzymes protéolytiques et par une intervention des médiateurs de l'inflammation : prostaglandines E2 (PGE2) et F2 $\alpha$  (PGF2 $\alpha$ ), prostacyclines et histamine voient leur synthèse augmenter quand l'expulsion ovocytaire approche (**Pierson, 1993**).

### → *Caractéristiques du follicule dominant*

Le follicule dominant ou préovulatoire présente une grande taille (supérieure à 25 mm) ou la plus grande taille des follicules en croissance, avec un taux de croissance de 3 mm par jour. Il possède un nombre de cellules de la granulosa maximum mais avec un taux de mitoses minimal. Il est celui qui produit le plus de stéroïdes. Il est le plus réceptif aux stimulations gonadotropes. Sa plus grande réceptivité à la LH est notamment due à une augmentation du nombre de ses récepteurs à la LH sur les cellules de la thèque. Sa réceptivité à la FSH est due à une augmentation du nombre de cellules de la granulosa et à une augmentation de la sensibilité intracellulaire à la FSH. Ces effets sont potentialisés par l'œstradiol. Par ailleurs, le follicule préovulatoire est le plus vascularisé et ses capillaires fenestrés ont une perméabilité supérieure à celle des autres follicules. Enfin, le follicule préovulatoire inhibe la croissance des autres follicules localement par sécrétion paracrine et par sécrétion endocrine puisqu'il inhibe aussi le développement des follicules sur l'ovaire opposé (**Pierson, 1993**).

### → *Ovulation*

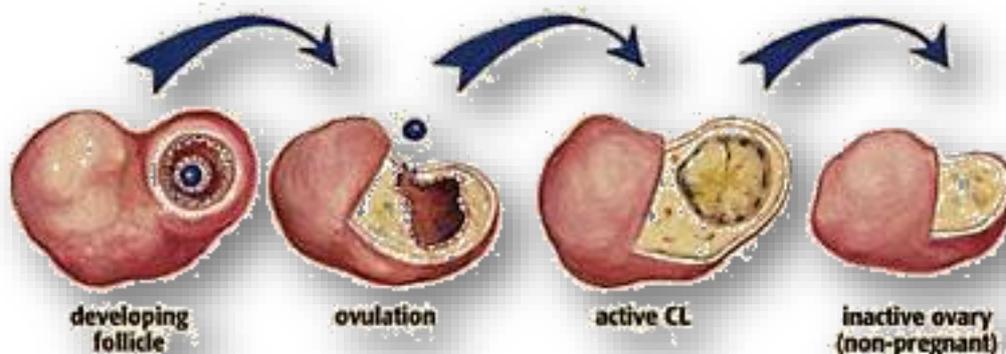
L'ovulation de la jument est un phénomène rapide qui dure environ 2 minutes (avec des extrêmes allant de 5 secondes à 7 minutes). 16% des juments présentent une double ovulation, moins de 1% ont une ovulation triple (**Tibary et al., 1994**). Une majorité des juments (62%) présente leur première ovulation sur l'ovaire gauche, ceci probablement du fait d'une meilleure vascularisation initiale. Cette asymétrie d'irrigation sanguine s'estompe à la première gestation qui provoque une hypertrophie vasculaire identique sur les deux ovaires (**Ginther, 1992**). Environ 78 % des juments ovulent deux jours avant la fin de l'œstrus, 12 % ovulent plus de deux jours avant la fin de l'œstrus et 10 % ovulent après la fin de leur comportement d'œstrus (**Daels et Hugues, 1993**). Le follicule prêt à ovuler mesure en moyenne 45 mm de diamètre. Dans le cas de double ovulation bilatérale, le diamètre des deux follicules est identique (40 mm en moyenne) mais inférieur à celui d'un follicule conduisant à une ovulation simple. Lors de double ovulation unilatérale, le diamètre du premier follicule à ovuler est en moyenne de 39 mm et celui du second d'environ 34 mm (**Pierson, 1993**). 85 %



des follicules changent de forme dans les heures précédant l'ovulation. Le contour folliculaire devient irrégulier et passe de sphérique à conique ou en forme de poire, l'apex pointant vers la fosse ovulatoire, seul endroit de l'ovaire d'où puisse sortir l'ovocyte.

→ *Le corps jaune*

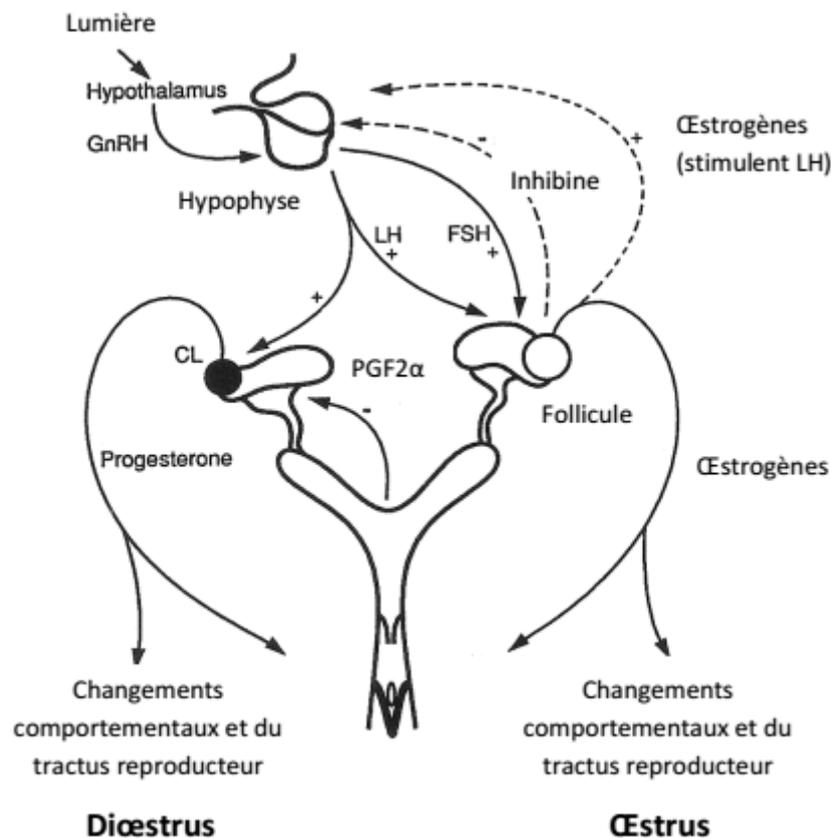
L'ovulation donne lieu à des remaniements des cellules de la thèque et de la granulosa qui conduisent à la formation d'un corps jaune. Chez la jument, les cellules lutéales semblent exclusivement dérivées des cellules de la granulosa, les cellules de la thèque ayant totalement dégénéré 24 heures après ovulation. Les cellules de la granulosa grossissent après ovulation ; elles sont totalement lutéinisées et commencent à produire de la progestérone 3 à 4 jours après ovulation. Elles continuent de croître jusqu'au 9<sup>ème</sup> jour du cycle (où la progestéronémie est maximale), le corps jaune est alors constitué de grandes cellules et de plus petites cellules. Ces petites cellules représenteraient un stade de développement des grandes cellules. Ces cellules au repos, ne pourraient plus se convertir en grandes cellules. Le corps jaune a une morphologie qui varie au cours du diœstrus. Juste après l'ovulation, un corps hémorragique se forme avec accumulation du sang à l'intérieur du follicule (corpus hemorrhagicum). Les cellules lutéales se forment et s'organisent à l'intérieur de ce corps hémorragique. Au 9<sup>ème</sup> jour du cycle, au moment où la progestéronémie est maximale, le caillot sanguin est complètement résorbé et remplacé par une structure totalement lutéinisée et dense : le corps jaune proprement dit (corpus luteum) (Nett, 1993a) (Figure 07). Chez la jument, il existe deux types de corps jaune proprement dit : l'un plein, homogène et l'autre avec une cavité liquidienne (corps jaune cavitaire). Cette différence de morphologie n'a aucune influence sur la fonction de sécrétion et ne modifie en rien la durée du diœstrus. Si la jument n'est pas gestante, le processus de lutéolyse commence 12 jours après ovulation. La lutéolyse se manifeste par une diminution du diamètre des cellules lutéales et une diminution synchrone de la progestéronémie. Au 20<sup>ème</sup> jour du cycle, la plupart des grandes cellules sont à un stade de régression avancé, seules quelques petites cellules persistent. A ce moment, les vaisseaux sanguins sont sclérosés et s'oblitérent, ils forment des travées entre les cellules (Ginther, 1992).



**Figure 07** : Récapitulatif des principales étapes du développement folliculaire (Ginther, 1992)



## II.3-Endocrinologie



**Figure 08** : Endocrinologie du cycle œstral (Daels et Hughes, 1993)

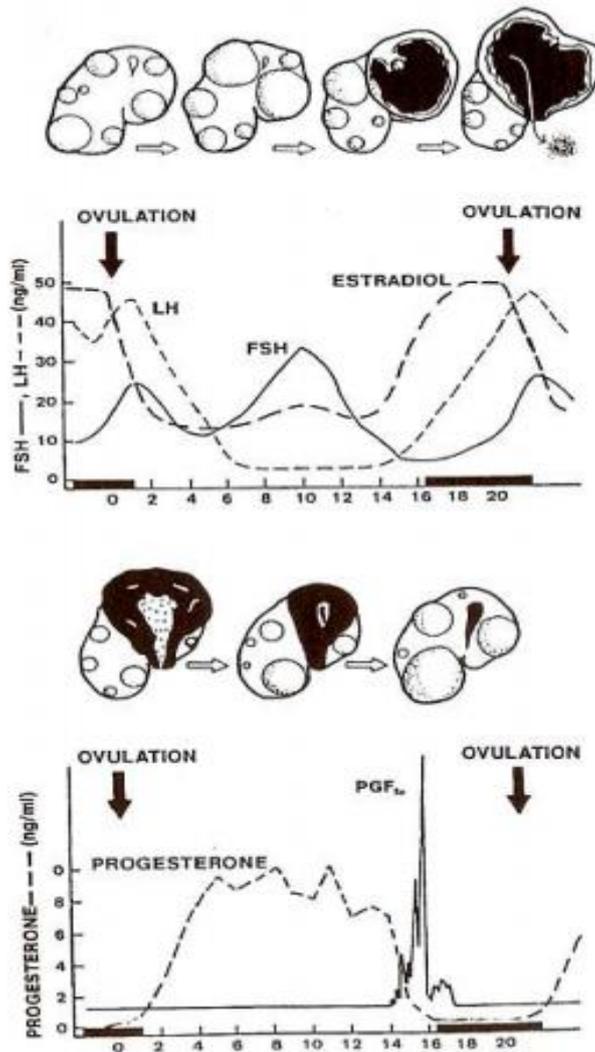
Les modifications comportementales et ovariennes sont soumises à un contrôle hormonal étroit (Figure 08). Nous verrons successivement la fonction endocrine des ovaires, la régulation par l'axe hypothalamo-hypophysaire puis la fonction endocrine de l'utérus.

### II. 3.1 Fonction endocrine des ovaires

Les ovaires contiennent deux glandes endocrines temporaires : les follicules et le corps jaune. D'une manière générale, les follicules sont associés à la production des œstrogènes et le corps jaune à celle des progestagènes. L'œstradiol 17β est l'œstrogène sécrété en plus grande quantité et la progestérone est le progestagène ovarien majeur (Ginther, 1992).

#### II.3.1.1. Les œstrogènes

Le terme d'œstrogène provient du fait que ces substances induisent l'œstrus, c'est à dire le changement comportemental des animaux qui se caractérise par l'acceptation du mâle. Chez la jument, les œstrogènes sont produits par les cellules de la thèque interne et de la granulosa des follicules à antrum en maturation (Nett, 1993b).



**Figure 09** : Changements hormonaux pendant le cycle œstral (Daels et Hughes, 1993)

La concentration en œstradiol  $17\beta$  s'élève à partir de J14-J16 post-ovulation. Cette élévation correspond au début de l'œstrus. Le taux maximum est atteint entre 24 à 48 heures avant l'ovulation puis ce taux diminue pour atteindre sa valeur minimale entre 1 à 2 jours après ovulation. Les valeurs d'œstrogénémie chez la jument sont extrêmement faibles comparées à celles des autres espèces. Par ailleurs, elles sont très variables d'un individu à l'autre et en fonction de la méthode de dosage utilisée (Figure 09). Les œstrogènes sont responsables de l'augmentation de la sécrétion de LH qui commence pendant l'œstrus au moment de la sélection et se poursuit après ovulation.

### II.3.1.2. Les progestagènes

La progestérone, sécrétée pendant la phase lutéale, est le principal produit du corps jaune. Pendant l'œstrus, la progestéronémie est inférieure à 1 ng/ml. Après l'ovulation, la concentration de progestérone dans le plasma augmente rapidement jusqu'à une valeur maximale de 6 à 10 ng/ml atteinte en 6 jours. Cette concentration est maintenue jusqu'à la lutéolyse qui provoque une rapide diminution de la progestéronémie. Celle-ci retrouve une valeur basale aux environs du 15<sup>ème</sup> jour du cycle (Daels et Hughes, 1993). Les autres



substances progestagènes sont encore méconnues mais leurs concentrations suivraient le même profil.

La progestérone inhibe le comportement d'œstrus et la décharge préovulante de LH chez la jument. Néanmoins, contrairement à ce qui se produit dans la plupart des autres espèces, la progestérone chez la jument n'inhibe pas complètement la fin de la folliculogénèse et l'ovulation. Ainsi, les follicules peuvent continuer à croître voire ovuler durant la phase lutéale (phénomène de vague de croissance secondaire) même en présence d'une concentration plasmatique de progestérone élevée (**Irvine et Alexander, 1993**).

### II.3.2. Régulation hypothalamo-hypophysaire

L'augmentation de la durée d'éclairement lors des jours longs entraîne une inhibition de la sécrétion de mélatonine. Cette dernière exerce un rétrocontrôle négatif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire durant la période de repos sexuel. Cela aboutit à une reprise d'activité de l'hypothalamus.

#### II.3.2.1 Hormone hypothalamique

##### II.3.2.1.a – Gonadolibérine ou GnRH (gonadotrophin releasing hormone)

La GnRH est sécrétée de façon pulsatile et agit sur l'hypophyse antérieure par l'intermédiaire du système porte hypothalamo-hypophysaire. La synthèse des gonadotrophines, FSH (Follicle Stimulating hormone) et LH (Luteinizing Hormone), est ainsi stimulée. Ces dernières atteignent la circulation systémique pour agir au niveau de l'ovaire (**Evans et Irvine, 1975 ; Daels et Hughes, 1993**). L'état nutritionnel de la jument peut modifier la fonction gonadotrope, avec un arrêt complet possible des cycles œstraux si la jument est trop maigre. Le tissu adipeux sécrète de la leptine qui induit la synthèse du neuropeptide Y qui à son tour stimule la sécrétion de GnRH par l'hypothalamus (**Daels et Hughes, 1993**).

#### II.3.2.2 Hormones hypophysaires

##### II.3.2.2.a – La Follicle-Stimulating Hormone (FSH)

La FSH est libérée pendant l'œstrus permettant la croissance folliculaire ainsi que la sélection d'un ou plusieurs follicules dominants. Elle est aussi responsable de la sécrétion d'œstrogènes par le follicule ainsi que de la formation des récepteurs à LH. Des vagues de croissance folliculaire vont se succéder au cours des cycles, avec un deuxième pic de FSH observé lors du diœstrus.

##### II.3.2.2.b – Luteinizing Hormone (LH)

La LH provoque la synthèse d'œstrogènes par les follicules et joue un rôle majeur dans le phénomène ovulatoire. Sa sécrétion, longue et progressive, atteint un seuil élevé pendant plusieurs jours avec un seuil maximal 24 à 36 heures après l'ovulation. En phase lutéale, la LH exerce une action lutéinisante sur les cellules du corps jaune (celles de la thèque rompue car elles sont les seules à posséder des récepteurs pour cette hormone), et favorise son maintien et son fonctionnement (**Noden et al., 1975**). (figure09).



## II. 3.3. Fonction endocrine de l'utérus

### II.3.3.1. les prostaglandines

L'utérus est l'organe responsable de la régression du corps jaune en l'absence de gestation dans de nombreuses espèces dont la jument. Ainsi, l'hystérectomie induit le maintien du corps jaune tandis que la stimulation de l'utérus par introduction d'une substance étrangère ou une infection de l'utérus provoquent une lutéolyse précoce. La  $PGF2\alpha$  est sécrétée chez la jument par l'endomètre utérin par pulses de courte durée comme chez la brebis et les autres animaux de rente. Cette sécrétion se produit en moyenne 14 à 16 jours après ovulation dans un cycle normal chez la jument. Comme chez la vache, le corps jaune en développement (les 4-5 premiers jours) est réfractaire à l'action des  $PGF2\alpha$  (**Ginther, 1992**).

## II.4- Gestation

### II.4.1 Physiologie de la gestation

La gestation est définie comme le temps nécessaire au développement de l'œuf fécondé au sein de l'organisme maternel jusqu'à son expulsion (parturition). Deux phases sont distinguées : la phase de pro-gestation au cours de laquelle l'œuf est libre puis la gestation au sens strict qui débute par l'implantation de l'œuf dans l'utérus suivie de la formation du placenta et se termine à la parturition (**Allen, 1988; Flood, 1993**).

Chez la jument, la durée de la gestation est comprise entre 320 et 350 jours soit environ onze mois. La période pendant laquelle l'embryon est non implanté peut se diviser en deux phases : la phase tubaire (en moyenne 5 à 6 jours) et la phase utérine, qui se termine lorsque le trophoblaste et l'épithélium utérin adhèrent l'un à l'autre au 40<sup>e</sup> jour de gestation (**Allen, 1988; Flood, 1993**).

Après l'ovulation, l'ovocyte bloqué en métaphase II arrive dans l'oviducte dans les 6 à 8 heures suivant cet événement. La fécondation a lieu dans l'ampoule après l'arrivée des spermatozoïdes capotés. L'ovocyte fécondé va alors migrer dans la trompe utérine vers l'utérus tout en continuant son développement embryonnaire. Son transport à travers l'oviducte serait permis par des contractions du myosalpinx initiées par les prostaglandines  $E2$  libérées par la vésicule embryonnaire. Les divisions successives le transforment en une morula après 4 ou 5 jours suivant l'ovulation puis en un blastocyste (7<sup>e</sup> jour) (**Allen, 1988; Flood, 1993**).

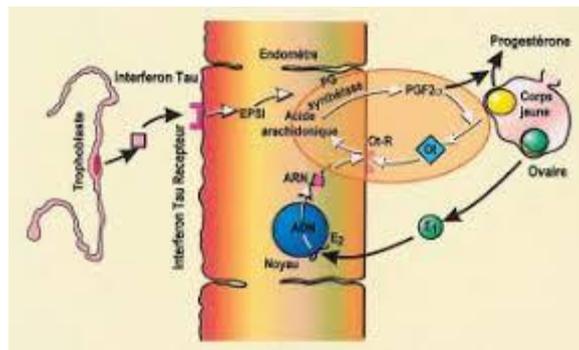
Après son arrivée dans l'utérus, le 6<sup>e</sup> jour de gestation, l'embryon de forme sphérique, va s'entourer d'une capsule faite de glycoprotéines qui jouera un rôle de protection mécanique lors de sa migration intra-utérine. La vésicule embryonnaire est particulièrement mobile dans l'espèce équine, avec une phase de mobilité maximale entre le 11<sup>e</sup> et le 14<sup>e</sup> jour de gestation. Ces phases migratoires permises par les contractions utérines le transportent dans toutes les parties de l'utérus, que ce soient le corps ou les cornes. Ces migrations sont indispensables à la reconnaissance maternelle de la gestation, c'est ainsi que toutes les parties de l'endomètre reçoivent le signal émis par l'embryon (Figure 10). Ainsi, le corps jaune est maintenu et la gestation peut se poursuivre (**Allen, 1988; Flood, 1993**).



Progressivement, la mobilité de la vésicule diminue, elle entre dans une phase de stagnation et, du fait de l'augmentation de son volume, elle se retrouve en quelque sorte « coincée » à la base d'une des cornes utérines. Il est alors possible d'observer une phase d'orientation de la vésicule embryonnaire (entre le 17<sup>e</sup> et le 20<sup>e</sup> jour) de sorte que le disque embryonnaire rentre en contact avec l'endomètre. Puis, il y a fixation de la vésicule, l'embryon se détache progressivement de la paroi trophoblastique et se retrouve alors au pôle ventral de la vésicule. Par la suite, le développement de l'allantoïde va faire migrer l'embryon dorsalement. L'organogenèse de ce dernier sera complète au bout de 35 jours de gestation (Allen, 1988; Flood, 1993).

L'implantation a donc lieu à la base d'une des cornes utérines du côté antimésométrial. La portion endométriale sur laquelle va venir se fixer l'embryon n'est pas manifestement différente d'une autre, mais la base des cornes utérines reçoit à ce niveau une large branche de l'artère utérine (Allen, 1988; Flood, 1993).

Les interactions entre le conceptus et l'endomètre sont impossibles tant que la capsule est présente. C'est pourquoi les cellules trophoblastiques entourant celui-ci vont progressivement se transformer. Il est alors possible d'observer un trophoblaste transparent entourant la majeure partie du conceptus ainsi qu'une bande blanche de cellules trophoblastiques hyperplasiées correspondant à la ceinture chorionique. Cette dernière atteint sa maturité vers le 35<sup>e</sup> jour de gestation. A partir du 36<sup>e</sup> ou 37<sup>e</sup> jour, les cellules de cette ceinture migrent, viennent envahir et détruire l'épithélium de l'endomètre pour s'implanter dans le stroma sous forme d'amas cellulaires denses qui donnent naissance aux cupules endométriales. Celles-ci vont persister au maximum jusqu'au 100-150<sup>e</sup> jour de gestation et sont à l'origine de la sécrétion de eCG (equine Chorionic Gonadotrophin) anciennement dénommée PMSG (pregnant mare serum gonadotrophin) (Allen, 1988; Flood, 1993).



**Figure 10** : Représentation schématique des interactions entre l'ovaire, l'endomètre et le conceptus en début de gestation (Thatcher *et al.*, 1989)

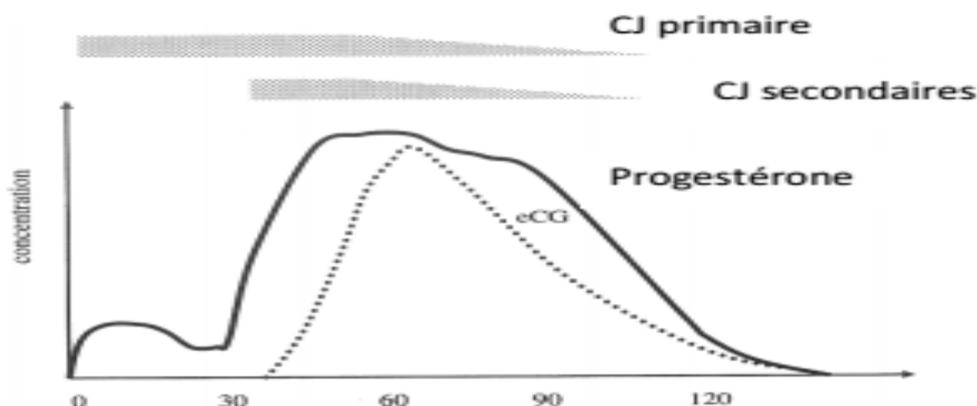
Le trophoblaste très vascularisé est en contact étroit avec l'endomètre dès le 25<sup>e</sup> jour. Un début d'interaction entre les microvillosités des cellules du trophoblaste et l'épithélium utérin a été décrit dès les 38-40<sup>e</sup> jours. Des macrovillosités fœtales (qui deviendront des microcotylédons) commencent à apparaître dès le 45<sup>e</sup> jour comme des structures rudimentaires qui se développent progressivement jusqu'à la formation d'une véritable



attache placentaire constituée de microcotylédons fœtaux et de microcaroncules maternelles (Allen, 1988; Flood, 1993).

#### II.4.2. Endocrinologie de la gestation

Les 14 premiers jours de la gestation sont similaires d'un point de vue endocrinologique à la phase lutéale d'une jument non gestante. Le corps jaune issu de l'ovulation sécrète de la progestérone. Grâce au signal de reconnaissance maternelle émis par l'embryon, l'utérus ne sécrète pas de prostaglandines F2 $\alpha$ . Le corps jaune n'est donc pas lysé aux 14e-15e jours post-ovulation, le taux de progestérone reste élevé. Ce corps jaune primaire continuera sa production d'hormones stéroïdiennes pendant 25 jours supplémentaires et sera maintenu jusqu'au 120e jour de gestation. Dans l'espèce équine, des corps jaunes secondaires ou accessoires sont formés vers le 40e jour de gestation afin de maintenir une sécrétion de progestérone suffisante. Un deuxième pic de progestérone est ainsi observé vers le 40e jour de gestation (Figure 11). La progestérone d'origine ovarienne est ainsi maintenue jusqu'au 150e jour de gestation avant que le placenta ne prenne complètement le relais. En réalité, la sécrétion de progestérone d'origine fœto-placentaire semblerait débuter dès le 30e jour de gestation (Ganjam *et al*, 1975 ; Allen, 1988).



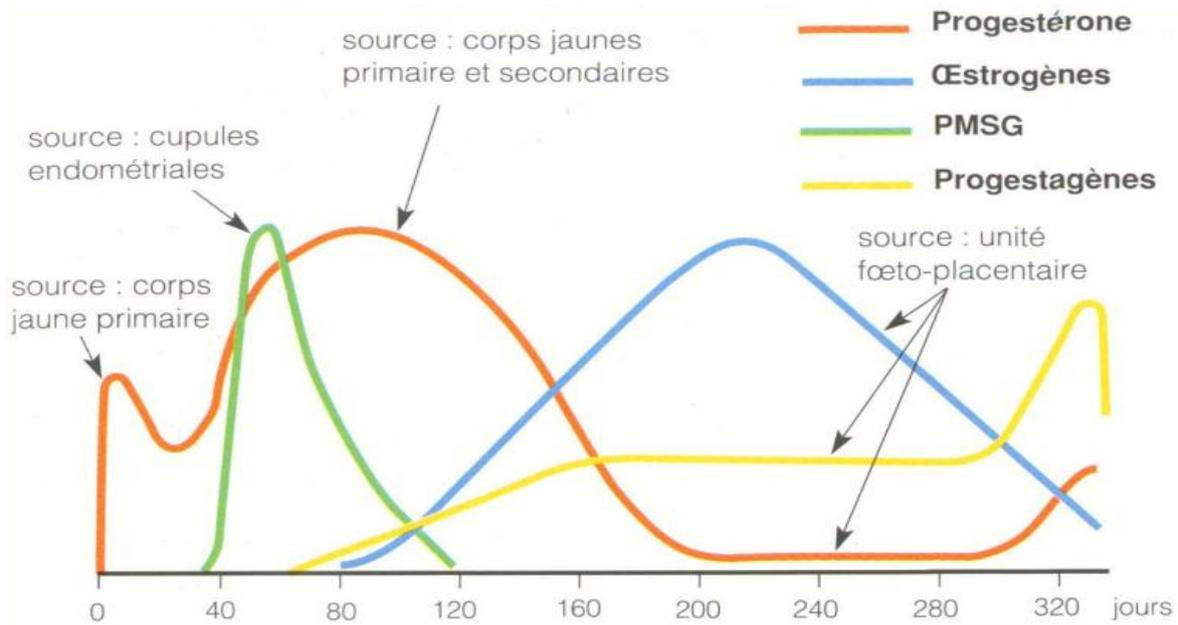
**Figure 11** : Profil hormonal lors du premier tiers de gestation chez la jument (Allen, 1988)

Une autre spécificité de la jument réside dans la sécrétion d'eCG par les cupules endométriales. Elle est détectée dans le sang maternel à partir du 35e-42e jour de gestation, atteint sa concentration maximale vers 55 à 65 jours puis diminue progressivement jusqu'à 100-150 jours de gestation (Figure 12). Cette hormone possède plusieurs rôles : le maintien du corps jaune primaire, la formation de corps jaunes secondaires et un rôle immunorégulateur dans le maintien de la gestation. L'existence de cupules endométriales est un élément important à prendre en compte lors d'arrêts précoces de gestation. Si l'arrêt de la gestation survient après la formation des cupules endométriales, la sécrétion d'eCG se poursuit et la jument peut ne pas revenir en chaleur pendant trois mois du fait de la présence de corps jaunes (Allen, 1988 ; Flood, 1993).

Concernant les œstrogènes, plusieurs sources existent chez la jument gestante: ceux produits localement par le conceptus vers le 12<sup>e</sup> jour de gestation, mais n'atteignent pas la circulation



générale, ceux produits par l'ovaire qui augmentent en parallèle à la production d'eCG et ceux produits par l'unité fœto-placentaire qui augmenteront à partir de 60 jours de gestation



**Figure 12** : Evolution des concentrations sanguines des hormones au cours de la gestation chez la jument (Allen, 1988)



## Chapitre II. Principes de l'image ultrasonore

### I. Bases physiques et techniques

#### I.1. Ondes ultrasonores

Les ondes ultrasonores possèdent des propriétés voisines de celles des ondes sonores. Par définition, les ultrasons ont une fréquence supérieure à 20 000 Hertz (Hz), ils sont donc inaudibles pour l'Homme qui ne perçoit que des fréquences de 30 à 15 000 Hz. En échographie clinique vétérinaire, les fréquences utilisées oscillent entre 2 et 15 millions d'Hertz (2 et 15 MHz) (Valon et Legrand, 1981).

Le son résulte de la vibration des molécules d'un milieu. Il se propage sous forme d'onde mécanique susceptible de subir des réflexions (échos), des réfractions et des interférences. La propagation du son ne peut se faire que dans la matière. Ainsi, le son n'est pas transmis par le vide, contrairement aux rayons X.

L'onde sonore est caractérisée par les paramètres suivants :

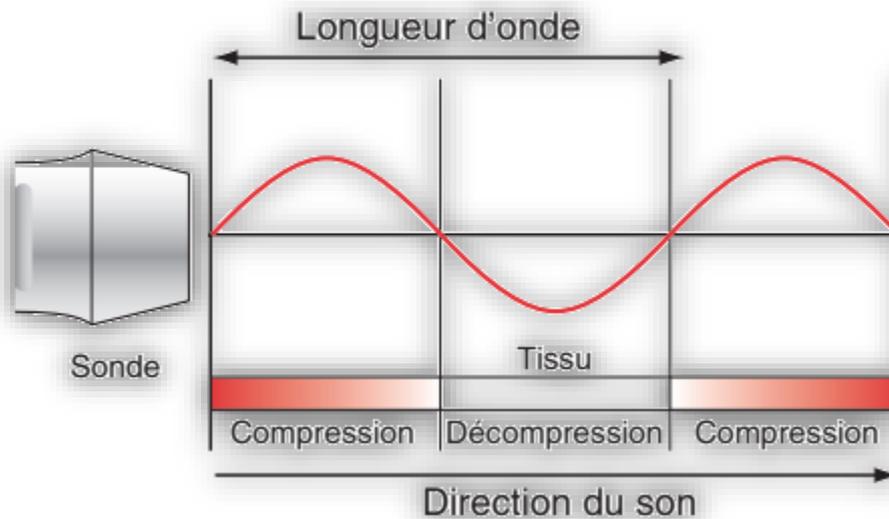
##### I.1.1. Fréquence

La fréquence (F) de l'onde sonore correspond au nombre de compressions et d'expansions que subissent les molécules du milieu en une seconde. Elle s'exprime en Hertz (Hz) ou cycle/ seconde (Jaudon et al., 1991).

La nature de l'onde sonore (infrasons, sons, ultrasons, hypersons) est définie par sa fréquence. Seuls les sons, ayant une fréquence comprise entre 16 Hz et 18 kHz, sont audibles par l'oreille humaine.

##### I.1.2. Longueur d'onde

La longueur d'onde d'un faisceau ultrasonore représente la distance entre deux ondes successives (Figure 13).



**Figure 13:** Longueur d'onde (Penninck et Cuveliez, 1985)

### I.1.3. Célérité de l'onde

La célérité de l'onde ( $C$ ) correspond à la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu. Elle varie en fonction du milieu considéré (Tableau 01). La vitesse de propagation des ultrasons est de 1540 m/s environ dans les tissus mous, 332 m/s dans l'air et 4080 m/s dans l'os. Elle s'accroît avec la cohésion moléculaire du milieu traversé. Généralement, puisque les vitesses de propagation des sons dans les différents tissus mous sont très proches, la valeur de 1540 m/s (vitesse moyenne des ultrasons dans les tissus mous) est retenue pour étalonner les échographes.

**Tableau 01:** Vitesse de propagation des sons dans les différents tissus (Nyland *et al.*, 1995)

Tissus ou matériaux	Vitesse de propagation du son (m/s)
Air	331
Graisse	1450
Eau	1495
Tissu mou (moyenne)	1540
Cerveau	1541
Foie	1549
Rein	1561
Sang	1570
Muscle	1585
Os	4080



### I-1-4.Intensité

L'intensité d'un ultrason correspond à la puissance du faisceau par unité de surface. Elle est exprimée en watt par  $\text{cm}^2$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ).

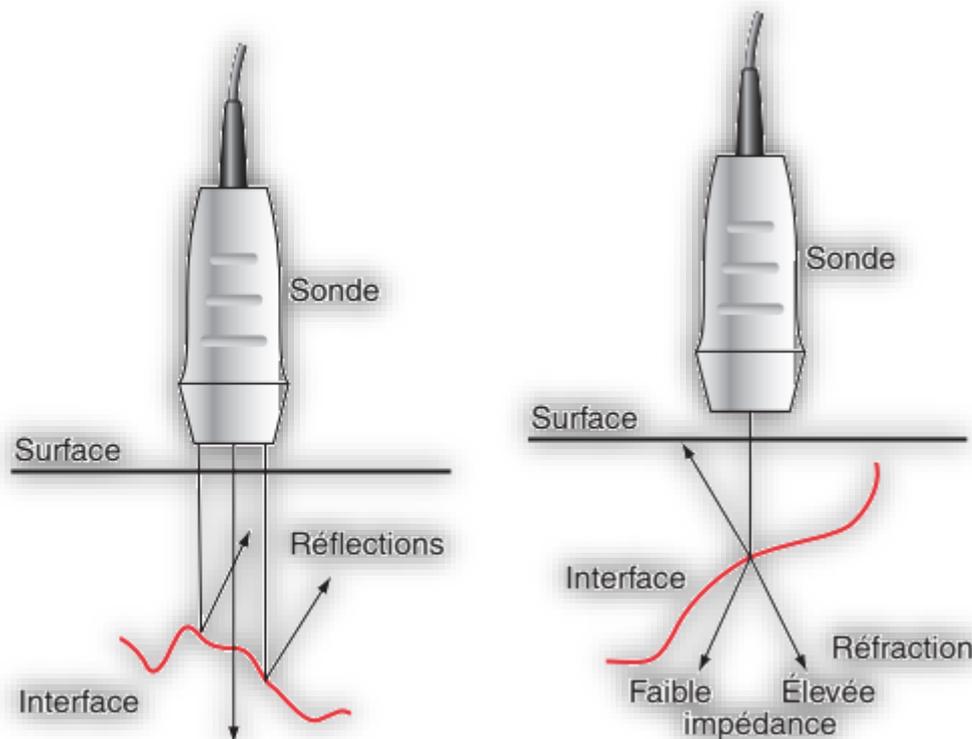
Pour le diagnostic échographique, l'appareil émet un faisceau d'ultrasons dont l'intensité varie entre 0,1 et 0,001  $\text{W}/\text{cm}^2$  (**Legrand et Carlier, 1981**).

## I.2. Formation des échos

### I.2.1. Réflexion spéculaire

Lorsque le faisceau d'ultrasons rencontre un obstacle (interface), il subit simultanément une réflexion et une réfraction (Figure 14). L'écho représente la partie réfléchie de l'onde incidente.

La réfraction correspond à l'onde qui traverse cette interface et qui peut atteindre l'interface suivante (**Carniel, 1987**).



**Figure 14** : La réflexion et la réfraction de l'onde ultrasonore incidente (**Boon, 1998**)



Lors de réflexion spéculaire, encore appelée réflexion de type miroir, deux cas sont possibles (Carniel, 1987):

- l'obstacle se comporte comme un écran et toute l'onde ultrasonore incidente est réfléchiée si bien que le faisceau réfracté est nul, ce qui entraîne une perte d'information des structures sous-jacentes à l'obstacle. C'est par exemple le cas quand l'obstacle est un os ou du gaz,
- l'obstacle est franchi par une partie du faisceau ultrasonore (onde réfractée), l'autre partie est réfléchiée et constitue l'écho. L'onde réfractée permet de recevoir des échos des structures plus profondes.

### I.2.2. Réflexion non spéculaire

La réflexion non spéculaire est également appelée diffusion (Legrand et Carlier, 1981), dispersion des ultrasons ou réflexion multidirectionnelle parlant.

Elle se produit lorsque le faisceau d'ultrasons rencontre une structure réfléchissante irrégulière ou de très petite dimension par rapport à la longueur d'onde ultrasonore, comme des cellules, des capillaires, du tissu conjonctif (Ginther, 1995).

Des échos sont émis dans une multitude de direction indépendamment de l'angle d'incidence du faisceau, mais seuls ceux qui retournent à la sonde sont utiles pour la formation de l'image échographique (Figure 15).

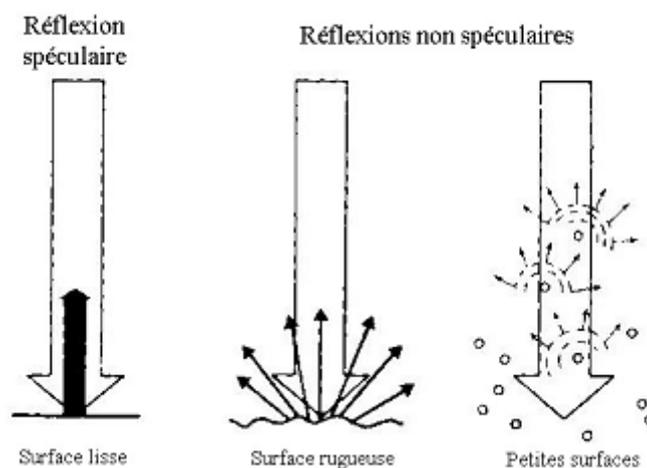


Figure 15 : Les différents types de réflexion des échos (Ginther, 1986)



### I.2.3. Impédance

L'impédance acoustique est la mesure de la résistance à la propagation des ondes sonores (Tableau 02).

**Tableau 02:** Impédance acoustique de différents milieux (Chetboul, 1999).

Milieu	impédance acoustique Z (g.cm <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>Air</b>	<b>0,0004 x 10<sup>5</sup></b>
<b>Graisse</b>	<b>1,38 x 10<sup>5</sup></b>
<b>Sang</b>	<b>1,61 x 10<sup>5</sup></b>
<b>Rein</b>	<b>1,62 x 10<sup>5</sup></b>
<b>Muscle</b>	<b>1,70 x 10<sup>5</sup></b>
<b>Os</b>	<b>7,80 x 10<sup>5</sup></b>

### I.3. Pénétration des ultrasons

La pénétration des ultrasons dans les tissus de l'organisme dépend de la fréquence de l'onde ultrasonore (Tableau 03). Plus la fréquence de la sonde est élevée, moins le faisceau d'ultrasons pénètre dans les tissus.

**Tableau 03 :** Relation entre profondeur d'exploration et fréquence de la sonde (Carniel, 1987)

Fréquence de la sonde (MHz)	Profondeur d'exploration (cm)
2,5	<b>29</b>
3,5	<b>22</b>
5,0	<b>14</b>
7,5	<b>07</b>

## II. Emission et réception des ultrasons

Schématiquement, un échographe est composé d'une sonde et d'un oscilloscope capable de transcrire les images. Le principe de base de la formation de l'image échographique repose sur un phénomène physique appelé la transduction. La transduction



correspond à la transformation d'une énergie en une énergie d'une autre nature. En échographie, le type de transduction utilisé est l'effet piézoélectrique, par lequel une énergie mécanique de type vibratoire est transformée en une énergie électrique (**Penninck et Cuvellez, 1985**).

Ainsi, la sonde comporte des cristaux piézoélectriques qui vibrent sous l'effet d'un courant de haut voltage et de courte durée et génèrent alors des ultrasons. Le cristal est alors émetteur d'ultrasons.

Par ailleurs, ces cristaux sont capables de recevoir des ultrasons et de les transformer en courant électrique, visualisable après amplification sur l'écran d'un oscilloscope. C'est ce qui se produit entre deux stimulations électriques successives: le cristal est alors récepteur. L'échographie diagnostique repose sur le principe de l'écho pulse.

### **III. Modes de traitement des échos**

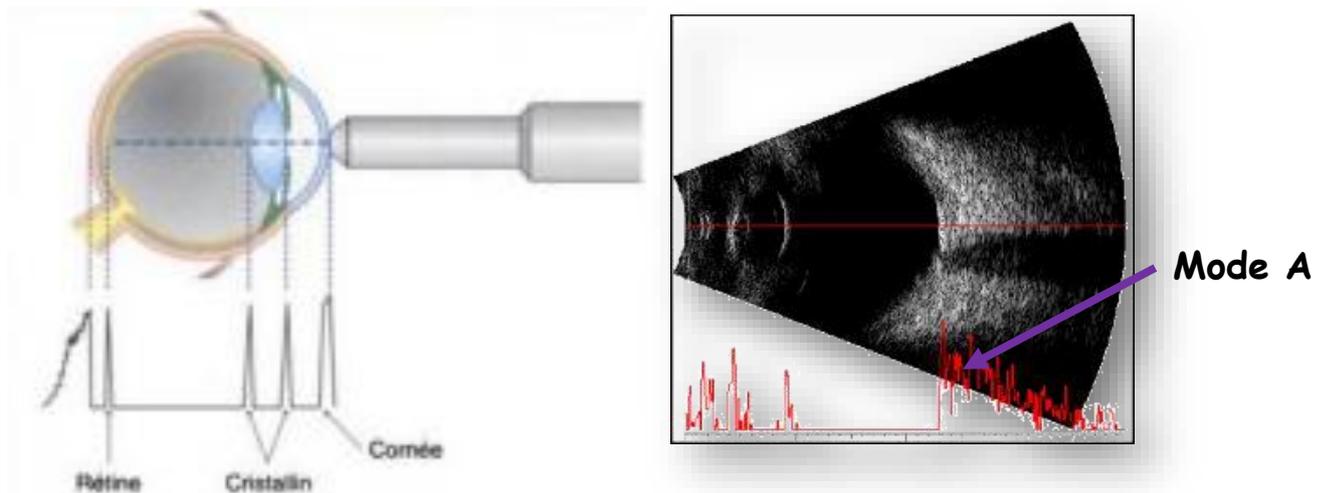
Ces modes correspondent à la façon dont sont traités les échos reçus. Il existe quatre modes de traitement des échos :

#### **III.1. Mode A (Mode Amplitude)**

Il permet d'afficher l'amplitude du signal reçu par la sonde en fonction de la profondeur observée.

Les « pics » d'amplitude dépendent de l'intensité de l'onde réfléchie. Un faisceau unique de direction constante est utilisé (Figure 16).

Ce mode était utilisé en ophtalmologie, neurologie pédiatrique et en expertise des viandes pour mesurer les masses musculaires (**Mercier, 1989**).

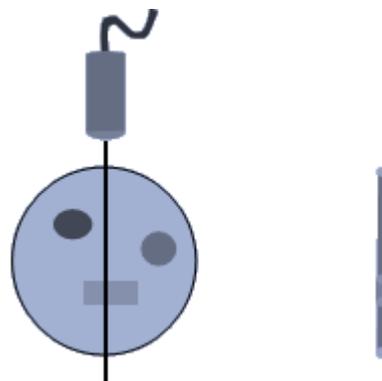


**Figure 16:** échographie en mode A d'un œil (Block, 2004)

### III.2. Mode B (Mode Brilliance)

Les « pics » d'amplitude du mode A sont remplacés par des points lumineux plus ou moins brillants. La brillance des points augmente avec l'intensité du faisceau ultrasonore réfléchi (Figure 17). Sur l'écran, les points varient du noir (pas de réflexion) au blanc (très forte réflexion) en passant par toute une gamme de gris, nommée « échelle de gris » (Penninck et Cuvellez, 1985).

Dans ce mode aussi, un seul faisceau, dans une direction unique, est utilisé. Il est possible d'obtenir une image dite « image en temps différé » après avoir déplacé la sonde manuellement. L'appareil mémorise tous les points représentant des échos et reconstruit ensuite une image.



**Figure 17:** Illustration du Mode B (Block, 2004)



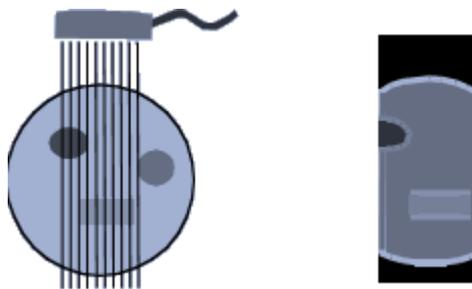
### III.3. Mode BD (Mode Bidimensionnel)

Le mode bidimensionnel, encore appelé mode dynamique ou temps réel, permet d'obtenir une image en deux dimensions d'un plan de coupe. Ce mode correspond à la juxtaposition d'une multitude d'images en mode B (Figure 18), obtenue (**Penninck et Cuvelliez, 1985 ; Jaudon *et al.*, 1991**).

- Soit par balayage mécanique d'un seul cristal ou rotation d'un petit nombre de cristaux, dans le plan de coupe désiré, sans déplacer la sonde à la différence du mode B : c'est le type sectoriel mécanique,
- Soit par excitation de proche en proche de nombreux cristaux disposés côte à côte en ligne droite : c'est le type électronique linéaire,
- Soit par décalage électronique de nombreux cristaux disposés côte à côte en arc de cercle : c'est le type sectoriel électronique.

Ces moyens d'obtention de l'image en mode BD définissent les différents types de sondes échographiques qui seront abordés plus loin.

L'échographie en mode bidimensionnel est de loin la plus employée actuellement.

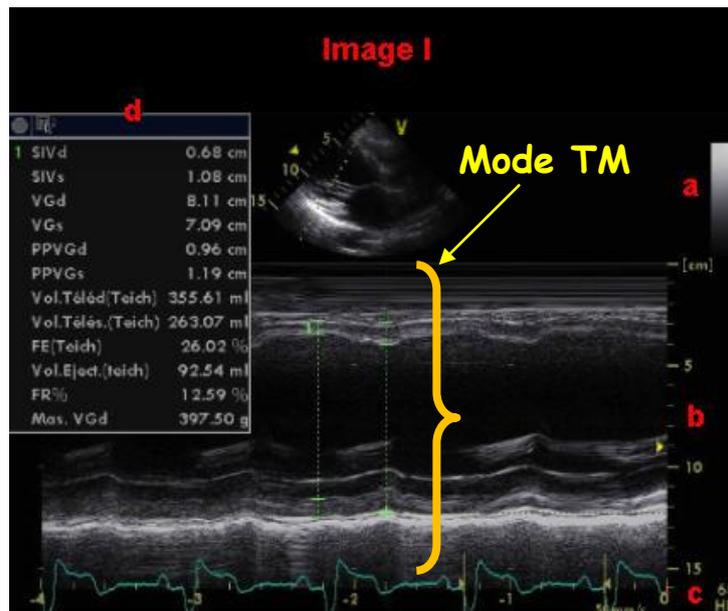


**Figure 18:** Mode BD (**Block, 2004**)

### III.4. Mode TM (Mode Temps Mouvement)

Le mode « mouvement ». Il permet à la sonde de recueillir les différentes intensités des ultrasons au cours du temps. Ce mode est uniquement utilisé en échocardiographie, pour observer les mouvements des différentes parois et valvules du cœur (**Mai, 1994**).

A l'écran, les structures en mouvement apparaissent comme des courbes ondulantes et les structures fixes comme des lignes horizontales (Figure 19).



**Figure 19:** Illustration du Mode TM (Block, 2004)

#### IV. Choix de la fréquence des ultrasons

En médecine vétérinaire, les sondes de 3,5 MHz, 5 MHz et 7,5 MHz sont majoritairement utilisées. La pénétrance d'une sonde de 7,5 MHz n'est que de 4 à 5 cm, seules les structures proches de la sonde peuvent donc être examinées précisément (follicules, corps jaune, petits embryons). Une sonde de 5 MHz a une pénétrance de 8 à 10 cm, permettant de visualiser les ovaires, l'utérus et les éléments structuraux de début de gestation. La pénétrance de la sonde de 3,5 MHz est de 12 à 15 cm, elle permet d'examiner des gestations plus avancées et les états pathologiques de l'utérus tel que le pyomètre (Tableau 04).

Lorsque la fréquence diminue, la pénétrance devient plus importante mais la résolution diminue, c'est-à-dire que pour distinguer deux structures, il faut que leur distance soit accrue.



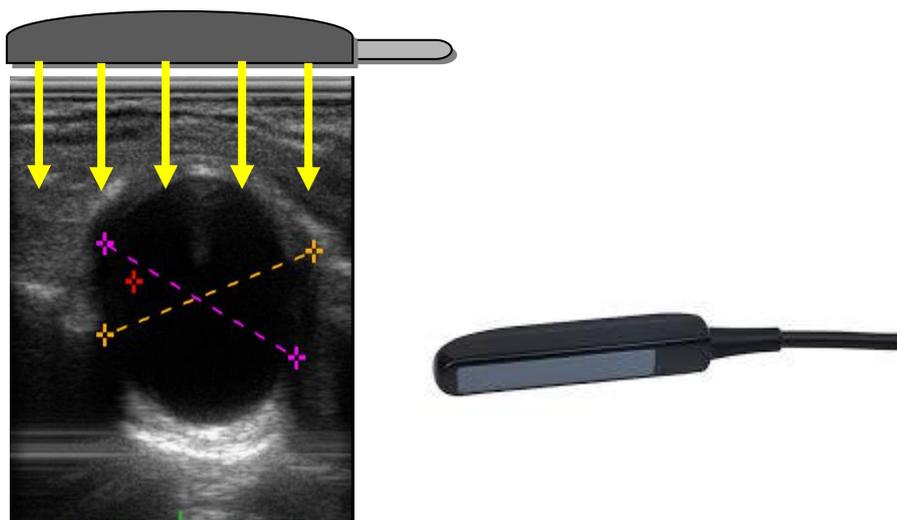
**Tableau 04** : Fréquence des sondes en fonction des indications en reproduction chez les équins (Carniel, 1987)

Indications	Fréquence conseillée en MHz
<b>Diagnostic de gestation</b>	<b>5-6 ; 7,5</b>
<b>Gynécologie</b>	<b>5-6 ; 7,5</b>
<b>Sexage</b>	<b>5-6 ; 7,5</b>
<b>Ponction follicule ovarien</b>	<b>7,5</b>
<b>Suivi de gestation par voie externe transcutanée</b>	<b>3,5</b>

## V. Différents types de sondes

### V.1. Sonde linéaire:

C'est une sonde électronique multicristaux. Ceux-ci sont alignés et stimulés en série. Elle permet un balayage permanent sur une longueur de 10cm ou plus. On obtient une image rectangulaire de bonne résolution, fine (Figure 20).



**Figure 20** : Sonde linéaire (Images personnelles)



## V.2. Sonde sectoriel

La sonde sectorielle ou rotative: c'est une sonde mécanique. Elle balaie un secteur de l'espace et comprend soit un seul cristal qui fait des mouvements oscillants, soit quelques cristaux en mouvement rotatif. La surface de contact est faible, l'image est triangulaire avec une perte d'information sur les premiers cm et sur les côtés à compenser en déplaçant la sonde (Figure 21). Son avantage réside dans le rapport entre la surface de contact balayée et le champ observé (Mialot *et al.*, 2001).

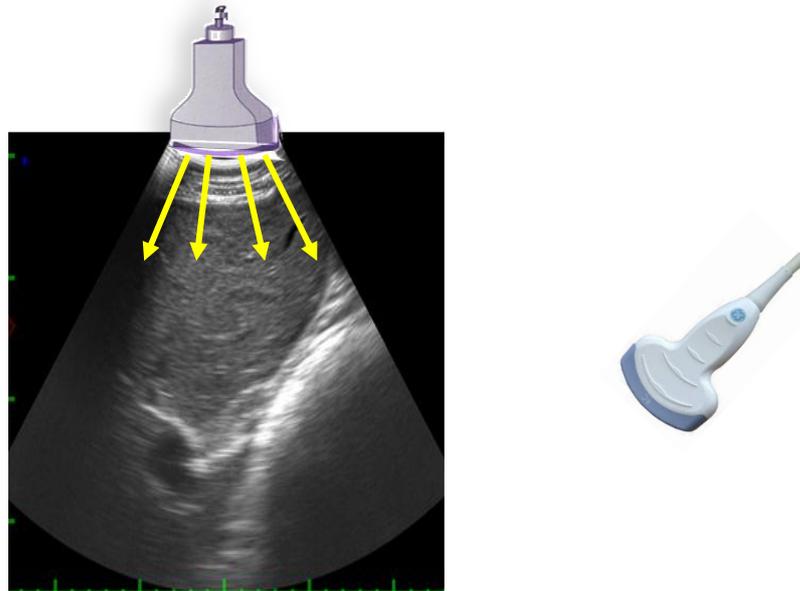


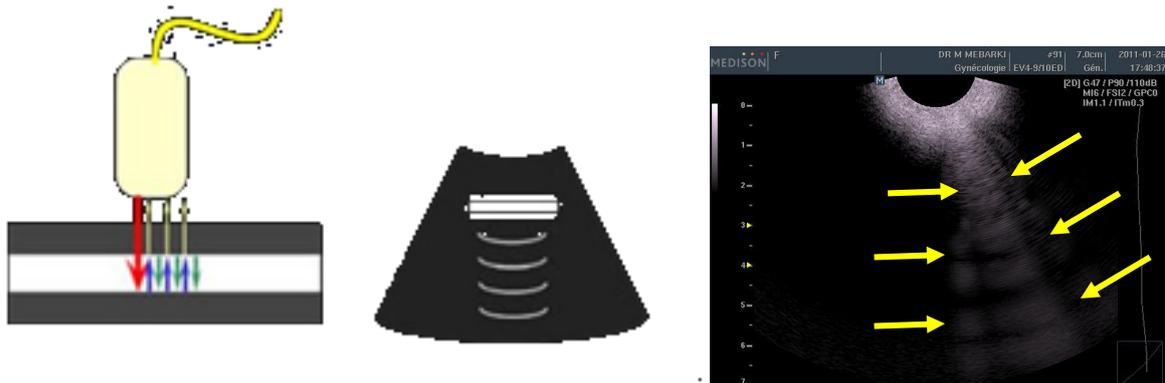
Figure 21 : Sonde sectorielle (Images personnelles)

## VI. Artefacts

### VI.1. Réverbération

C'est l'artéfact le plus fréquent. Lorsque les échos rencontrent une interface très réfléchissante (tissu mou/air par exemple), ils sont presque tous réfléchis. Ceci peut se produire avec une structure digestive remplie de gaz, ou de manière artificielle, lorsque le contact sonde-muqueuse rectale est insuffisant et que l'air s'insinue dans cet espace.

Les ultrasons effectuent des allers-retours entre la sonde et l'interface réfléchissante : l'image obtenue est constituée de lignes échogènes parallèles dont seule la première correspond réellement à la surface échogène (Figure 22), les autres étant des échos issus de la réverbération (Maï, 1994).



**Figure 22** : Photo et représentation schématique de l'artéfact réverbération (flèches jaunes) **(Image personnelle)**

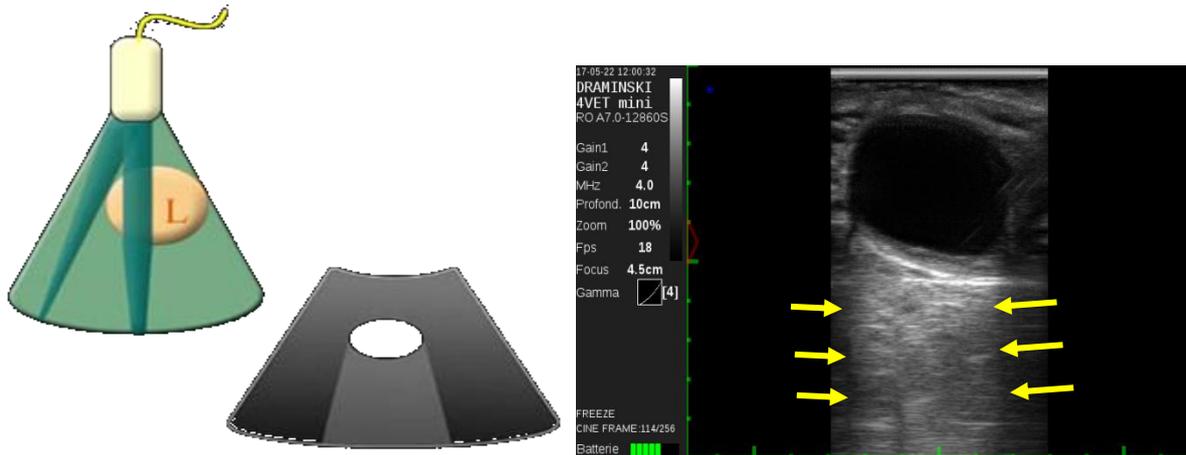
### VI.2. Interférences :

Il s'agit de lignes blanches verticales discontinues, provoquées par un mauvais réglage, ou encore par le dysfonctionnement simultané de plusieurs appareils sur une même ligne électrique.

### VI.3. Renforcement postérieur

Lorsque les ultrasons traversent les liquides, ils ne rencontrent pas d'interface et ne sont pas réfléchis. Par conséquent, les ultrasons arrivant dans les tissus au-delà des structures liquidiennes n'ont pas subi d'atténuation, et font apparaître ces tissus comme hyperéchogènes par rapport aux tissus adjacents non précédés de liquides (Figure 23). Ces artéfacts ne sont pas nuisibles, au contraire, ils permettent de faire la distinction entre une structure liquidienne (suivie d'un renforcement postérieur), et une structure simplement hypoéchogène (non suivie d'un renforcement postérieur).

De telles images peuvent être rencontrées lors d'échographie de kystes ou de follicules ovariens de gros diamètre (**Ginther, 1986**).



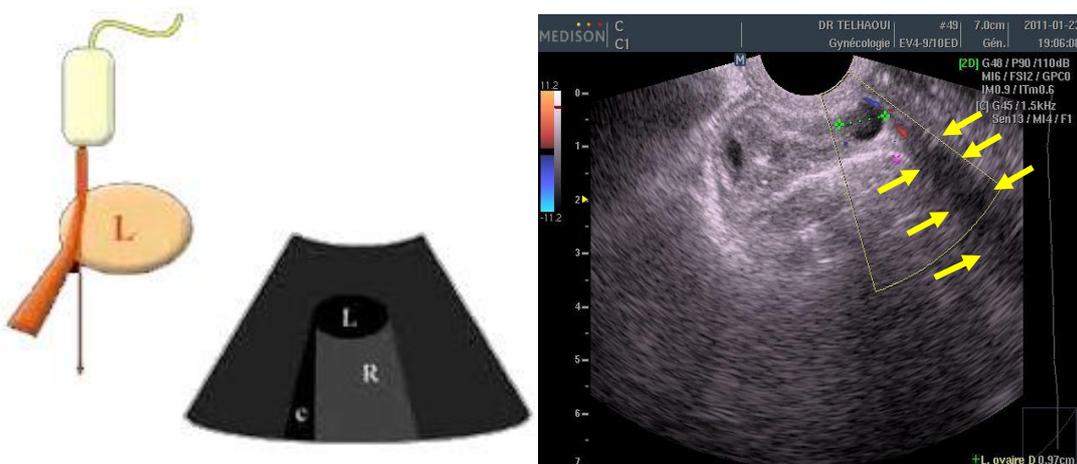
**Figure 23:** photo et représentation schématique du renforcement postérieur (flèches jaunes)  
(Image personnelle)

#### VI.4.Cône d'ombre acoustique

L'os comme l'air, est à l'origine d'interfaces très réfléchissantes ; peu d'ondes sonores traversent les tissus situés en aval de ces interfaces. Il en résulte une image très échogène (os ou air), suivie d'une zone où pratiquement aucun écho n'est parvenu, apparaissant très noire (Figure 24).

Dans le cas de l'air, l'interface étant réfléchissante à 99%, il existe un phénomène de réverbération entre la sonde et l'interface donnant un cône d'ombre hétérogène, dit « sale ».

Dans le cas de l'os, l'interface est moins réfléchissante, il existe une certaine absorption des ultrasons, il n'y a quasiment pas de réverbération : le cône d'ombre est noir homogène, dit « propre » (Ginther, 1986 ; Mai, 1994 ).

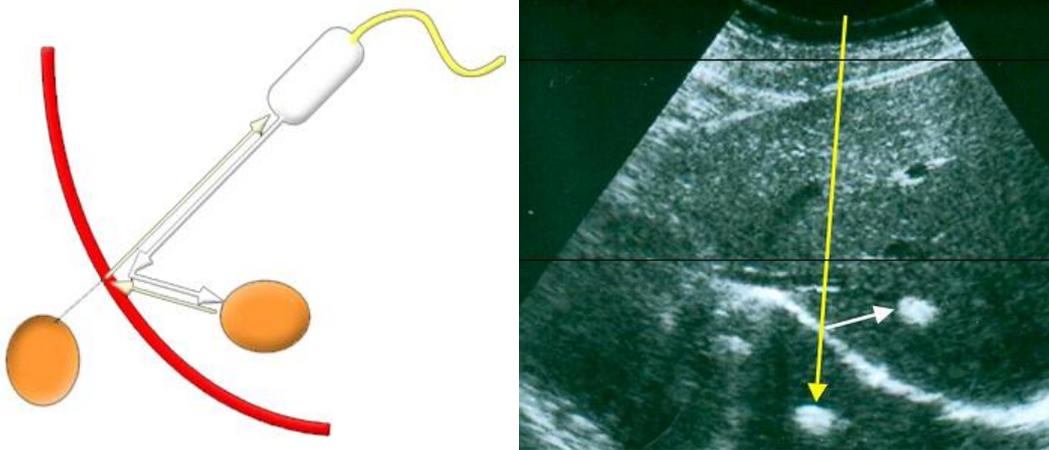


**Figure 24:** Photo et représentation schématique du cône d'ombre (flèches jaunes)  
(Image personnelle)



### VI.5. Image en miroir

L'image en miroir correspond à l'apparition sur l'écran de deux images identiques, symétriques par rapport à une ligne très échogène (Figure 25). Elle se produit souvent au niveau d'interfaces arrondies très réfléchissantes (**Penninck et Cuvellez, 1985**).



**Figure 25:** Photo et représentation schématique de l'image en miroir (**Barthez, 2002**)



## Chapitre III. Principes de l'échographie Doppler

### I. Principes physiques

L'effet Doppler a été décrit pour la première fois par Christian Johann Doppler (1803-1853). Il a montré que tout type d'onde (lumière, son...) change de longueur d'onde quand la position entre la source de l'onde et le récepteur d'onde change. Par exemple, quand un individu se déplace vers la source d'un son, le ton et la fréquence de ce son augmentent. A l'inverse, lorsqu'il s'éloigne de la source du son, la fréquence diminue. Le changement de fréquence entre le son transmis et le son reçu est l'effet Doppler.

La chauve-souris utilise l'effet Doppler pour rechercher ses proies (Figure 26). Ainsi, lorsque la chauve-souris (à la fois émetteur et récepteur d'ondes) et sa proie (surface de réflexion) sont immobiles, les longueurs d'ondes transmises et réfléchies sont identiques. Quand la proie se déplace vers la chauve-souris, les ondes sonores rencontrent plus souvent la proie, augmentant le nombre d'ondes réfléchies vers la chauve-souris (augmentation de la fréquence). Inversement, lorsque la proie s'éloigne de la source, le nombre d'ondes réfléchies vers la chauve-souris et la fréquence du signal diminuent (**Boon, 1998**).

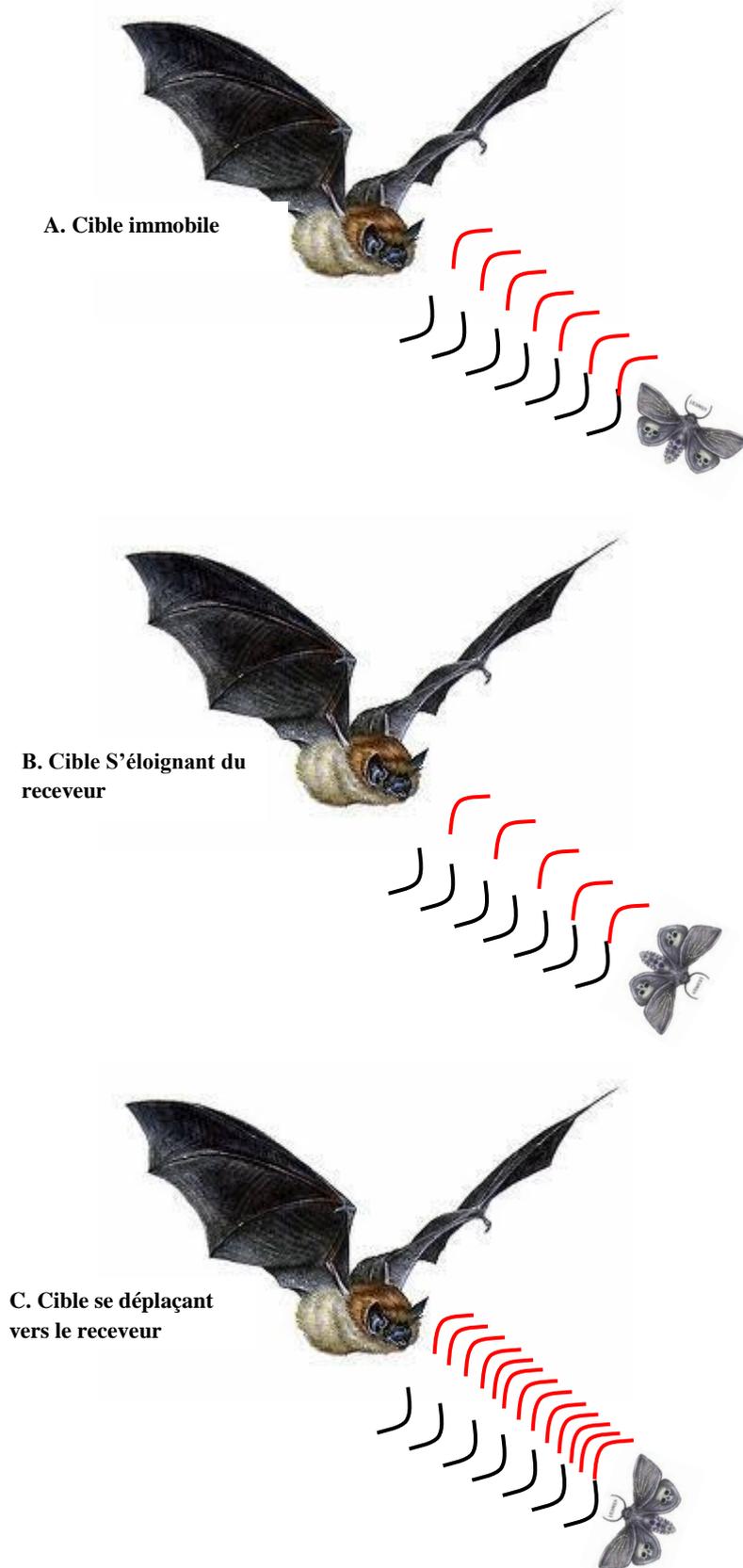
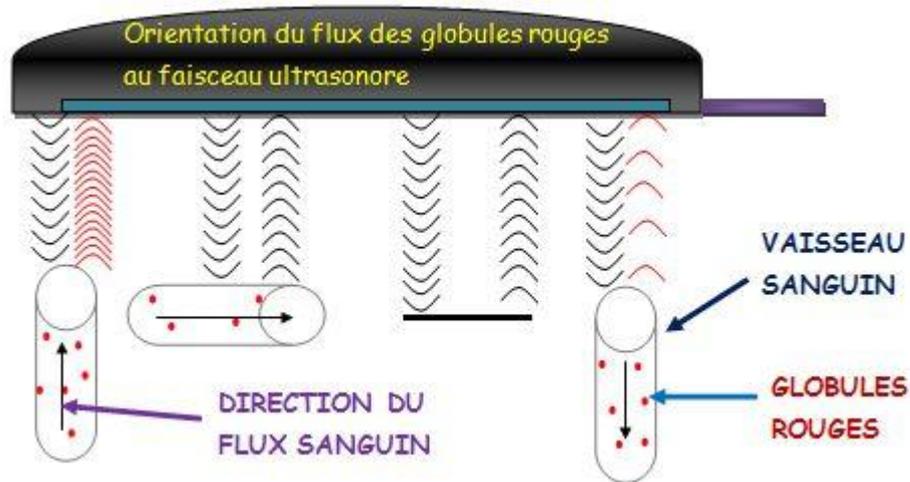


Figure 26 : Illustration de l'effet Doppler. (Image personnelle)



Le mode Doppler permet de visualiser et d'analyser le flux sanguin. Il nous donne des informations sur la direction (Figure 27), la vitesse, et les caractéristiques du flux sanguin.

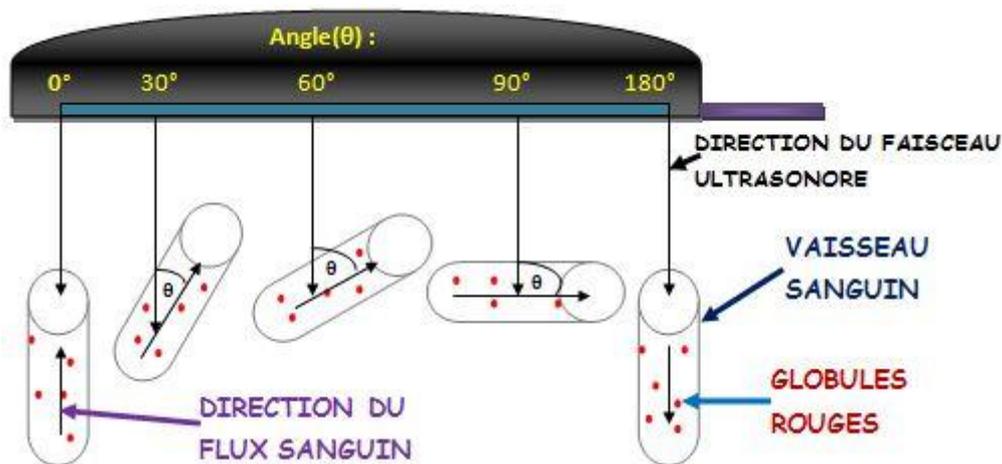


**Figure 27** : Illustration de la fréquence Doppler (modifié d'après Ginther et Matthew, 2004)

Dans le cas d'études de la vascularisation, l'émetteur et le récepteur final d'ultrasons est la sonde, la surface réfléchissante est le flux sanguin ou plus précisément les globules rouges présents dans le vaisseau étudié. La valeur de la variation de fréquence (encore appelée glissement de fréquence ou fréquence Doppler) est déterminée par la vitesse du flux sanguin, qui peut être calculée à l'aide de l'équation Doppler :

$$V = [C (+/- \Delta f)] / [2f_0 \cos \theta]$$

où V est la vitesse du flux sanguin (m/sec), C la vitesse de propagation des ultrasons dans les tissus mous (1540 m/sec), +/- $\Delta f$  la variation de fréquence (en Hz),  $f_0$  la fréquence émise et  $\cos \theta$  la fonction cosinus de l'angle entre le faisceau d'ultrasons et le vecteur du flux sanguin (Figure 28) (Reef, 1998).



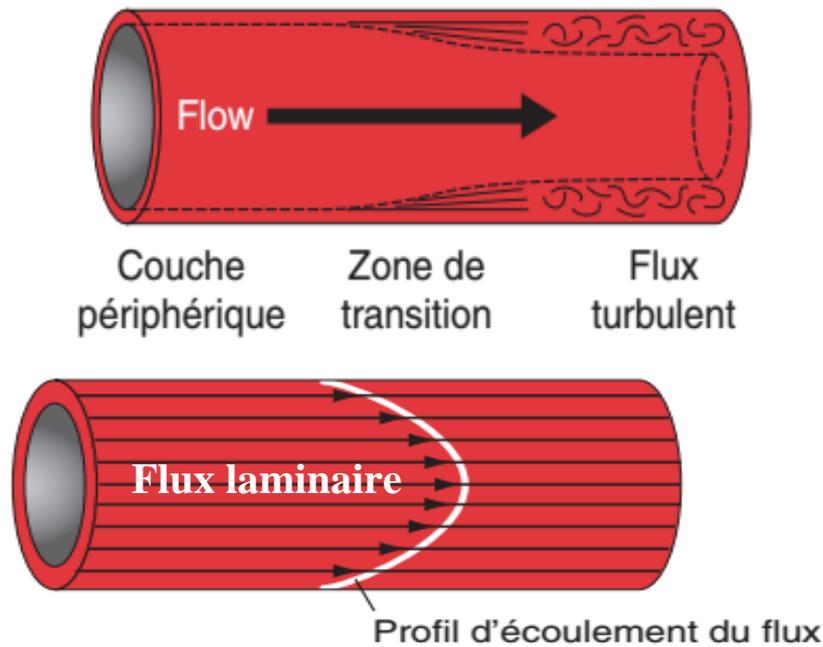
**Figure 28 :** Illustration de l'angle  $\theta$  (modifié d'après Ginther et Matthew, 2004)

Par cette formule, il est aisé de comprendre que pour mesurer la vitesse maximale, le faisceau émis doit être parallèle au flux récepteur de telle sorte que  $\theta$  soit nul et son cosinus égal à 1. Plus  $\theta$  augmente, plus la vitesse du flux sanguin est sous estimée : un angle de  $20^\circ$  provoque ainsi un facteur d'erreur de 6% et un angle de  $35^\circ$  engendre une erreur de 18%. Ainsi, en pratique, l'angle  $\theta$  doit être compris entre 0 et  $20^\circ$ . Ceci différencie l'image Doppler de l'image échographique simple. En effet, pour obtenir les meilleures images en échographie classique, il est conseillé d'avoir un faisceau d'ultrasons arrivant perpendiculairement aux structures examinées. En mode Doppler en revanche, le faisceau d'ultrasons doit être le plus parallèle possible au flux sanguin pour en mesurer la vitesse maximale. Il est donc difficile d'obtenir simultanément une image échographique de bonne qualité associée au meilleur signal Doppler (Chetboul *et al.*, 1999).

## II. Analyse de l'effet Doppler

### II-1. Analyse auditive

Le signal Doppler peut être transformé en signal acoustique, car il se situe en zone audible entre 20 et 20 000 Hz. Ce signal est amplifié puis envoyé à un haut-parleur. La tonalité est douce pour un flux sanguin laminaire, au contraire rude et intense pour un flux turbulent (Figure 29) (sténose, fuite, shunt) (Chetboul *et al.*, 1999).



**Figure 29** : Flux laminaire et flux turbulent. (modifié d'après Chetboul *et al.*, 1999)

Le signal acoustique est un excellent guide pour obtenir le meilleur spectre de vitesses (le plus clairement audible, correspondant à la vitesse maximale du flux sanguin). L'oreille humaine arrive à percevoir nettement les différences entre flux normal et anormal et cela sera plus aisé que de repérer des zones de turbulences sur un tracé (Reef, *et al.*, 1998).

## II.2. Analyse graphique

Les différentes vitesses des flux sanguins peuvent être représentées sous forme de graphiques dans les modes Doppler continu et pulsé.

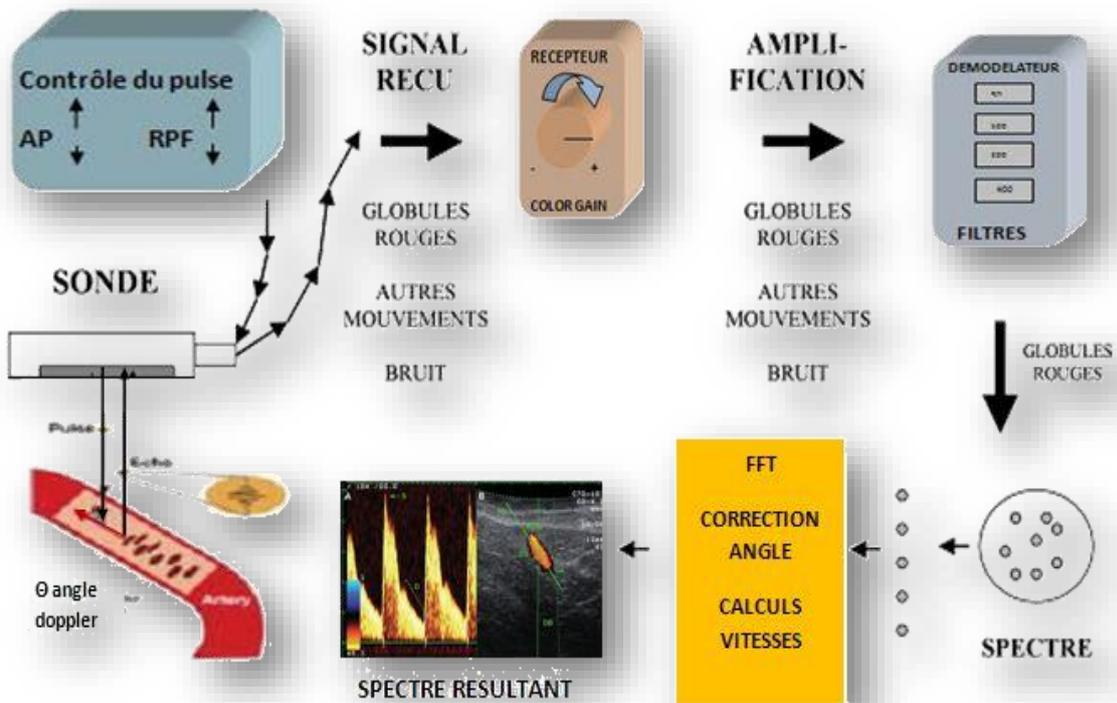
deux modes de représentation graphique des vitesses :

- la représentation de la moyenne des vitesses du ou des flux sanguin(s) traversé(s) en fonction du temps. Ce mode de représentation est source d'erreur car en présence de deux flux inverses, la vitesse moyenne devient nulle et ne reflète donc pas la réalité hémodynamique. (Chetboul *et al.*, 1999).

- la représentation du spectre de l'ensemble des vitesses sanguines en temps réel. Cette représentation est rendue possible par la technique de transformation rapide de Fourier. Le signal Doppler est ainsi transformé en un spectre de vitesses. Ces vitesses sont enregistrées sous forme de courbes selon leur valeur absolue (exprimée en m/sec) et selon leur direction, de part et d'autre de la ligne du zéro (Figure 30). Un flux s'éloignant



de la sonde (flux rétrograde) est par convention négatif, donc situé au dessous de la ligne du zéro. Inversement, un flux s’approchant de la sonde (antérograde) est positif, donc situé au dessus de la ligne du zéro. A l’analyse spectrale par transformation de Fourier, s’ajoute un codage en modulation de brillance : les vitesses les plus représentées sont les plus lumineuses et les plus brillantes (Chetboul *et al.*, 1999 ; Ginther et Matthew, 2004).



**Figure 30 :** Représentation schématique du fonctionnement d’un système d’échographie Doppler pulsé pour la production d’un spectre de vitesses (modifié d’après Ginther et Matthew, 2004)

### II-3. Analyse colorimétrique

Les signaux Doppler peuvent être codés en couleur. Conventionnellement, les instruments Doppler couleur sont codés de sorte que les flux laminaires antérogrades apparaissent en rouge et les flux laminaires rétrogrades en bleu. Les turbulences sont codées en vert. Le ton de la couleur est fortement influencé par la qualité du signal et la vitesse du flux : la brillance est proportionnelle à la valeur absolue de la vitesse. Cependant, sur la plupart des instruments,



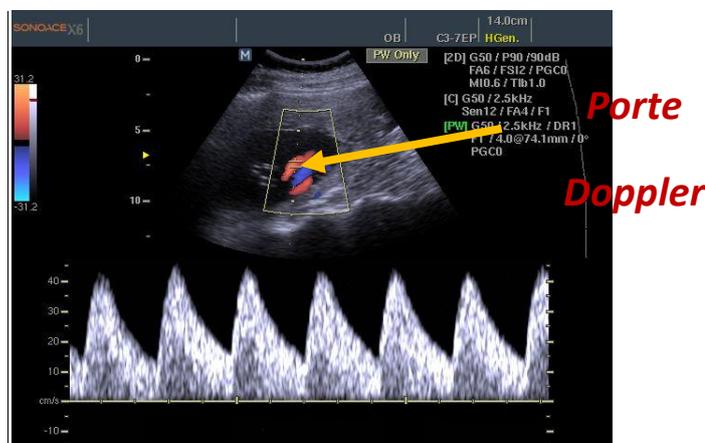
ces couleurs peuvent être changées selon les préférences de l'opérateur. Cette technique permet d'apprécier directement à l'écran la vascularisation d'un territoire (Chetboul *et al.*, 1999 ; Ginther et Matthew, 2004 ).

### III. Les différents modes Doppler

#### III.1. Doppler pulsé

Dans ce mode, les ultrasons sont émis par pulses dans les tissus vers une profondeur déterminée. Les échos réfléchis provenant de cette profondeur sont reçus par la sonde avant l'émission du pulse suivant. En effet, la sonde utilisée comporte un seul cristal piézo-électrique à la fois émetteur et récepteur d'ultrasons. La fréquence de répétition des pulses ou PRF représente le nombre d'émissions-réceptions par seconde. La PRF est déterminée par la distance entre la sonde et le flux sanguin à analyser (Reef, 1998). En raison de cette PRF, les vitesses ne sont mesurées que dans un volume échantillon ou « porte Doppler » (Figure 31) dont on peut choisir à la fois la taille et la profondeur par rapport aux repères échographiques en 2 dimensions (2D).

La PRF est inversement proportionnelle à la profondeur du flux sanguin que l'on veut analyser : plus le volume échantillon est situé loin de la sonde, plus la PRF est faible et inversement. Plus une structure est située en profondeur, plus le temps d'aller et retour du signal ultrasonore est long. Comme le signal transmis doit être reçu avant qu'un suivant ne soit émis, la PRF est abaissée. En pratique, la profondeur et la taille de l'échantillon sont choisies par l'opérateur sur l'image 2D. Ceci détermine respectivement la valeur de la PRF et la durée de l'impulsion et du temps d'écoute (Chetboul *et al.*, 1999).



**Figure 31** : Image échographique illustrant la « porte Doppler » (Image personnelle)



### III.2. Doppler continu

En Doppler continu, la sonde utilisée comporte deux cristaux spécialisés dans deux fonctions différentes :

- un cristal émetteur dont le rôle est de produire de façon continue des ondes ultrasonores. Ces ondes vont se propager et se réfléchir sur les différentes structures rencontrées,

- un cristal récepteur dont le rôle est de recevoir de façon continue les ondes ultrasonores émises et de transformer les variations de pression ultrasonique en variations de potentiels électriques (**Chetboul *et al.*, 1999**).

L'avantage du Doppler continu est de mesurer toutes les vitesses, même les plus élevées.

Le Doppler continu ne permet pas de connaître la profondeur de la surface réfléchissante. La technique de Doppler peut être couplée à l'imagerie bidimensionnelle, qui permet de positionner un curseur représentant le faisceau d'ultrasons le long duquel le manipulateur désire calculer les fréquences Doppler. Un spectre complet de toutes les vitesses le long du faisceau est obtenu. Le Doppler continu peut aussi être utilisé seul, sans repérage échographique anatomique. Il nécessite alors une bonne connaissance des caractéristiques des flux étudiés (**Boon, 1998**).

Le Doppler continu n'a pas aujourd'hui d'utilisation en échographie ovarienne, quelle que soit l'espèce.

### III-3. Doppler couleur

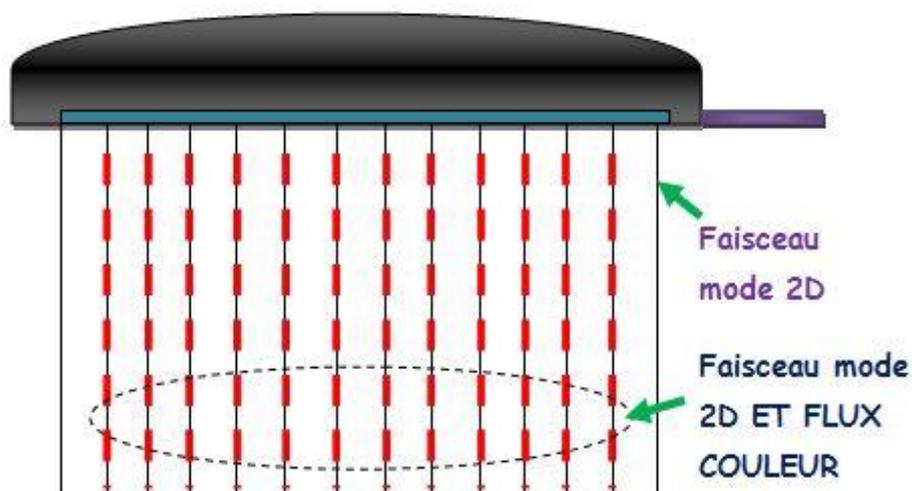
En Doppler couleur, des images 2D en temps réel et la cartographie des flux sanguins sont visualisées au même moment grâce à une alternance d'ultrasons dédiés à l'image 2D et d'autres consacrés au signal Doppler. Il peut cependant y avoir un décalage entre l'image 2D et l'image Doppler (**Boon, 1998**).

Le Doppler couleur est une forme de Doppler pulsé : une cartographie des flux est possible grâce à l'utilisation de plusieurs lignes de tir (contre une seule en Doppler pulsé) comprenant chacune plusieurs « portes Doppler » (**Chetboul *et al.*, 1999**). Le Doppler couleur est aussi appelé Doppler « multiligne-multiporte » (Figure 32). L'image obtenue à l'écran est le résultat de l'analyse simultanée de ces « portes Doppler ». Les

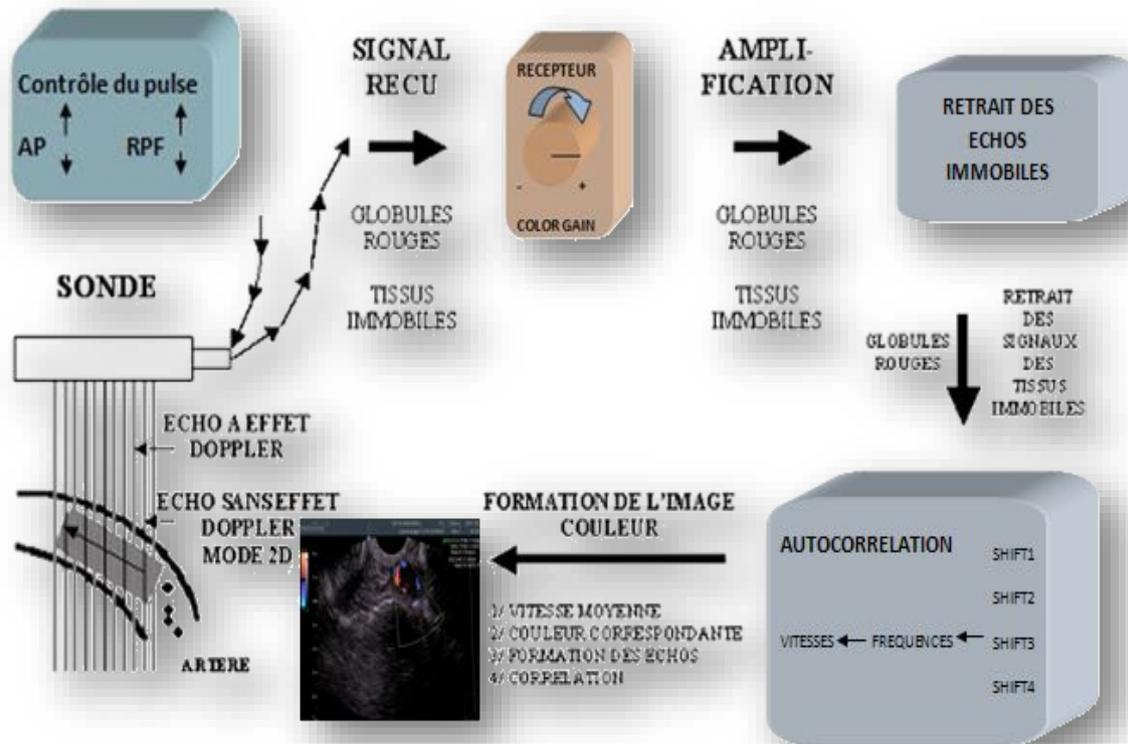


échos produits dans les « portes Doppler » de chaque ligne de tir, proviennent de surfaces immobiles (sans effet Doppler) et de surfaces mobiles. Les échos sans effet Doppler sont éliminés tandis que ceux provenant des surfaces mobiles sont soumis à une analyse par autocorrélation qui calcule la vitesse moyenne et la variance au sein de chaque groupe de pulses (Figure 33) (Ginther et Matthew, 2004).

Les signaux Doppler sont codés en couleur. La cartographie des flux sanguins est superposée à l'image 2D.



**Figure 32 :** Schématisation du Doppler couleur (modifié d'après Ginther et Matthew, 2004)



**Figure 33 :** Représentation schématique du fonctionnement d'un système d'échographie Doppler couleur pour la production d'une image combinant les modes 2D et couleur (modifié d'après Ginther et Matthew, 2004)

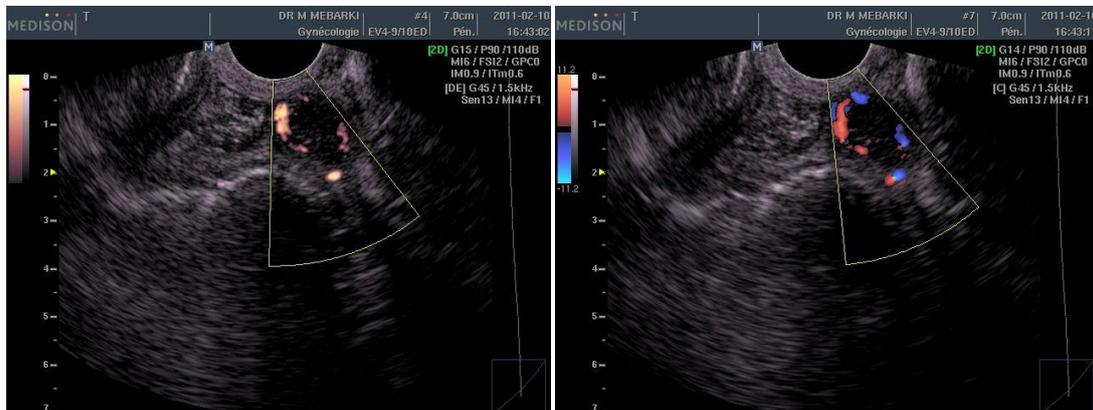
### III.4. Doppler puissance

Ce système est un mode Doppler récent qui permet de visualiser les flux sanguins circulant à basse vitesse et à faible énergie. Les données relatives à la fréquence, c'est-à-dire à la vitesse d'écoulement du sang et à son sens ne sont pas prises en compte (figure 34). Seule est retenue la puissance du signal Doppler, qui est proportionnelle au nombre de globules rouges dans le volume de sang mesuré, quelle que soit leur vitesse et leur direction (Singh *et al.*, 2003). Le Doppler puissance est moins dépendant de l'angle d'incidence des échos et a un meilleur rapport signal/bruit que le Doppler couleur conventionnel. Mais il ne donne pas de renseignement sur le sens d'écoulement du sang, il est très sensible aux mouvements et s'atténue en profondeur. (Reef *et al.*, 1998)

Le Doppler puissance est très utile dans l'évaluation du flux sanguin d'un organe et de la vascularisation associée à une néoplasie (Reef *et al.*, 1998).



Le Doppler puissance est donc un outil qui permet de privilégier l'information morphologique du flux sanguin. Il permet de quantifier la vascularisation d'un organe (**Rubin et al., 1995**).



**Figure 34** : Deux images échographiques de corps jaune observés à l'aide d'un mode Doppler couleur (droite) et d'un mode Doppler puissance (gauche) (**Images personnelles**)

#### IV. Artefacts de l'échographie doppler

Les artefacts du mode Doppler sont nombreux. Certains sont particuliers à ce mode, d'autres ont déjà été détaillés dans l'échographie en mode 2D.

##### IV-1. Artefacts de mouvement

###### IV-1-1. Mouvements du patient

Les artefacts dus aux mouvements du patient sont surtout problématiques lors de l'échographie d'animaux (Figure 35).

En effet, leur coopération est souvent difficile à obtenir. Il est parfois nécessaire de les tranquilliser.



**Figure 35:** Image échographique montrant un artéfact dû au mouvement de l'animal : taches bleues dispersées sur la gauche de l'image (**Image personnelle**)

#### IV.1.2. Mouvement des organes du patient

Les mouvements des organes peuvent gêner l'interprétation des images obtenues en Doppler couleur. Ainsi, la respiration peut gêner l'interprétation des images obtenues en échocardiographie Doppler. De même, le péristaltisme intestinal peut provoquer des artéfacts de mouvement lors d'échographie Doppler transrectale (**Ginther et Matthew, 2004**).

Lors d'artéfacts dus aux mouvements, des plages colorées dispersées qui ne correspondent pas à des images de vaisseaux sanguins apparaissent sur les images échographiques (Figure 36).



**Figure 36 :** Image échographique Doppler montrant un artéfact dû au péristaltisme intestinal : grandes taches colorées en rouge et bleu (**Image personnelle**)

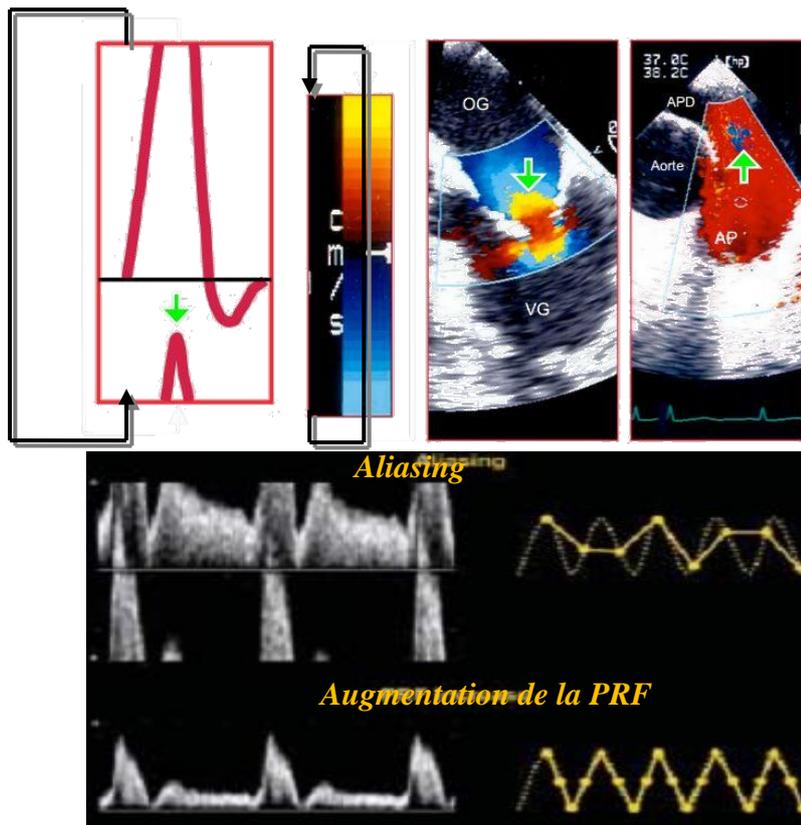


#### IV.2.Effet « aliasing »

En Doppler pulsé, toutes les vitesses ne peuvent être enregistrées ; à partir d'un certain seuil déterminé par le physicien Nyquist, les vitesses les plus élevées ne sont plus détectées. En effet, en Doppler pulsé, la profondeur explorée détermine et limite la fréquence de répétition (PRF). La vitesse maximale mesurable est d'autant plus haute que la PRF est élevée. Lorsque la PRF est basse (inférieure à deux fois la fréquence Doppler analysée), il se produit sur le graphique une inversion artéfactuelle de la vélocité du flux sanguin (figure 37). Ce repliement spectral est aussi nommé « aliasing » (**Chetboul et al., 1999**). Pour s'affranchir de l'« aliasing », il s'agit de choisir une PRF au moins égale au double de la fréquence du signal Doppler (**Ginther et Matthew, 2004**).

Plus une structure est située en profondeur, plus le temps d'aller et retour du signal ultrasonore est long. Comme le signal transmis doit être reçu avant qu'un suivant ne soit émis, la PRF est abaissée. Ceci conduit à diminuer la valeur de la vitesse maximale mesurable sans « aliasing » (**Chetboul et al., 1999**).

De surcroît, sachant que  $V = \Delta f C / (2f_0 \cos\theta)$ , la vitesse maximale mesurable sans « aliasing » est d'autant plus élevée que la fréquence d'émission est basse. Le mode Doppler couleur étant basé sur le Doppler pulsé, l'« aliasing » est aussi présent dans ce mode. Sur la cartographie des flux, l'« aliasing » se rencontre à partir d'une fréquence Doppler égale à PRF/2 et se manifeste par une inversion de couleur, le flux semblant emprunter une direction inverse de celle qu'il a réellement. Si la limite de Nyquist est atteinte, une échelle complète de codage est shuntée : une vitesse rétrograde élevée peut alors apparaître rouge sombre (basse vitesse antérograde) au lieu de bleu clair. En pratique, lorsque l'opérateur ne parvient pas à s'affranchir de l'effet d'« aliasing » (en cardiologie, lors d'études de flux à grande vitesse), il utilise le Doppler continu pour faire les mesures de vitesses maximales. En échographie ovarienne, le phénomène d'« aliasing » est habituellement géré par les réglages de PRF et le changement de sonde (fréquence moindre) (**Boon, 1998**).



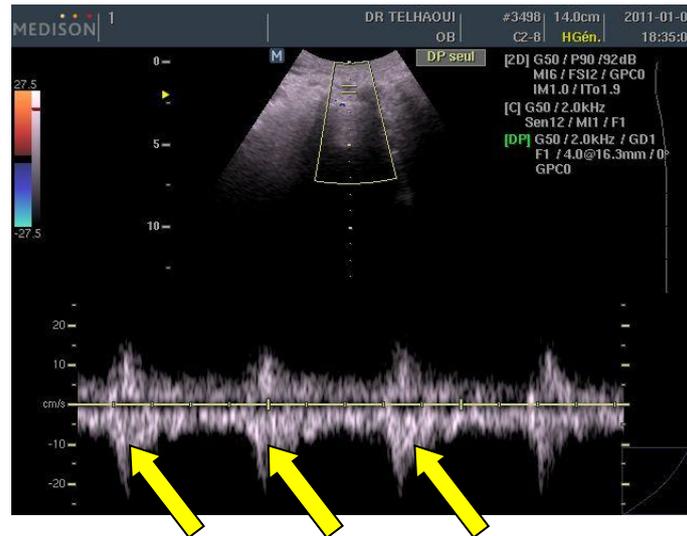
**Figure 37 :** Représentation de l'effet « aliasing » et résolution de l'artéfact par l'augmentation de la PRF (modifié d'après Ginther et Matthew, 2004)

### IV.3. Décalage temporel entre l'image bidimensionnelle et la cartographie Doppler

Le mode Doppler couleur associe une image bidimensionnelle à une image Doppler. Ces deux images sont décalées dans le temps. Ce décalage peut parfois devenir important et donner des images aberrantes. Ainsi, lors d'échocardiographie, l'opérateur peut avoir l'impression que le flux n'est pas contenu dans les cavités cardiaques lorsque la fréquence cardiaque est très élevée (Chetboul *et al.*, 1999).

### IV.4. Artéfacts d'image-miroir

Les artéfacts d'image-miroir se produisent fréquemment lors de l'utilisation de gains Doppler élevés ou lorsque l'angle Doppler approche  $90^\circ$  (Ginther et Matthew, 2004). Le spectre Doppler obtenu est situé de part et d'autre de la ligne de base (figure 38). En fonction de la localisation de la « porte Doppler », il est toujours possible de distinguer le spectre réel de celui « miroir ». Le spectre « miroir » est symétrique et de faible intensité par rapport au spectre réel (Boon, 1998).



**Figure 38** : Artéfacts d'image-miroir (flèches jaunes) (Image personnelle)

## V. Paramètres étudiés en échographie Doppler

### V.1.Vitesse du flux sanguin

La fréquence Doppler est transformée en vitesse du flux puis, un spectre des vitesses du flux sanguin étudié est dessiné à l'écran. L'échelle des vitesses étudiées est réglée par l'opérateur pour minimiser les artéfacts et pour optimiser le signal de l'écran. À partir du spectre, l'appareil nous permet de mesurer :

- la vitesse maximale du flux au cours du cycle cardiaque étudié, qui correspond au pic de vitesse systolique,
- la vitesse minimale du flux au cours du cycle cardiaque étudié, qui correspond à la vitesse de fin de diastole,
- la moyenne des vitesses maximales du flux sur plusieurs cycles cardiaques. Certains appareils tracent automatiquement le spectre des vitesses pour effectuer les mesures. D'autres nécessitent un tracé manuel du spectre étudié.

Comme nous l'avons vu dans les principes physiques du Doppler, l'angle d'incidence des rayons ultrasonores ( $\theta$ ) a une importance capitale dans la mesure des vitesses. Ainsi, sur un même vaisseau, des vitesses maximales très différentes peuvent être obtenues en changeant cet angle. Il est conseillé de toujours avoir un angle  $\theta$  compris entre 0 et 20° pour limiter l'erreur (Reef, 1998).



## V.2. Index de résistance

Les index Doppler sont une alternative à la mesure des vitesses Doppler. Ils sont particulièrement intéressants lorsque l'échantillon est petit, sur des vaisseaux tortueux pour lesquels la visualisation d'une portion rectiligne est impossible et ne permet donc pas d'estimer l'angle Doppler. En effet, les index Doppler sont des ratios des mesures de vitesse, ils sont donc indépendants de l'angle Doppler (**Dickey, 1997**).

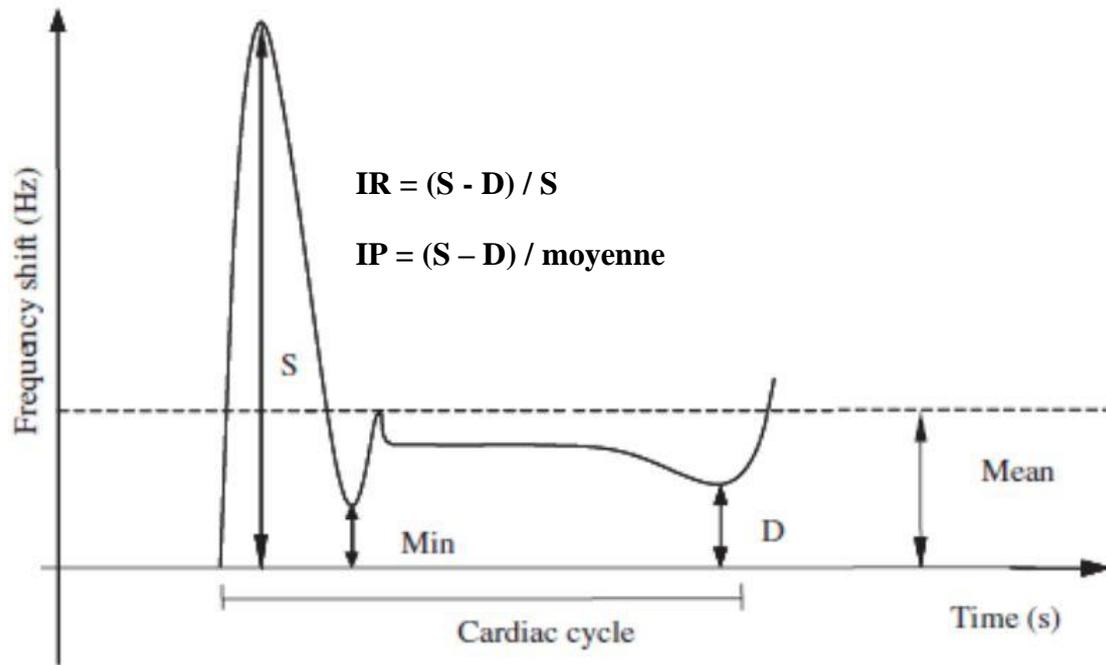
## V.3. Index de résistivité (IR)

Cet index, aussi connu sous le nom d'index de Pourcelot étudie la différence entre le pic de vitesse systolique et le pic de vitesse diastolique.

Il s'exprime ainsi :  $IR = (S - D) / S$  où  $S$  représente la vitesse maximale en systole,  $D$  la vitesse minimale ou de fin de diastole (figure 39). L'IR convient parfaitement à l'étude des lits vasculaires à faible résistance avec un flux continu durant la diastole. Si  $D$  s'approche de zéro, le ratio converge vers 1. Plus l'IR du flux étudié est élevé, plus la perfusion des tissus est faible et inversement (**Rivers et al., 1997**).

## V.4. Index de pulsatilité (IP)

Il s'exprime ainsi :  $IP = (S - D) / \text{moyenne des vitesses maximales}$  où  $S$  représente la vitesse maximale en systole,  $D$  la vitesse minimale ou de fin de diastole. La moyenne des vitesses maximales est obtenue sur trois ou quatre cycles cardiaques. L'IP est souvent utilisé pour caractériser le flux dans les vaisseaux où le flux est absent durant une partie de la diastole. L'IP n'est pas aussi précis que l'IR du fait de la mesure de la moyenne des vitesses maximales, qui est fonction des programmes disponibles dans chaque échographe. Une augmentation de l'IP indique une diminution de la perfusion des tissus (**Dickey, 1997**).



**Figure 39** : Méthode de calcul des index de résistance et de pulsatilité  
(Luc Des Côteaux et al, 2005)



# Partie Expérimentale



# *Chapitre I*

## **Description morphométrique de la race des animaux**

### I. Objectif de l'étude

Dans cette étude, nous commençons par la description détaillée des caractères morphométrique des chevaux de race locale "arabe- barbe"



## DESCRIPTION MORPHOMETRIQUE DES CHEVAUX ARABE- BARBES EN ALGERIE

### 1. INTRODUCTION

Le cheval Arabe-Barbe principale race nationale. Représentent environ 90% de l'effectif chevaline présent (**Rahal, 2005**). A l'origine, et pour les besoins de la cavalerie militaire afin de corriger certains défauts du cheval Barbe, la race autochtone du pays, en le croisant avec le cheval arabe. Ceci a donné naissance au cheval Arabe-Barbe (**Thompson, 1995**). Par la suite, les produits de ce croisement ont été accouplés entre eux ou avec l'une des races parentales (**OMCB, 2002**). Cette race est originaire du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ces chevaux ont toujours été étroitement liés aux populations berbères (**Aumassip et Kadri, 2012**). Représente l'archétype du cheval adapté au loisir la parade le travail et à l'instruction, solide et extrêmement économique d'entretien. Ce cheval brilla durant des siècles et particulièrement en 1870 (**Bogros, 2001**).

Au cours des dernières années son élevage a diminué, de plus de 175000 têtes en 1980 à 45 035 têtes en 2013 (**M.A.D.R, 2013**), sous de nombreuses variables telles que le recours à la mécanisation des travaux agricoles, la diminution des espaces d'équitation et le manque de compétitions. Tous cela à influencer négativement sur ses effectifs d'une année a l'autre ; sans oublier qu'il ya d'autres comme le facteur économique.

Plusieurs efforts mondiaux visent à préserver la diversité génétique des races. Les premières études de génétique ont porté sur la caractérisation morphologique. Son but est d'obtenir une meilleure connaissance des ressources, de leurs utilisations actuelles et futures. Ainsi, les renseignements obtenus par le processus de caractérisation favorisent une prise de décision éclairée sur les priorités de la gestion des ressources par les différents groupes d'intérêt, dont les agriculteurs, les gouvernants au niveau national et régional.

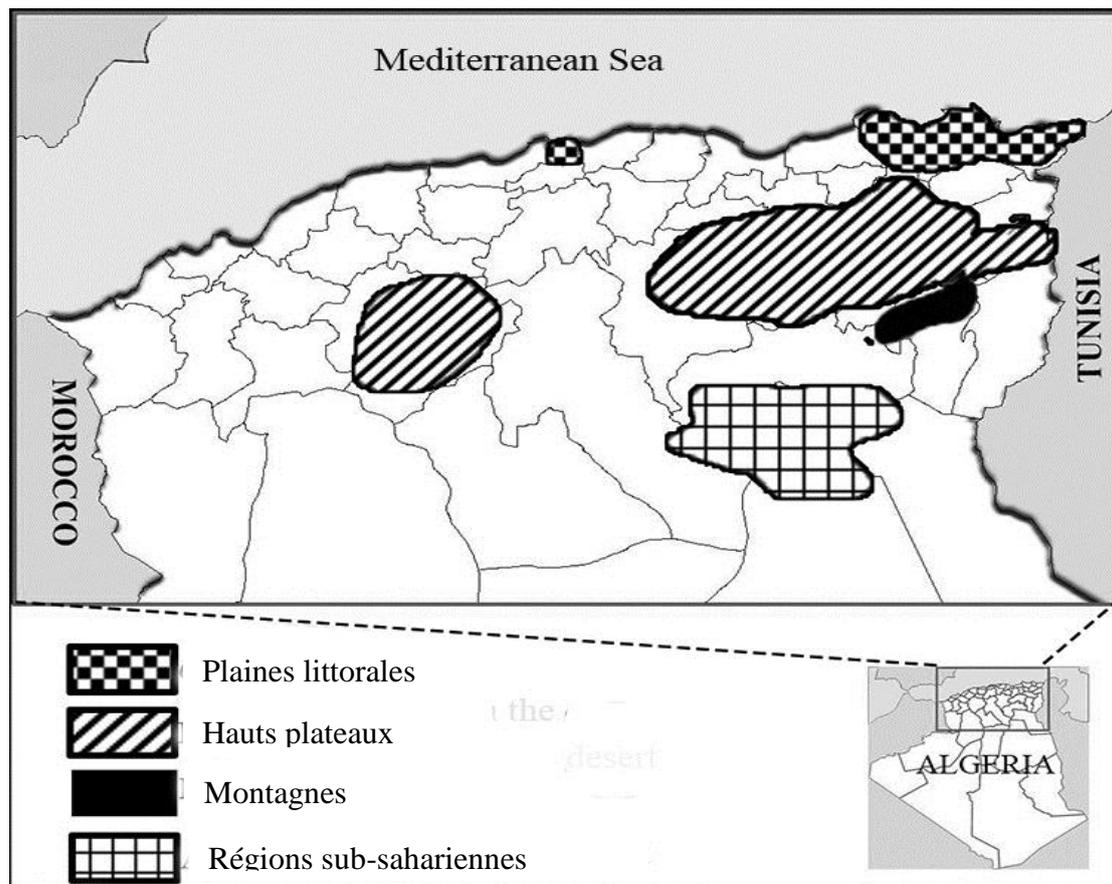
Dans l'Algérie il y'a des diversités des latitudes géographiques, des différences dans les conditions d'élevages et les objectifs de la sélection des chevaux, se qui par conséquent, peut se répercuter sur la diversité de leurs caractéristiques phénotypiques.



Peu de travaux ont été réalisés sur les caractéristiques morphologiques des chevaux en Algérie et dans les pays voisins, pour définir avec précision le cheval Arabe-Barbe. L'objectif de notre travail est d'étudier les caractères morphologiques du cheval Arabe-Barbe algérien, et de les comparer avec le standard mondial de la race barbe, et enfin étudier l'homogénéité de la population en Algérie.

## 2. MATERIEL ET METHODES

Ces mensurations ont été collectées sur 219 chevaux de race Arabe-Barbe du 09 Janvier 2013 au 03 juin 2015, ayant un degré de sang Arabe inférieur à 75%, dont 24 étaient des males. Ces chevaux appartiennent essentiellement à des propriétaires privés. Ils sont originaires de différentes régions de l'Algérie: 57 des plaines littorales (Annaba, El Tarf, Skikda et Alger), 41 des montagnes (des Aurès), 65 des Hauts Plateaux (Batna, Khenchela, Oumelbouaghi, Tébessa, Tiaret, Constantine, Sétif, Mila, M'sila) et enfin 56 des limites avec les régions désertiques, (Biskra, El oued) (Figure 40).



**Figure 40:** Régions d'échantillonnage des chevaux Arabe-Barbe en Algérie



Les caractères morphologiques sont étudiés sur l'intégralité des chevaux âgés de plus de 4 ans. Les 20 mensurations ont été réalisées par une seule et même personne sur sol plat avec une toise pour les paramètres de hauteur et un mètre ruban pour autres mesures (Figure 41).



**Figure 41** : prise des mesures à l'aide de la toise (a) ; du ruban mesureur (b)

Les paramètres mesurés comme déjà spécifié dans d'autres études (**Boujenane et al., 2008; Chabchoub et al., 2004**) sont (Figure 42): la distance entre les angles internes des yeux (AIY). La longueur de la tête (LTe). La longueur de l'encolure (LE). Le tour de l'encolure (TE), La longueur de l'épaule (LEp). La longueur totale ou longueur huméro-ischiale (LT). La longueur huméro-iliaque (LHI). Le tour de poitrine (TP). La hauteur au garrot (HG), La hauteur à la croupe (HC), Le vide sous-sternal (VSS), La longueur du bras (LB). La longueur de l'avant bras (LAB). La longueur du canon (LC). La longueur de l'ilium (LI). La longueur de la cuisse (LC). Le tour de l'avant bras (TAB). Le tour du genou (TG) Le tour du canon (TC). Le tour du boulet (TB).

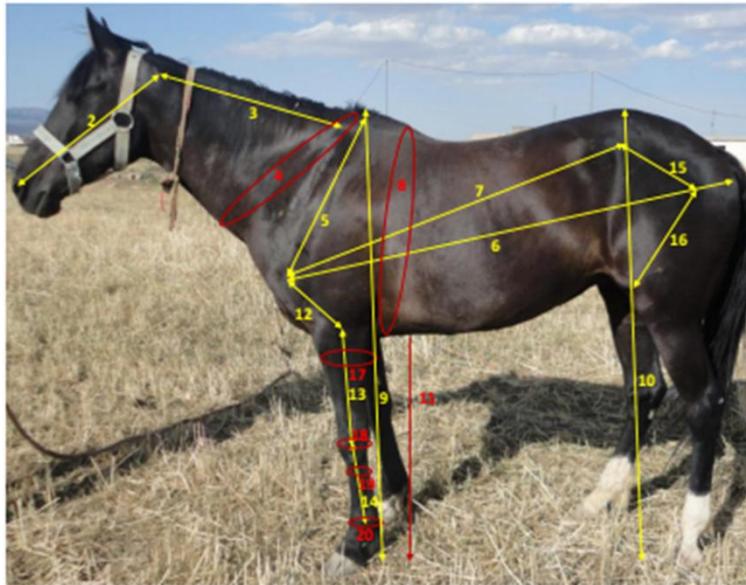
A partir de ces mensurations, 3 indices et le poids vif estimé ont été calculés :

- Indice corporel de profil
- Indice corporel relatif
- Indice de compacité.

Nous avons estimé le poids vif par une formule barymétrique (**Martin-Rosset, 1990**):

$$PV \text{ (kg)} = 4,3 \times TP + 3 \times HG - 785.$$

Les relevés de la robe ont également été effectués.



**Figure 42** : les Mesures linéaires et circulaires réalisées dans cette étude.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT 2009. Les résultats ont été exprimés en moyennes, écarts-types, minima et maxima. L'ANOVA suivi par le PLSD de Fisher pour déterminer les différences existant entre les races. Par la suite et pour mettre en évidence la diversité morphologique des chevaux selon les régions, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée en se basant sur toutes les mensurations corporelles. Il s'agit donc d'une technique de visualisation et de synthèse utilisées pour démêler la complexité et la redondance des données brutes et faire émerger des informations cachées dans les données. Cette analyse de groupe a été utilisée aussi pour établir un dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique (CAH) qui est la meilleure visualisation de la distance entre les régions. Le seuil de signification retenu est de 5% ( $p < 0.05$ ).

### 3. RESULTATS

#### 3.1. MESURES MORPHOMÉTRIQUES, INDICES CORPORELS ET POIDS VIFS ESTIMÉ

Les moyennes arithmétiques, les écarts-types, les minima et les maxima des mensurations corporelles des chevaux Arabe-Barbes sont rapportées dans le tableau 05.



**Tableau 05 :** Moyenne, écart-type et minima et maxima des 20 paramètres mesurés, des chevaux Arabe-Barbes étudiés.

mensurations corporelles	Moyenne	Ecart- type	Minimum	Maximum
Distance entre les angles internes des yeux	20.03	0.99	18	22
Longueur de la tête	52.80	2.78	47	59
Longueur de l'encolure	63.60	6.94	52	89
Tour de l'encolure	114	6.28	102	124
Longueur de l'épaule	60.40	0.69	60	63
Longueur totale	154.15	3.74	144	161
Longueur huméro-iliaque	115	5.92	100	126
Tour de la poitrine	173.03	5.96	161	187
Hauteur au garrot	152.15	3.59	138	160.50
Hauteur à la croupe	151.91	3.51	138	159
Vide sous-sternal	82.37	3.40	77	89
Longueur du bras	39.94	2.07	37	44
Longueur de l'avant bras	40.60	1.76	38	43
Longueur du canon	24.80	3.23	18.50	30
Longueur de l'ilium	24.44	2.18	18	28
Longueur de la cuisse	43.52	2.98	36	48
Tour de l'avant bras	35.40	2.49	31	40
Tour du genou	29.80	1.80	28	36
Tour du canon	19.41	1.37	17	21
Tour du boulet	26.11	1.77	22	29

Les moyennes arithmétiques, les écarts-types, les minima et les maxima des indices et de poids vif estimé des chevaux Arabe-Barbes sont rapportés dans le tableau 06.

**Tableau 06:** Moyenne, écart-type et minima et maxima des indices corporels calculés chez les chevaux Arabe-Barbes étudiés.

Indices	Moyenne	Ecart- type	Minimum	Maximum
Corporel de profil (HG/LT)	0.98	0.03	0.94	1.06
Corporel relatif (LT/TP)	0.89	0.03	0.79	0.95
De compacité (kg/cm) (PV/HG)	2.73	0.17	2.36	3.12
Poids Vif (kg)	415.51	28.30	342.30	500.60

La comparaison entre les chevaux des quatre régions a montré que les chevaux de montagnes Arabe-Barbes présentaient les valeurs les plus basses pour tous les paramètres étudiés; tandis que ceux des plaines littorales ont montré les valeurs les plus élevées. Statistiquement, les différences significatives ont été enregistrées dans l'espace entre les yeux, la longueur de la tête, la longueur totale, la hauteur au garrot, la hauteur de la croupe, la longueur du canon, la longueur du fémur, le tour du boulet



et le poids vif estimer. En ce qui concerne les chevaux des régions limitrophes du désert et des hauts plateaux, les valeurs étaient similaires sans différences significatives tous les paramètres considérés.

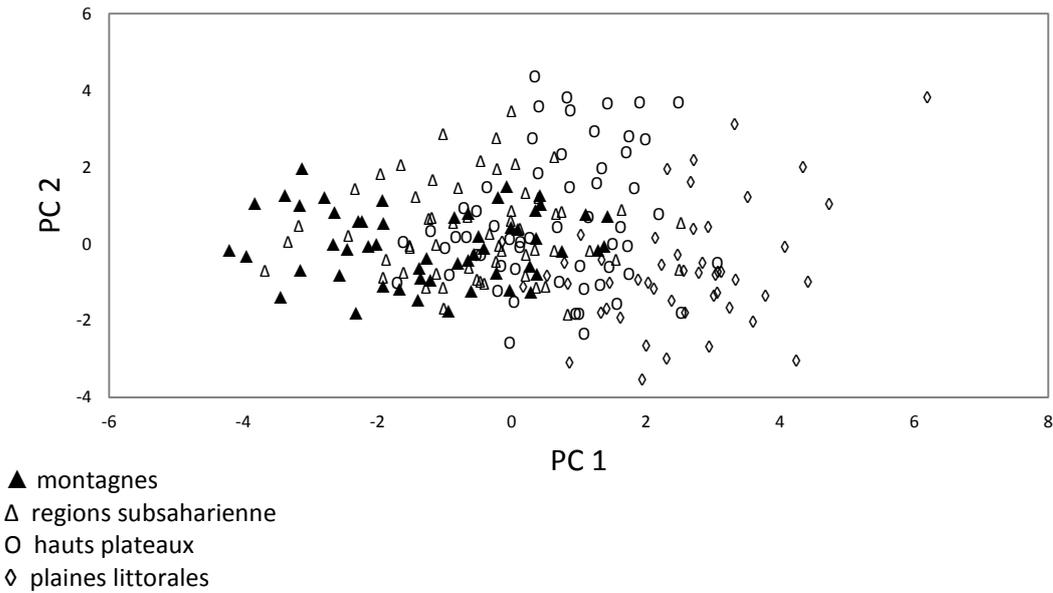
### 3.2. ROBE

Le relevé de la couleur de la robe révèle une prédominance de la robe grise 42.10%, alezane 28.94%, baie 23.68% et noire 5.26%.

Une robe plutôt baie pour les chevaux des régions littorales, grise pour les chevaux des hauts plateaux et les régions subdésertiques, et enfin la robe alezane pour les chevaux des régions montagneuses.

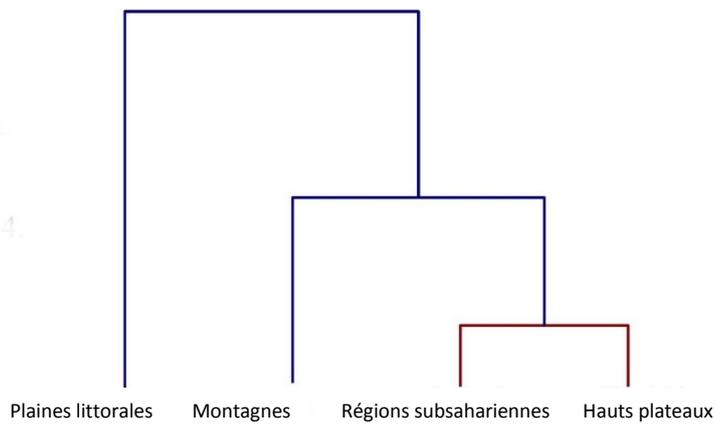
### 3.3. ANALYSES MULTIVARIÉES

Dans la seconde partie de la présente étude, l'ACP a été réalisée pour analyser les différences morphométriques entre les chevaux des plaines côtières, les hauts plateaux, les zones bordant le désert et les montagnes. A partir de 20 mesures morphométriques, le nombre de nouveaux composants principaux a été établi et limité à cinq. Ces composants ont été choisis car chaque valeur propre était supérieure à 1,0. Ils ont expliqué 45,14% de la variabilité conditionnée par toutes les mesures. Le premier et le deuxième composant relevés sur un plan bidimensionnel (Figure 43) ont montré une variation parmi les chevaux inclus dans cette étude. En effet, le premier composant (PC1) décrit 13,6% de la variabilité totale, alors que le deuxième composant (PC2) décrit 9,5%. Cette variabilité a révélé que les chevaux des montagnes, constituant le premier groupe, diffèrent significativement de ceux des plaines littorales, formant le second groupe. En outre, les deux dimensions tracées par PC1 et PC2 ont également montré un troisième groupe morphologiquement similaire, y compris les chevaux de hauts plateaux et des zones bordant le désert. En fait, le troisième groupe représentait un groupe intermédiaire qui liait les deux autres groupes.



**Figure 43 :** Analyse en composantes principales réalisée selon les quatre régions échantillonnées en Algérie

Les résultats du dendrogramme présenté dans la figure 44 sont similaires à ceux de la PCA révélant trois groupes différents, les chevaux des montagnes et des plaines littorales représentant les premier et deuxième groupes et les chevaux des hauts plateaux et les zones limitrophes du désert constituant le troisième groupe.



**Figure 44:** Dendrogramme basé sur les traits morphologiques (distances entre les régions)



#### 4. DISCUSSION

L'Arabe-Barbe constitue la race de cheval dominante en Algérie; Cependant, elle reste morphométriquement inconnue. Par conséquent, l'objectif de cette étude était, d'une part, de réaliser une caractérisation morphométrique de l'ABA répartie dans 4 régions: plaines littorales, montagnes, hauts plateaux et zones bordant le désert et d'autre part, de comparer les mesures morphométriques obtenues avec celles du cheval Arabe-Barbe marocain et des chevaux barbes algériens, tunisiens et marocains.

Les mesures morphométriques ont montré que le cheval Arabe-Barbe algérien, ainsi que le cheval Barbe, a un format carré. Dans l'ABA, ce format était caractérisé par une hauteur au garrot de 152,15 cm, une longueur totale de 154,15 cm et un tour du canon de 19,41 cm, ce qui indique que l'ABA a des membres épais par rapport à sa taille (**Martin-Rosset, 1990**). Cela favorise sa force et son épaisseur. En outre, ABA a présenté un grand tour de la poitrine nécessaire pour un cheval de selle rapide. En outre, le rapport de 1,001 de la hauteur au garrot / hauteur de la croupe (152,15 cm / 151,91 cm) a révélé que l'ABA est légèrement horizontal et moins oblique, correctement approprié pour tous les services (**Martin-Rosset, 1990**).

La comparaison morphométrique entre l'ABA des quatre régions étudiées a montré des différences significatives de hauteurs au garrot et de longueurs totales. En effet, ces valeurs étaient plus élevées dans les plaines littorales, suivies par la région des hauts plateaux, les zones bordant le désert et les montagnes, respectivement.

En ce qui concerne la comparaison de la moyenne des mesures morphométriques de l'ABA avec celles de l'Arabe-Barbe marocain et avec les chevaux Barbe algériens, tunisiens et marocains, les résultats ont montré qu'ils présentent tous le même format carré. Cependant, il y avait des différences significatives ( $P < 0,05$ ) dans certaines mesures morphométriques, notamment en ce qui concerne la hauteur au garrot, le tour de poitrine et la longueur du canon. En effet, la hauteur au garrot de l'ABA (152.15cm) était supérieure à celle observée par Boujenane pour l'Arabe-Barbe marocain (**Boujenane et al., 2008**) et inférieure à celle rapportée par Chabchoub pour le Barbe tunisien (**Chabchoub et al., 2004**). De plus, les chevaux Arabe-Barbe, dans le présent travail, avaient un tour de poitrine supérieur à celui observé par Boujenane pour le cheval Arabe-Barbe marocain (**Boujenane et al., 2008**), mais inférieure à celui cité par Guedaoura pour le Barbe algérien (**Guedaoura et al., 2011**) et par



Chabchoub pour les Chevaux Barbe tunisiens (**Chabchoub et al., 2004**). De plus, la longueur du canon de l'ABA (24,8 cm) était inférieure à celle des chevaux Arabe-Barbe marocains (**Boujenane et al., 2008**).

Afin d'étudier en profondeur la conformation de l'ABA, l'indice corporel de profil, l'indice corporel relatif, l'indice de compacité et le poids vif corporel ont été évalués à partir des mesures morphométriques. L'indice corporel de profil de l'ABA était de 0,98, proche de 1 permettant de classer ce cheval comme une race de type médioligne, ce qui signifie que sa longueur totale est sensiblement égale à sa taille (**Martin-Rosset, 1990**). Ce résultat est en accord avec les résultats de l'indice corporel de profil obtenus pour le cheval Arabe-Barbe marocain (**Boujenane et al., 2008**) et pour le cheval Barbe (**Guedaoura et al., 2011 ; Chabchoub et al., 2004 ; Rahal et al., 2009**). Les indices restants, en particulier, indice corporel relatif et indice compacité étaient similaires entre l'ABA, l'Arabe-Barbe marocain (**Boujenane et al., 2008**) et les chevaux Barbes (**Guedaoura et al., 2011 ; Chabchoub et al., 2004 ; Rahal et al., 2009**). De plus, les chevaux Arabe-Barbe des quatre régions algériennes ont présenté les mêmes indices indiquant que leurs conformations sont similaires. En ce qui concerne le poids vif, l'ABA a présenté une moyenne de poids de 415,5 kg, plus lourd que le cheval Arabe-Barbe marocain (**Boujenane et al., 2008**). Le poids de l'ABA a conduit à le considérer comme un cheval de taille moyenne.

Dans le présent travail, l'analyse multivariée a été utilisée pour évaluer les différences morphométriques d'ABA dans les quatre régions étudiées. Selon la taille du cheval, les résultats de PCA a révélé la présence de trois groupes de chevaux: (i) les chevaux des régions montagneuses, (ii) les chevaux des plaines littorales et (iii) les chevaux des hauts plateaux et les limites avec les régions désertiques.

Les chevaux du deuxième groupe (plaines littorales) étaient plus lourds et plus grands que ceux du premier groupe (montagnes). A cet égard, les chevaux des montagnes semblent être plus trapus et moins élégants. Ils résistent aux intempéries, à la misère, aux privations, destinés surtout à la production mulassière. Les différences de taille entre les deux groupes peuvent être liées au climat et aux caractéristiques de la végétation de chaque région. En effet, la région des plaines littorales, caractérisée par un climat humide méditerranéen, est couverte d'une riche végétation constituant une importante source alimentaire (**Amirouche et Misset, 2009 ; Bazri, 2015**), alors que



la région montagneuse (Aurès), qui est l'écotone entre le climat subhumide et le désert du Sahara, est connue par la variabilité climatique et la vulnérabilité à la désertification (**Beghami, 2012**).

Concernant le troisième groupe (hauts plateaux et zones bordant le désert), le climat dominant des deux régions de ce groupe est semi-aride, avec une végétation similaire (**Beghami, 2012; Derouiche, 2007; Guedaoura et al., 2011**). Ces caractéristiques peuvent expliquer la similarité morphométrique entre les chevaux de ces régions.

De plus, l'analyse de la PCA a révélé que les hauts plateaux et les zones bordant le désert représentaient ensemble une région intermédiaire reliant les deux autres régions (les montagnes et les plaines littorales). Les nuages de points qui se chevauchent dans la région intermédiaire signifient une approximation des caractères morphologiques entre le troisième groupe et les autres groupes qui peuvent être dus à l'utilisation des étalons Barbes et Arabe-Barbes des hauts plateaux comme géniteurs dans toutes les stations de monte réparties sur le pays. Le choix des étalons des hauts plateaux pour la reproduction pourrait être lié à leurs caractéristiques morphologiques. En effet, ils sont forts, harmonieux et très élégants (**Jari, 2001**).

En conclusion, les résultats de la caractérisation morphométrique de l'ABA indiquent que ce cheval est fort, un cheval de selle, idéal pour plusieurs activités telles que la fantasia, l'endurance et l'équitation. De plus, la population d'ABA pourrait être classée, selon les caractéristiques morphométriques et la répartition géographique, en trois groupes: les chevaux de grande taille dans les plaines littorales, les chevaux de taille moyenne dans les hauts plateaux et les zones bordant le désert et les chevaux de petite taille dans région montagneuses. L'ABA est plus grand que l'Arabe-Barbe marocain et plus petit que le cheval Barbe. Enfin, d'autres études sur la race Arabe-Barbe, y compris les paramètres morphométriques et génétiques sont nécessaires pour établir avec précision un standard pour cette race.



## *Chapitre II*

### **Gestion de la reproduction**

#### I. Objectif de l'étude

Dans la présente étude, nous évaluons :

L'intérêt du traitement hormonal par la progestérone (PRID<sup>®</sup> delta) comme moyen d'induction et de synchronisation des chaleurs chez la jument en anœstrus.

L'intérêt de l'échographie doppler couleur comme méthode permettant :

- ✓ La détermination du moment de l'ovulation chez la jument
- ✓ L'évaluation de la fonction sécrétoire du corps jaune
- ✓ La détermination du sexe du fœtus.



# INTERET DU TRAITEMENT HORMONAL PAR LA PROGESTERONE (PRID<sup>®</sup> DELTA) COMME MOYEN D'INDUCTION ET DE SYNCHRONISATION DES CHALEURS CHEZ LA JUMENT

## 1. INTRODUCTION

Les contraintes économiques et sociales régissant l'élevage équin nécessitent de maîtriser au mieux le cycle ovarien des juments et notamment le moment de l'ovulation. La saison de reproduction artificielle idéale correspond en effet à la période du mois de mars à la première semaine d'avril. Elle chevauche la période de transition printanière caractérisée par une ovulation différée, les juments n'étant pas à leur potentiel reproducteur optimal (**Handler *et al.*, 2007**). De plus, les vétérinaires sont souvent sollicités pour que les poulains naissent le plus tôt possible après le premier janvier : que ce soit dans le milieu des courses, les poulains et les yearlings sont mis en compétition en fonction de leur année de naissance. Un poulain né en février sera donc plus développé et plus intéressant qu'un poulain né plus tard dans l'année. Parce qu'il est certain que l'élevage équin va continuer à préférer des poulains précoces dans l'année, les problèmes d'élevage associés à la transition printanière vont certainement perdurer. Deux principales stratégies doivent être considérées : l'intervention en vue de raccourcir la phase de transition ou de l'initialiser plus tôt, permettant une ovulation plus précoce dans l'année et la surveillance rigoureuse des événements transitionnels afin que la mise à la reproduction soit effectuée au moment adéquat et le plus tôt possible.

A ces fins, les traitements hormonaux et les programmes de lumière artificielle sont utilisés pour provoquer le début de la saison de reproduction (c'est-à-dire induire le premier œstrus avec ovulation).

Dans la présente étude, nous étudierons l'efficacité de l'utilisation du traitement hormonal par la progestérone (PRID<sup>®</sup> DELTA) comme moyen d'induction et synchronisation de l'œstrus chez la jument en suivant la dynamique et la taille des follicules et les concentrations de la progestéronémie.



## 2. MATERIEL ET METHODE

### 2.1. Lieu et période de l'essai

#### 2.1.1. Lieu de l'essai

Notre étude a été menée sur des juments appartenant à des propriétaires privés situées toutes dans la wilaya de Khenchela, 600 km à l'Est d'Alger. Avec une altitude de 800 m, cette région est comprise entre 34° et 35,5° de latitude nord et 5,55° et 7° de longitude Est.

Les juments étaient le matin au pré avec une moyenne quotidienne de 8h de parcours sur des pâturages naturels. Et le soir au box, au quel cas, elles recevaient du foin à volonté et de l'orge deux fois par jour.

#### 2.1.2. Période de l'essai

Notre étude a été scindée en 2 périodes :

❖ **Une Période pré-expérimentale**, étalée sur une durée de 3 à 4 semaines avant la période expérimentale, qui avait pour but d'homogénéiser les animaux. une supplémentation en aliment concentré à base d'orge, d'avoine et d'un complexe minéralovitaminé a été distribuée aux femelles très-maigres. Ainsi, un déparasitage externe et interne a été effectué. Cette étape a aussi permis d'habituer les femelles de l'étude aux différentes manipulations nécessaires au bon déroulement de l'essai (contention, fouilles rectales et utilisation de la sonde de l'échographe).

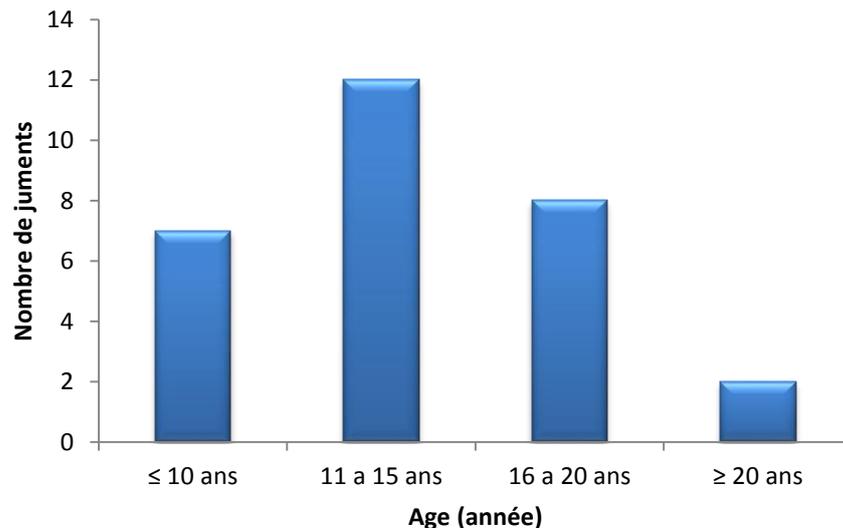
❖ **La période expérimentale**, allant d'Avril 2014 à Juillet 2016, soit une durée de 30 mois, au cours desquels ont été réalisés l'ensemble des manipulations décrites ci-après.

### 2.2. Animaux

Pour cette étude, un effectif global de 29 juments ont été incluses dans cette étude. L'ensemble des juments étaient de race locale (Arabe-Barbe), en anœstrus vrai et hors lactations. Toutes les juments étaient des multipares présentant une moyenne d'âge



de  $13.17 \pm 4.56$  ans (Figure 45). (min = 6 ans et max = 23 ans), un poids moyen de  $456 \pm 38$  kg. Avec une moyenne quotidienne de 8h de parcours sur des pâturages naturels, une supplémentation d'orge et d'un complexe minéralovitaminé et de foin ou de paille est effectuée; l'eau est disposée à volonté. Aucun programme de lumière artificielle n'a été utilisés.



**Figure 45** : répartitions des âges des juments

### 2.3. Protocole expérimental

Notre démarche a consisté à réaliser les opérations suivantes :

#### 2.3.1. Mise en place du dispositif intravaginal

Des examens échographiques et vaginaux étaient réalisés ; seules les juments avec un anœstrus vrais et sans problèmes génitales infectieux sont retenues. Un dispositif intravaginal (PRID® DELTA 1.55 g de progestérone CEVA Sante Animale France) (Figure 46) été mis pendant 11 jours pour chaque jument. Les juments ont été reparties en quatre groupes selon la saison de réalisation de l'expérimentation, 8



juments en hiver (décembre – janvier), 11 au printemps (mars – avril), 5 en été (juin – juillet) et enfin 5 à l'automne (septembre – octobre).



**Figure 46:** Prid<sup>®</sup>delta(a) et mise en place du dispositif intravaginal chez la jument (b).

### 3.2.2. Dosage de la progestérone

Des prises de sang étaient réalisées chaque jour depuis le jour du pose  $j_1$  jusqu'au jour du retrait  $j_{12}$  afin de mesurer la progestéronémie. Le sang prélevé des veines jugulaire, dans des tubes secs de 5 ml (BD Vacutainer), est centrifugé à 30.000 tours /minute pendant 15 minutes. Les sérums ainsi obtenus sont prélevés puis congelés à  $-25 \pm 6^\circ\text{C}$  pour un dosage ultérieur.

Le dosage de la progestérone est effectué au moyen d'un automate d'immunoanalyse VIDAS<sup>®</sup> (Figure 47) munie de kits AxSYM Progestérone<sup>®</sup>.



**Figure 47 :** automate d'immunoanalyse (vidas).

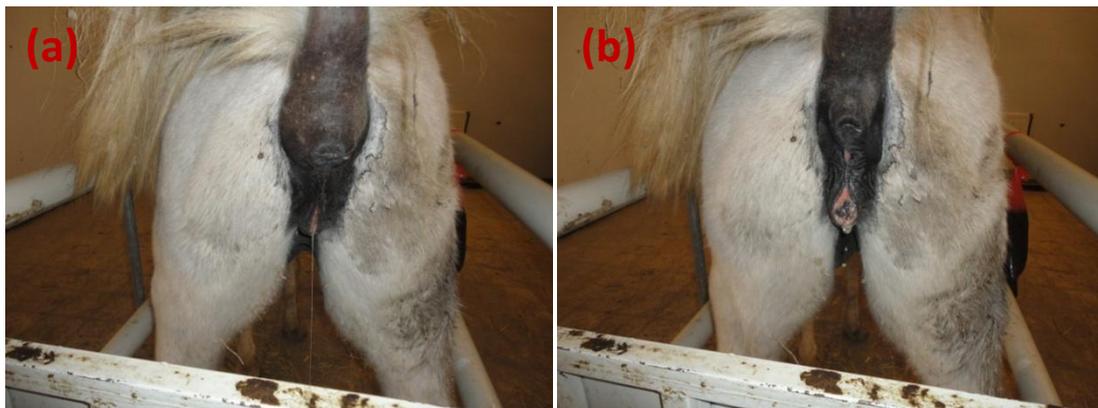


### 3.2.3. Contrôle par échographie

En parallèle, un examen échographique par l'appareil ultrasonore de modèle (Mini Focus 1402, BK Medical) équipé d'une sonde convexe multifréquences de 5 à 7.5MHz été réalisé pour détecter les activités ovariennes.

### 3.2.4. Détection des chaleurs

Les juments ont été vérifiées quotidiennement depuis le jour du retrait et pendant 42 jours pour des signes d'œstrus (Figure 48). Dans la majorité des cas, l'examen de l'utérus et des ovaires par palpation et échographie permis de déterminer si les juments étaient en phase œstrale ou non. Dans le cas où un doute persistait sur la phase du cycle, les juments en question ont été soufflées par un étalon.



**Figure 48** : Manifestations de chaleur chez la jument : Mictions fréquentes (a).  
Eversion de la vulve (b).

### 3.2.5. Examens complémentaires

Le jour du retrait de PRID™ un examen vaginal par frottis à l'aide d'une cytobrosse pour évaluer les réactions inflammatoires de la muqueuse vaginale, en plus une étude bactériologique des mucus.



## 2.4. Analyses statistiques

Comme les données n'étaient pas distribuées normalement, des tests non paramétriques (tests de Friedman et Wilcoxon appariés) ont été utilisés partout. Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel Stat View ® (SAS Instute Inc. Cary, NC 27513, USA). Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  écart type. Le seuil de signification retenu est de 5% ( $p < 0.05$ ).

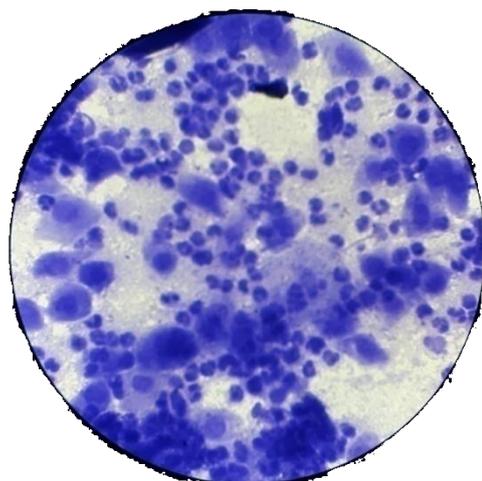
## 3. RESULTATS

### 3.1. Applicabilité de PRID™

Une des 5 juments du groupe de l'été a perdu son dispositif intravaginal. Alors que pour deux dispositifs nous avons été obligés de les enlever vu les douleurs qu'ils ont provoquées, un dans le groupe du printemps et l'autre du groupe de l'été.

Toutes les juments ont présenté une vaginite légère et modérée à la suppression de PRID™ (Figure 49). Les signes de la vaginite étaient l'hyperémie, la vascularisation accrue, une décharge mucopurulente (Figure 50).

Aucune jument n'a montré de signes cliniques d'endométrite tels que l'accumulation de liquides dans l'utérus suite aux traitements.



**Figure 49** : frottis inflammatoire (vaginite). Présence de très nombreux polynucléaires (cellules de l'inflammation). MGG X 400.



**Figure 50** : signes cliniques une vaginite: 'hyperémie (a); décharge mucopurulente (b).

### 3.2. Efficacité de la synchronisation

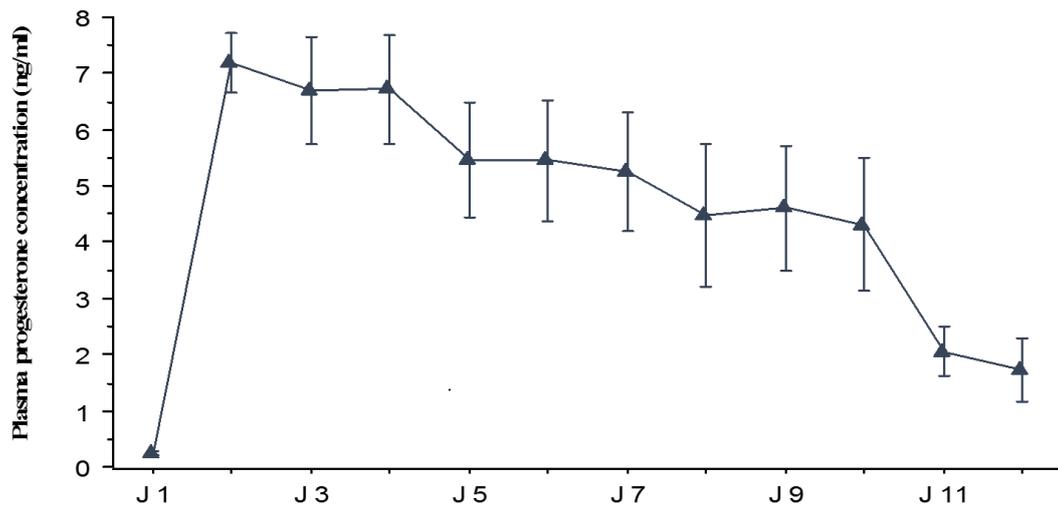
Au total, 19 des 26 juments restantes ont répondu aux traitements PRID<sup>TM</sup> avec ovulation pendant la période d'observation de 42 jours. Il y a significativement moins de juments qui ont ovulé après le traitement par PRID<sup>TM</sup> (3 sur 8 juments) en hiver que de juments en printemps (8 sur 10) en été (3 sur 3 juments) et en automne (4 sur 5 juments) ( $P < 0,05$ ).

Les intervalles entre le retrait de PRID<sup>TM</sup> et l'apparition de l'œstrus étaient  $4,0 \pm 0,2$  jours en hiver,  $3,6 \pm 0,3$  jours au printemps,  $3,6 \pm 0,3$  jours en été et  $3,3 \pm 0,4$  jours en automne. Alors, les différences n'étaient pas statistiquement significatives), ( $P > 0,05$ ).

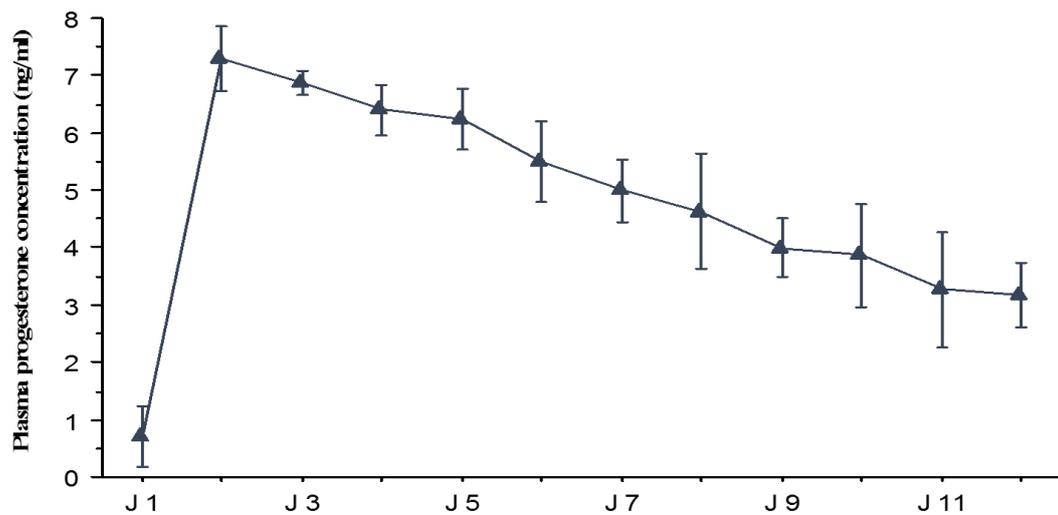
Les délais entre le retrait de PRID<sup>TM</sup> et les ovulations successives ont été plus longs chez les juments de l'hiver ( $19,75 \pm 3,41$  jours, min: 14, max: 23), suivies des juments en printemps ( $13,75 \pm 5,42$  jours, min: 5, max: 22) en automne ( $12,25 \pm 5,97$  jours, min: 5, max: 21) et en été ( $9 \pm 3,74$  jours, min: 5, max: 14), ( $P < 0,05$ ).

### 3.3. Concentrations plasmatiques de progestérone

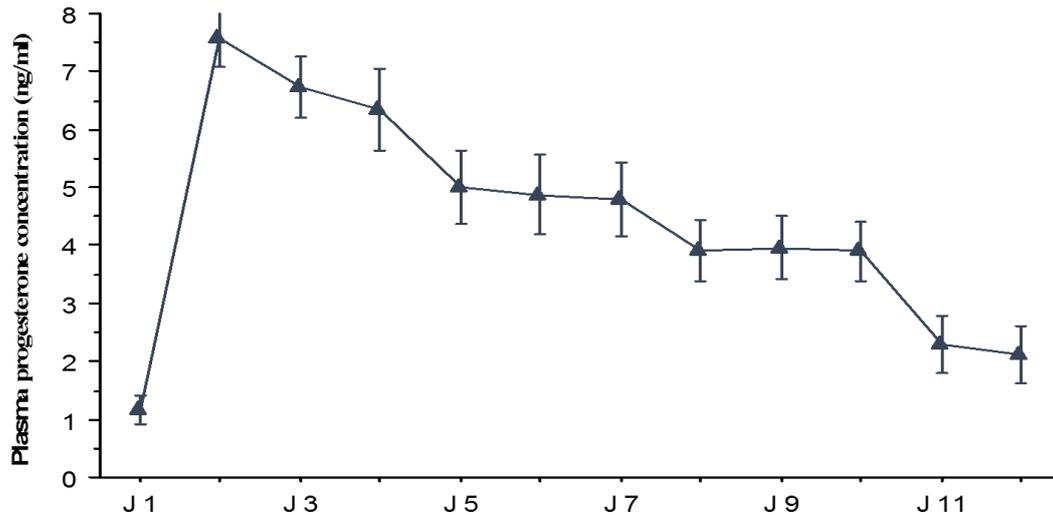
Le dosage de la progestérone sérique nous ont permis d'établir des courbes récapitulatives des changements relatifs de la progestéronémie pour chaque saison (Figures 51-54).



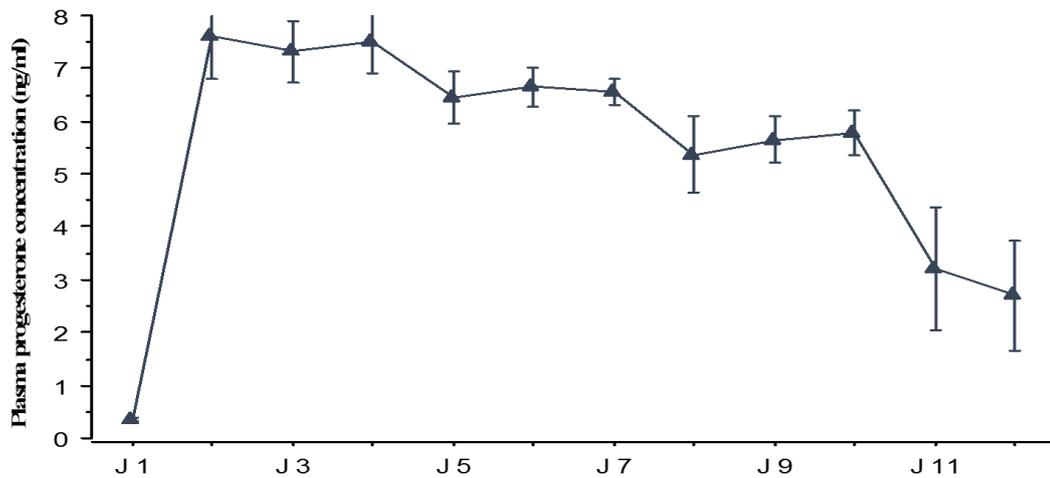
**Figure 51 :** Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID™ chez les juments en hiver.



**Figure 52 :** Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID™ chez les juments au printemps.



**Figure 53 :** Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID<sup>TM</sup> chez les juments en été.



**Figure 54 :** Concentrations plasmatique quotidiennes de progestérone pendant les traitements par PRID<sup>TM</sup> chez les juments en automne.

Les concentrations plasmatiques de la progestérone à l'insertion de PRID<sup>TM</sup> variaient de 0,2 à 1.2 ng/ml chez des juments. Nombre de juments avec des concentrations de progestérone > 1ng/ml était 1 des 10 juments en printemps et 1 des 3 en été, alors que toutes les juments présentaient des concentrations inférieures à 1 ng/ml en automne et en hiver. Au jour 2 du traitement par PRID<sup>TM</sup>, les concentrations moyennes de progestérone ont augmenté significativement chez toutes les juments



( $7.20 \pm 0.49$ ,  $7.30 \pm 0.64$ ,  $7.5 \pm 0.58$  et  $7.60 \pm 0.71$  ng/ml,  $P < 0,05$ ) en hiver, printemps, été et automne, respectivement.

Ensuite, les concentrations moyennes de progestérone ont diminué régulièrement jusqu'à l'élimination de PRID<sup>TM</sup> à J<sub>12</sub> (hiver  $1.72 \pm 0.53$ , printemps  $3.17 \pm 0.54$ , été  $2.03 \pm 0.54$  et automne  $2.70 \pm 0.92$  ng/ml,  $P > 0.05$ ).

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Choix de la race

Le faible nombre de travaux de recherche s'intéressant à notre race locale « arabe-barbe » et la disponibilité des effectifs au niveau de notre région d'étude nous ont dictés le choix de cette race.

### 4.2. Préparation alimentaire des femelles

La préparation alimentaire des sujets d'étude est un préalable essentiel qui vise à corriger d'éventuelles carences alimentaires, sources d'échec des protocoles expérimentaux.

C'est ainsi qu'une supplémentation alimentaire de  $\approx 5$  kg de concentré par jument et par jour nous a permis d'homogénéiser les lots expérimentaux et d'avoir une moyenne de poids assez proche au début de l'essai  $456 \pm 38$  kg.

### 4.3. Résultats

Dans la présente étude, l'efficacité du traitement par le dispositif intra-vaginale PRID<sup>TM</sup> s'est avéré utile chez les juments ( $> 69\%$ ) pour l'induction des chaleurs en anœstrus sauf pendant le période hivernal ou la repense au traitement été moyenne voire insuffisante (37.5%), Ce qui est en accord avec d'autres études (**Alexander et Irvine, 1991; Evans et Irvine, 1979**). Des repenses qui varient entre 14% (**Turner et al., 1981**) à 27% (**Palmer, 1979**) ont été aussi décrites. Alors que, ce traitement était médiocre pour la synchronisation de l'ovulation, démontré par la grande déférence dans les intervalles entre le retrait et les ovulations. Ces résultats sont insatisfaisants en termes d'utilisation de PRID<sup>TM</sup> pour la synchronisation des juments pendant les programmes de transfert d'embryons se qui nécessiterait une administration supplémentaire d'agoniste de la GnRH à action prolongés ou de la HCG pour



l'induction des ovulations. Le placement manuel des dispositifs dans le vagin était facile à effectuer. Le taux de perte des dispositifs vaginaux était de 4%. À l'origine, PRID™ a été développé pour l'utilisation chez les bovins (Munro, 1990; Broadbent *et al.*, 1993; Uehlinger *et al.*, 1995; Handler *et al.*, 2006). Chez les vaches, des taux de perte de 10 et 12% (Newcombe, 2002; Andresen *et al.*, 1982) ont été décrits. Chez les juments des pertes qui varient entre 0% (Arbeiter *et al.*, 1994; Arbeiter *et al.*, 1991; Handler *et al.*, 1999) à 5% (Taylor *et al.*, 1982). Bien que la plupart des juments aient montré une légère tension, sauf 7.14 % aient montré des douleurs intenses. La mise en place de dispositifs vaginaux provoque une vaginite légère avec des signes cliniques tel que l'hyperémie et des pertes vaginales mucopurulentes, qui se sont disparues dans les deux à trois jours après l'enlèvement des bobines. L'application locale des antibiotiques à l'insertion de PRID™ réduit l'incidence et la gravité de la vaginite (Rutten, 1986). L'irritation de la muqueuse vaginale (Arbeiter *et al.*, 1994) et la contamination bactérienne par les selles et la peau (Bulman *et al.*, 1978) était supposée contribuer à l'émergence des vaginites. Les prélèvements bactériens ont montré la présence de Streptococcus sp., Staphylococcus sp., E. coli, mais les données de (Newcombe, 2002) ont montré que Streptococcus zooepidemicus ou occasionnellement culture mixte avec E. coli, Proteus spp. ou Pseudomonas spp. Cependant, les données de notre étude n'ont révélé aucun signe d'endométrites ou de cervicites ascendantes.

L'efficacité de PRID™ pour la synchronisation œstrale a révélé des résultats acceptables (Newcombe, 2002), mais sa faible précision dans la synchronisation des ovulations nécessiterait l'administration du HCG (human chorionic-gonadotropin) (Newcombe et Wilson, 1997) ou des agonistes de la GnRH à action prolongée (Arbeiter *et al.*, 1994; Handler *et al.*, 1999) pour l'induction des ovulations.

En conclusion, l'administration du dispositif intravaginal libérant de la progestérone PRID™ a pu induire l'œstrus et l'ovulation chez les juments à différents moments de l'année. Cependant, contrairement à la situation chez les vaches, l'efficacité du traitement n'était pas satisfaisante concernant l'efficacité par rapport à la saison (faible taux de réponse en hiver) et la synchronisation des intervalles de retrait du PRID™ à l'ovulation (en toutes saisons mais surtout en hiver) chez les juments.



## INTERET DE L'ECHOGRAPHIE DOPPLER POUR DETERMINER LE MOMENT DE L'OVULATION CHEZ LA JUMENT

### 1. INTRODUCTION

Une grande avancée a été faite grâce à l'introduction de l'échographie en gynécologie animale par **Palmer et Driancourt en 1980**. Autrefois, les suivis de croissance folliculaire chez la jument sont basés sur les techniques de palpation transrectales. Néanmoins, ces techniques ne permettent pas la prédiction précise du moment de l'ovulation et encore moins celle du devenir du follicule (ovulation, atresie ou lutéinisation). En effet, qu'il s'agisse de sperme frais ou congelé, ou que la monte naturelle soit obligatoire comme chez les Pur-Sang, donc la saillie doit être très proche dans le temps avec l'ovulation, pour que les spermatozoïdes restent encore viables pour être fécondants, surtout pour les étalons peu fertiles (oligospermiques ou asthénospermiques). Une prédiction précise du moment de l'ovulation serait intéressante pour l'insémination. Ainsi, celle-ci permettrait d'inséminer au bon moment, de réduire le nombre de doses utilisées et de limiter les manipulations de l'appareil génital de la jument, du fait de la prédisposition aux infections utérines. De plus, limiter et réduire le nombre d'inséminations par cycle permet un meilleur rendement et un moindre coût de la gestion de la mise à la reproduction. Tout cela nous a conduits à réaliser une étude sur l'intérêt de l'échographie Doppler pour le pronostic de l'ovulation chez la jument.

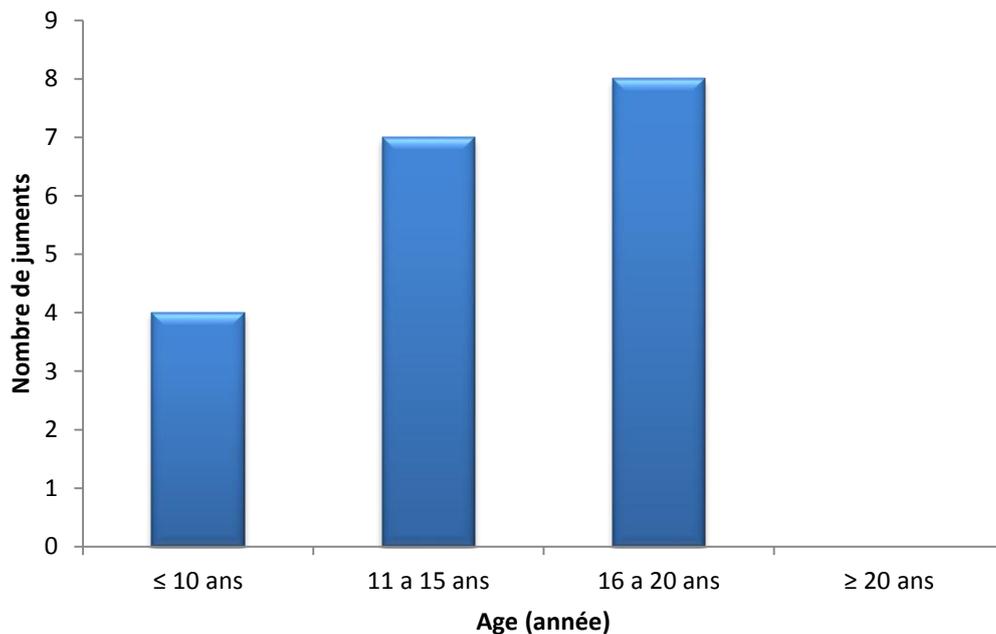
L'objectif de cette étude est de décrire l'évolution de la vascularisation du follicule dans les jours et les heures qui précèdent l'ovulation. Pour cela, nous avons réalisé des échographies transrectales Doppler des follicules ovariens de taille préovulatoire de juments en période de reproduction.



## 2. MATERIEL ET METHODE

### 2.1. Animaux

Pour cette étude, un effectif global de 21 juments a été mis à notre disposition.. L'ensemble des juments étaient de population locale (barbe-arabe), cyclées et hors lactation. Les juments sélectionnées présentaient une moyenne d'âge de  $13.63 \pm 3.96$  ans (min = 6 ans et max = 19 ans) (Figure 55), un poids moyen de  $423 \pm 65$  kg.



**Figure 55** : répartitions des âges des juments

### 2.2. Protocole expérimental

Notre démarche a consisté à réaliser les opérations suivantes :

#### 2.2.1. Contention

Les juments ont été immobilisées par la contention physique (entraves et tord-nez) ou lorsqu'il est disponible les placées dans un travail (Figure 56), à côté duquel était positionné l'échographe. Les juments ont étaient attachées à l'avant par une longe unique qui les empêchait d'avancer les épaules. La queue des juments a été attachée vers le haut à l'aide d'une cordelette, ou maintenu par un aide.



Une légère sédation par une injection intraveineuse de 0,02mg/kg d'Acépromazine®, peut être envisagée pour les juments les plus anxieuses.



**Figure 56** : contention : par entraves (a) ; dans un travail (b)

### 2.2.2. Exploration rectale

Une première palpation transrectale avec un gant lubrifié est effectuée, pour vidanger le rectum et examiner l'appareil génital. La position des ovaires était également bien repérée, ainsi que la présence d'éventuels organites à leurs surfaces.

### 2.2.3. Echographie

L'échographe utilisé est un appareil ultrasonore de modèle (Medison®, SonoAce Pico) équipé d'une sonde convexe multifréquences de 3 à 7 MHz. Après une nouvelle lubrification de la main, la sonde échographique est introduite. Elle est placée dans le creux de la main afin d'éviter les traumatismes lors des mouvements de la jument ou des contractions des muscles rectaux, la vessie était le premier organe à repérer qui apparaît gris. Le corps de l'utérus est suivi en progressant crânialement, passant par une corne utérine, pour atteindre l'ovaire qui est maintenu avec les doigts. Sa surface est alors balayé, afin d'obtenir la vision la plus complète possible des structures de l'organe. Ensuite le deuxième ovaire est examiné de la même façon.

### 2.2.4. Fréquence des échographies

La fréquence des échographies est déterminée par la taille du plus gros follicule (mesurée à l'échographie). En effet, si lors d'un examen, le plus gros follicule a un diamètre moyen inférieur à 25 mm, l'examen est renouvelé 2 jours après. S'il est égal ou supérieur à 25 mm, l'examen est renouvelé le lendemain.

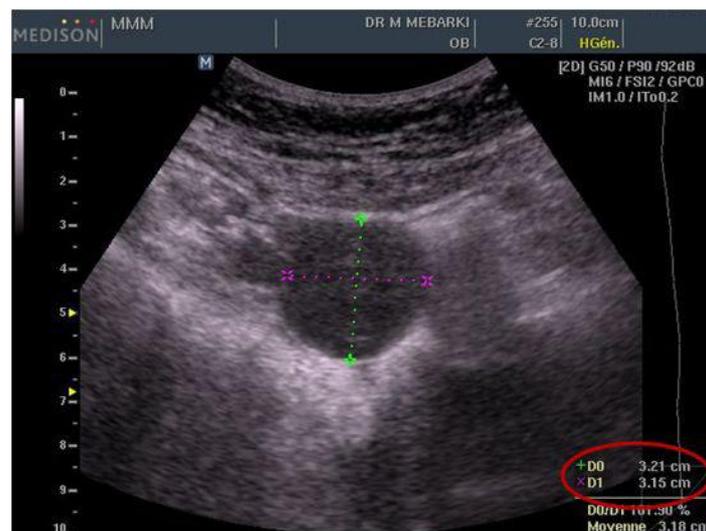


## 2.2. Mesures réalisées

### 2.2.1. Mesures en mode 2D

➤ *Mesure du diamètre folliculaire :*

Sur une image figée, les diamètres horizontal et vertical de chaque follicule sont mesurés (Figure 57), l'image est ensuite enregistrée en mentionnant les mesures faites.



**Figure 57 :** Mesure du diamètre folliculaire

### 2.2.2. Mesures en mode Doppler couleur

➤ Mesures en mode Doppler couleur

Afin d'observer le flux sanguin détectable, le mode Doppler couleur (Color-Flow-Mapping) est activé. Une fois une image nette et sans artefacts du flux sanguin obtenue, elle est enregistrée, plusieurs images d'un même follicule sont prises, les mesures sont réalisées sur les images avec le maximum de pixels colorés. A l'aide du logiciel Image J version 1.52 (disponible sur le site internet du National Institute of Health (NIH) <http://rsb.info.nih.gov/ij>) (Figure 58).

➤ Mesures en mode Doppler pulsé

Le Mode Doppler Pulsé est activé. Les mesures sont réalisées sur le vaisseau de la paroi observée en mode CFM qui produisait le signal le plus intense (d'intensité de couleur et de brillance). On positionne une « porte Doppler » de 2 mm sur le vaisseau



étudié. Trois cycles cardiaques sont enregistrés, les mesures sont faites sur le spectre du deuxième cycle cardiaque. Nous avons obtenu la vitesse maximale, l'IP, l'IR et l'intégrale de la vitesse du flux sanguin dans le vaisseau étudié. L'image enregistrée contient l'image de la paroi folliculaire où on a positionnée la « porte Doppler », le spectre des vitesses et les valeurs des quatre mesures. Parfois, plusieurs mesures au Doppler pulsé sont réalisées sur un même vaisseau au cours d'un même examen. Dans ce cas, on sauvegarde toutes les images correspondantes.

### **2.3. Analyses statistiques**

Les données sont exprimées en moyenne  $\pm$  écart type. La comparaison entre les valeurs de diamètre folliculaire, aire coloré et l'indice de pulsatilité (IP) des follicules préovulatoires de j-5 à j-1 a été par ANOVA, suivie par le test PLSD (Protected Least Sig. Difference) de Fisher pour les comparaisons deux à deux.

Pour mieux interpréter les résultats, les corrélations statistiques entre le diamètre folliculaire et l'indice de pulsatilité IP et entre le diamètre folliculaire et l'aire coloré sont calculées par le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson. La régression logistique est utilisée afin de prédire le jour de l'ovulation. Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel R version 3.0.2.

Le seuil de signification retenu est de 5% ( $p < 0.05$ ).



<p><b>A</b></p> <p>Une fois la photo sélectionnée et sa conformité au protocole vérifiée, ouvrir la photo dans le logiciel ImageJ. A l'aide de l'outil "Ligne" tracer une ligne pour déterminer l'échelle.</p>																																					
<p><b>B</b></p> <p>A l'aide de l'outil "Rectangle", sélectionner la région d'intérêt uniquement</p>																																					
<p><b>C</b></p> <p>Créer une version binaire de l'image (100% Noir et Blanc)</p>																																					
<p><b>D</b></p> <p>Lancer le processus d'analyse de la surface des objets qui affichera le contour de chaque particule avec son numéro de référence. Contrôler la surface des pixels colorés et noter la surface mesurée dans le tableur qui s'affiche.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Area</th> <th>Mean</th> <th>Min</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>16</td><td>0.008</td><td>133</td><td>133</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.008</td><td>125</td><td>125</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.452</td><td>168</td><td>509</td></tr> <tr><td>19</td><td>1.208</td><td>142</td><td>660</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.246</td><td>135</td><td>300</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.082</td><td>127</td><td>800</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.016</td><td>124</td><td>123</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.148</td><td>131</td><td>778</td></tr> </tbody> </table>	Area	Mean	Min	Max	16	0.008	133	133	17	0.008	125	125	18	0.452	168	509	19	1.208	142	660	20	0.246	135	300	21	0.082	127	800	22	0.016	124	123	23	0.148	131	778
Area	Mean	Min	Max																																		
16	0.008	133	133																																		
17	0.008	125	125																																		
18	0.452	168	509																																		
19	1.208	142	660																																		
20	0.246	135	300																																		
21	0.082	127	800																																		
22	0.016	124	123																																		
23	0.148	131	778																																		

**Figure 58:** Mesure du flux sanguin détectable en mode Doppler couleur à l'aide du logiciel Image J



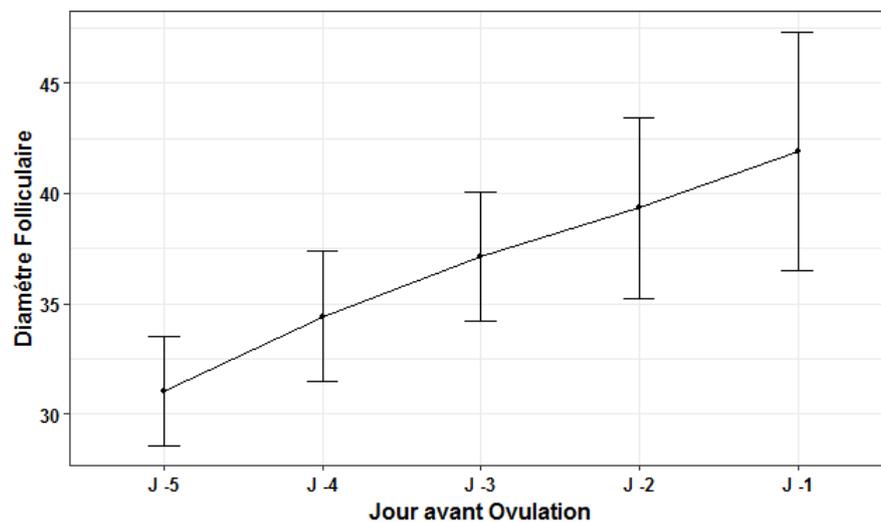
### 3. RESULTATS

La totalité des juments examinées (n=21) ont eu une ovulation unique, 8 sur l'ovaire gauche et 13 sur l'ovaire droit.

#### 3.1. Evolution des différents paramètres étudiés

L'évolution des trois paramètres étudiés montrait une grande hétérogénéité des pentes.

La courbe de du diamètre folliculaire avait une pente plus importante (Figure 59). Le diamètre folliculaire augmente significativement durant les cinq jours précédents l'ovulation de  $31.02 \pm 2.39$  mm à J<sub>-5</sub> à  $41.90 \pm 5.30$  mm à J<sub>-1</sub> ;(p < 0.01).

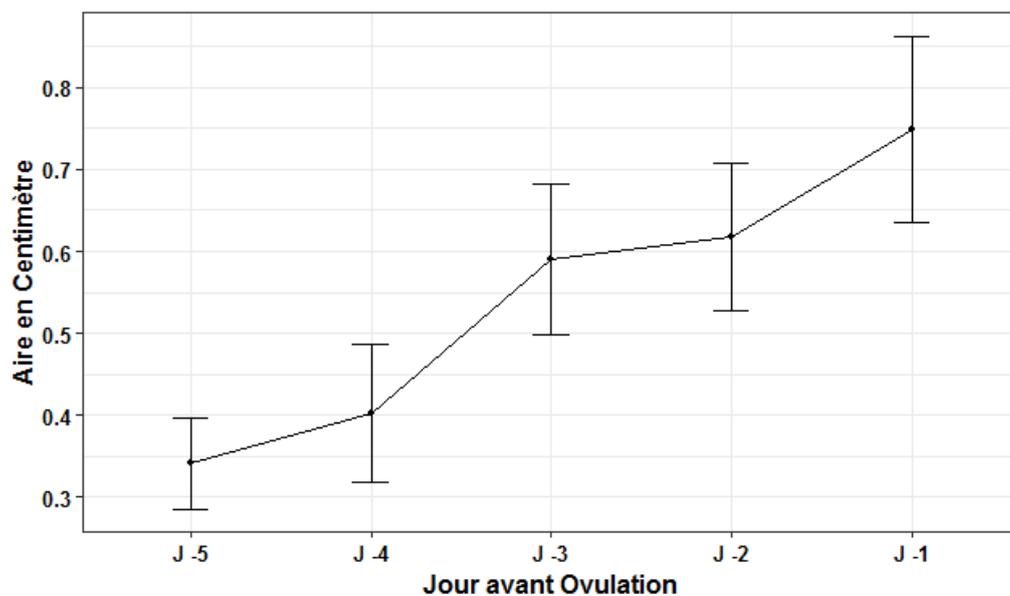


**Figure 59:** Représentation graphique de l'évolution du diamètre folliculaire moyen en fonction du jour.

Le flux sanguin présenté par l'aire colorée augmente significativement durant les jours d'examen de  $0.34 \pm 0.11$  cm<sup>2</sup> à j<sub>-5</sub> à  $0.75 \pm 0.24$  cm<sup>2</sup> à j<sub>-1</sub>; (p < 0.05) (Figure 60-61).

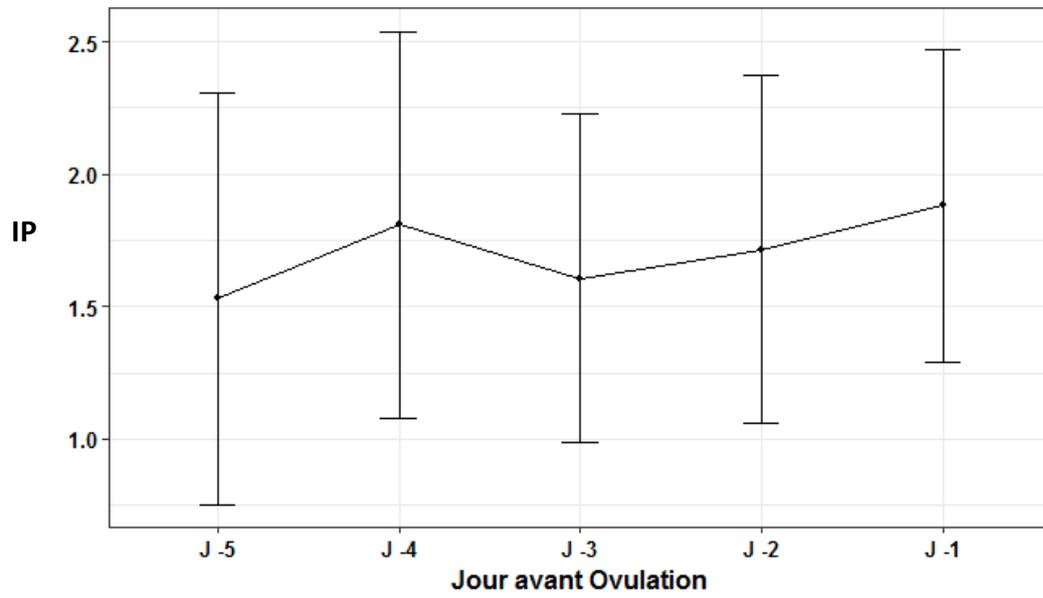


**Figure 60 :** Images échographiques Doppler couleur montrant l'évolution de la vascularisation d'un follicule de jument dans les trois jours précédant son ovulation.

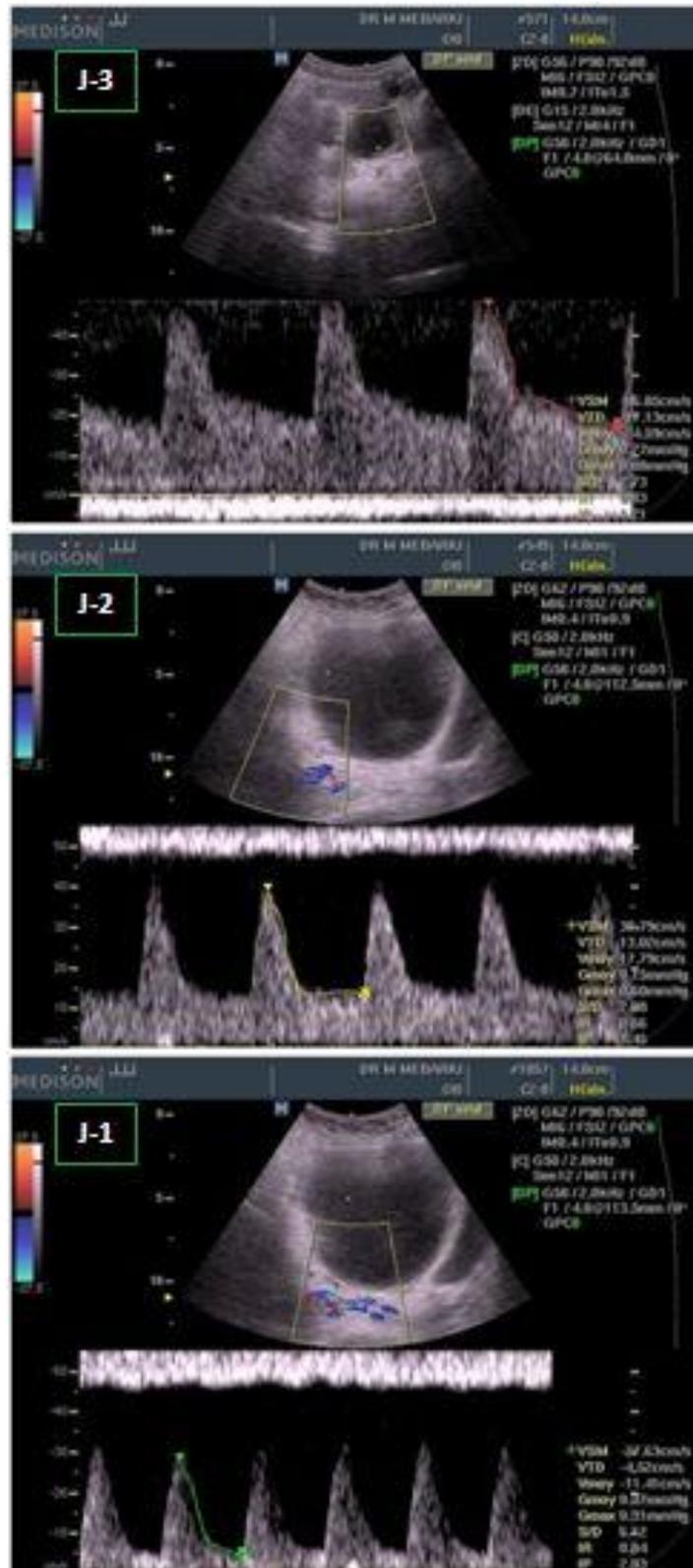


**Figure 61:** Représentation graphique de l'évolution de l'aire colorée moyenne en fonction du jour.

L'évolution de l'IP dans la même période montrait une grande fluctuation des valeurs et la pente la plus basse avec alternation de valeurs entre  $1.53 \pm 0.75$  et  $1.88 \pm 0.57$  sans différence significative; ( $p > 0.05$ ) (Figure 62-63).



**Figure 62:** Représentation graphique de l'évolution de l'indice de pulsativité (IP) moyenne en fonction du jour.



**Figure 63:** Images échographiques Doppler couleur et pulsé d'un follicule préovulatoire montrant l'évolution des paramètres Doppler dans les trois jours précédant son ovulation.



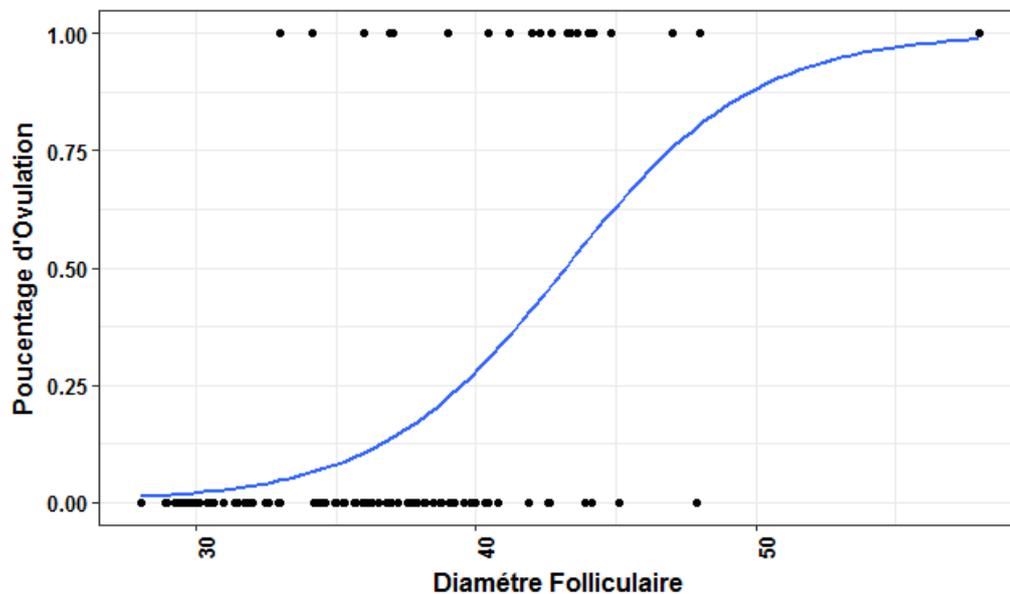
### 3.2. La corrélation

Il n'y a pas eu de corrélation ( $r < 0,21$ ;  $p > 0.05$ ) entre le diamètre folliculaire et les paramètres Doppler étudiés (aire colorée et IP).

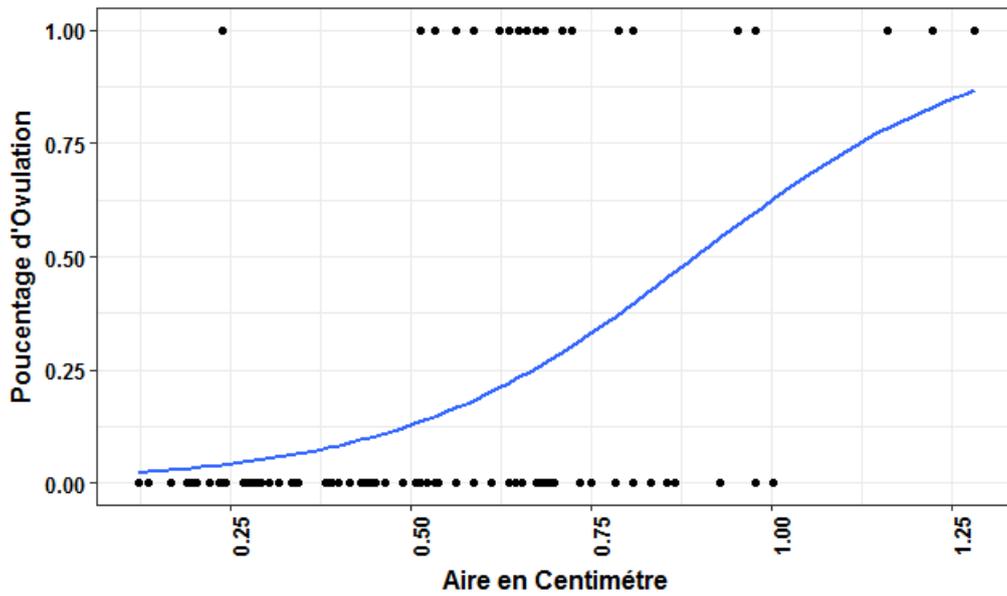
### 3.3. La régression logistique

Nous avons examiné la forme des courbes de régression logistique pour chaque paramètre séparément (Figure 64-66).

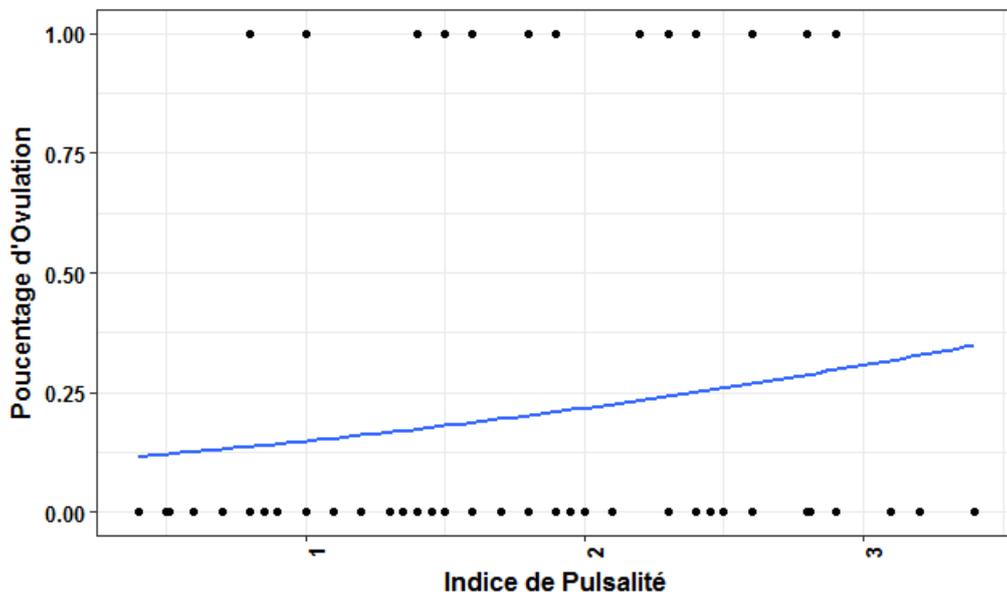
Les pentes étaient plutôt peu profondes dans tous les cas, sauf peut-être pour les relations entre ovulation et diamètre folliculaire.



**Figure 64 :** Courbe de régression logistique montrant la probabilité d'avoir une ovulation (0 à 1,0 = probabilité de 0 à 100%) par rapport au diamètre folliculaire



**Figure 65:** Courbe de régression logistique montrant la probabilité d'avoir une ovulation (0 à 1,0 = probabilité de 0 à 100%) par rapport a l'aire colorée.



**Figure 66:** Courbe de régression logistique montrant la probabilité d'avoir une ovulation (0 à 1,0 = probabilité de 0 à 100%) par rapport a l'indice de pulsativité IP.



#### 4. DISCUSSION

L'évolution du diamètre folliculaire a montré une tendance à l'augmentation au cours du temps mais les écarts types élevés n'ont pas permis d'en faire un élément pronostique de l'ovulation. C'est pourquoi, notre intérêt s'est porté sur la recherche d'autres moyens pour prédire le moment de l'ovulation. Les images utilisées pour le calcul de l'aire colorée ont été obtenues lorsque le follicule était à son plus grand diamètre et qu'aucun artefact n'était présent. L'aire colorée, par jument, n'a pas permis de déterminer de « seuil », permettant de prédire l'ovulation **Ginther, (1992)**. L'évolution de l'aire colorée moyenne a montré des écarts types élevés, qui nous ont pas permis d'en faire un élément pronostique de l'ovulation. Ce résultat a signifié que la connaissance d'une courbe d'évolution de l'aire colorée d'une jument n'était pas une aide pour la prédiction d'une ovulation ultérieure sur cette même jument. Ainsi, il y a eu une augmentation significative de l'aire colorée autour du follicule préovulatoire dans les 24 heures ayant précédé le constat de l'ovulation. Ces résultats sont concordants avec ceux observés chez la vache par **Acosta et al., (2003)** pour lesquels l'aire colorée autour du follicule préovulatoire a augmenté significativement dans les 24 à 36 heures ( $\pm 6$  heures) avant ovulation. Ainsi, la visualisation d'une augmentation de l'aire colorée autour d'un follicule suivi a apporté un élément supplémentaire pour la prédiction du moment de l'ovulation. Ce paramètre associé aux éléments existant en échographie classique a paru améliorer considérablement le pronostic du moment de l'ovulation.

L'IP moyen global a eu tendance à montrer une grande fluctuation des valeurs entre J-5 et J-1 et les écarts types élevés n'ont pas permis d'en faire un élément pronostique de l'ovulation. Les études du flux sanguin dans la paroi des follicules préovulatoires chez la femme ont montré aussi des résultats variables selon les publications, concernant l'IP. Ainsi, l'IP a commencé à diminuer trois jours avant ovulation, ou est resté constant tout au long du cycle, ou encore est resté constant dans toutes les régions du follicule excepté l'apex, où il a été significativement plus bas en phase ovulatoire (1 jour avant ovulation) que 4 à 2 jours avant ovulation **Sladkevicius et al., (1993)** ; **Tan et al., (1996)** ; **Brännström et al., (1998)**. Dans notre étude, l'IP n'a pas été étudié tout au long du cycle œstral, ainsi les valeurs obtenues n'ont pas pu être comparées à celles du diœstrus. Il est probable que l'IP aurait été plus élevé durant le diœstrus. Nos résultats semblent être proches de ceux obtenus par **Brännström et al.,**



(1998), qui ont observé une alternance des valeurs de l'IP tout au long du cycle. La variabilité des résultats obtenus en humaine a parue démonstrative de la faible utilité de ce paramètre pour la prédiction de l'ovulation.

## 5. CONCLUSION

Notre étude a permis de montrer que le suivi échographique folliculaire était jusqu'alors la meilleure technique pour la prédiction de l'ovulation. Le suivi folliculaire par échographie Doppler pouvait améliorer le pronostic de l'ovulation chez la jument en améliorant la prédiction de l'ovulation donnée par l'échographie classique, dans une fourchette de temps qui reste à évaluer précisément. Néanmoins, l'échographie Doppler ovarienne chez la jument comporte certaines difficultés pour sa mise en pratique sur le terrain :

- un échographe muni d'un système Doppler a un coût supérieur à un échographe classique,
- la technique d'examen est chronophage ; alors que la réalisation d'une échographie ovarienne classique prend moins de 5 minutes, une échographie Doppler ovarienne prend une dizaine de minutes si la jument coopère et beaucoup plus si la jument bouge beaucoup (jusqu'à 30 minutes sans tranquillisation),
- l'utilisation de cette technique nécessite la formation de l'opérateur notamment pour la préhension des ovaires pour les rendre immobiles et également pour la réalisation des mesures Doppler et leurs interprétations.



# RELATION ENTRE LE FLUX SANGUIN ET LA FONCTION LUTEALE

## 1. INTRODUCTION

La progestérone est indispensable dès le début de la gestation, immédiatement après la fécondation, et le reste pour toute la durée de la gestation. Elle régule le transit de l'embryon depuis l'oviducte jusqu'au lieu de son implantation dans l'utérus. La progestérone stimule également les sécrétions utérines qui vont nourrir l'embryon avant son implantation et ainsi permettre sa survie dans le tractus génital (**Thatcher *et al.*, 2006**). Elle est produite et sécrétée par le corps jaune ovarien (**Webb *et al.*, 2002**) principalement et par le placenta (**Ginther et Utt, 2004**). Une chute anormalement précoce de la concentration de la progestérone au cours de la gestation, appelée insuffisance lutéale, provoque des résorptions embryonnaires ou fœtales ou des avortements spontanés (**Bergfelt et Ginther, 1996; Arruda *et al.*, 2001**). L'insuffisance lutéale est due à un arrêt prématuré du fonctionnement du corps jaune ou encore à une diminution de sa durée de vie. Chez les femelles domestiques, les causes d'avortements spontanés sont variées et très nombreuses et on peut les classer selon leur cause, infectieuse, endocrinienne, chromosomique, nutritionnelle, iatrogène ou encore traumatique. L'insuffisance lutéale est l'une des principales causes endocriniennes d'avortements spontanés chez la femelle domestique (chienne, jument, vache, ...) (**Mialot *et al.*, 2004**).

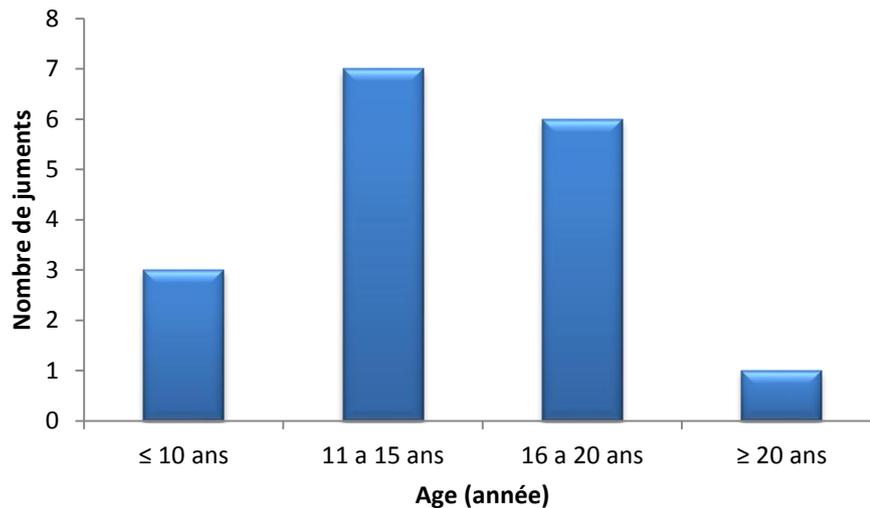
L'objectif de la présente étude est de déterminer, d'une part, la fiabilité du flux sanguin du corps jaune, enregistré par échographie-doppler couleur, dans l'évaluation de l'activité sécrétoire lutéale et d'autre part, de comparer les résultats du flux sanguin lutéal obtenus par l'échographie-doppler couleur avec ceux de la taille lutéale mesurée par l'échographie mode 2D.



## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Animaux

Le matériel biologique a été constitué de dix-sept 17 juments de race arabe-barbe toutes âgées de quatre ans et plus (Figure 67). Elles ont été nourries avec du foin et complétées avec des concentrés. L'eau était fournie ad libitum.



**Figure 67:** répartitions des âges des juments

### 2.2. Échographie

L'évaluation échographique a été réalisée à l'aide d'un échographe (Mini Focus 1402, BK Medical) équipé d'une sonde convexe multifréquences de 5 à 7.5MHz.

Ce suivi est réalisé depuis l'ovulation  $J_0$  (le jour de la disparition du follicule de Graaf) jusqu'à  $J_{15}$ . Le mode 2D est d'abord utilisé pour apprécier l'évolution morphologique du corps jaune (calcul de la surface) à l'aide du logiciel Image J version 1.52a (Figure 68); puis le mode doppler couleur est activé pour calculer la surface du flux sanguin détectable. En parallèle, des prises de sang sont réalisées après chaque examen afin de mesurer la progestéronémie.

### 2.3. Analyses statistiques

Les corrélations statistiques entre la progestéronémie et la taille du corps jaune et entre la progestéronémie et le flux sanguin lutéal sont calculés par le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson. Suivie par le test PLSD (Protected Least Sig.



Difference) de Fisher pour déterminer les changements significatifs des trois paramètres étudiés.

Le seuil de signification retenu est de 5% ( $p < 0.05$ ).

<p><b>A</b></p> <p>Une fois la photo sélectionnée et sa conformité au protocole vérifiée, ouvrir la photo dans le logiciel ImageJ. A l'aide de l'outil "Ligne" tracer une ligne pour déterminer l'échelle.</p>													
<p><b>B</b></p> <p>la zone d'intérêt (ROI), qui représente sa section ayant le diamètre maximal est sélectionnée</p>													
<p><b>C</b></p> <p>Lancer le processus d'analyse de la surface des objets qui affichera la surface du corps jaune mesurée dans le tableur qui s'affiche. Dans les cas des corps jaunes cavitaires, la surface de la cavité sera d'emblée éliminée de la surface totale.</p>	<table border="1" data-bbox="798 1556 1077 1736"> <thead> <tr> <th>File</th> <th>Edit</th> <th>Font</th> <th>Results</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Area</td> <td>Mean</td> <td>Min</td> <td>Max</td> </tr> <tr> <td>19155</td> <td>60.748</td> <td>5</td> <td>255</td> </tr> </tbody> </table>	File	Edit	Font	Results	Area	Mean	Min	Max	19155	60.748	5	255
File	Edit	Font	Results										
Area	Mean	Min	Max										
19155	60.748	5	255										

**Figure 68:** Mesure de la surface d'un corps jaune a l'aide du logiciel Image J

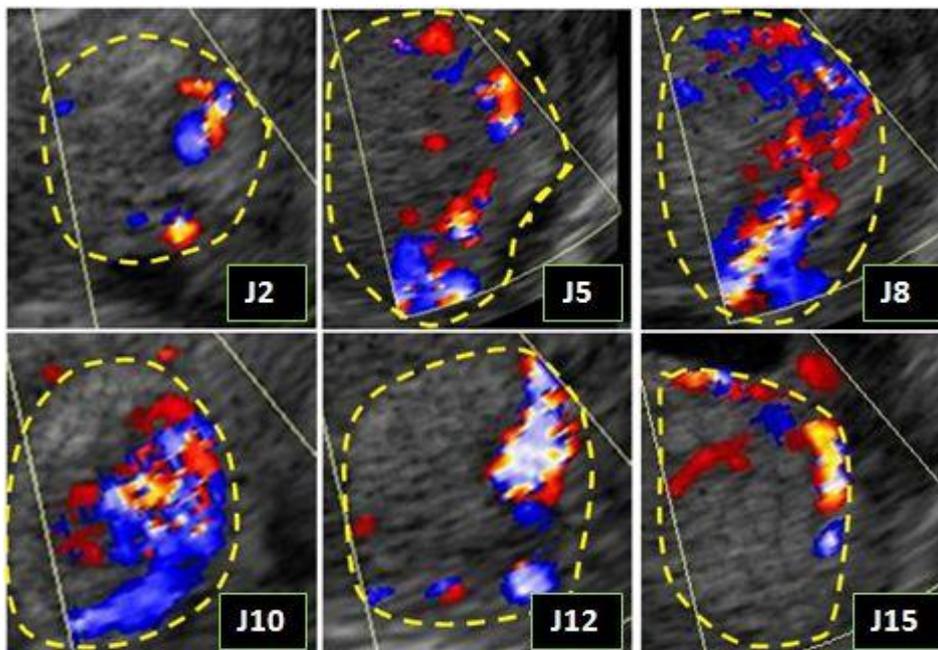


### 3. RESULTATS

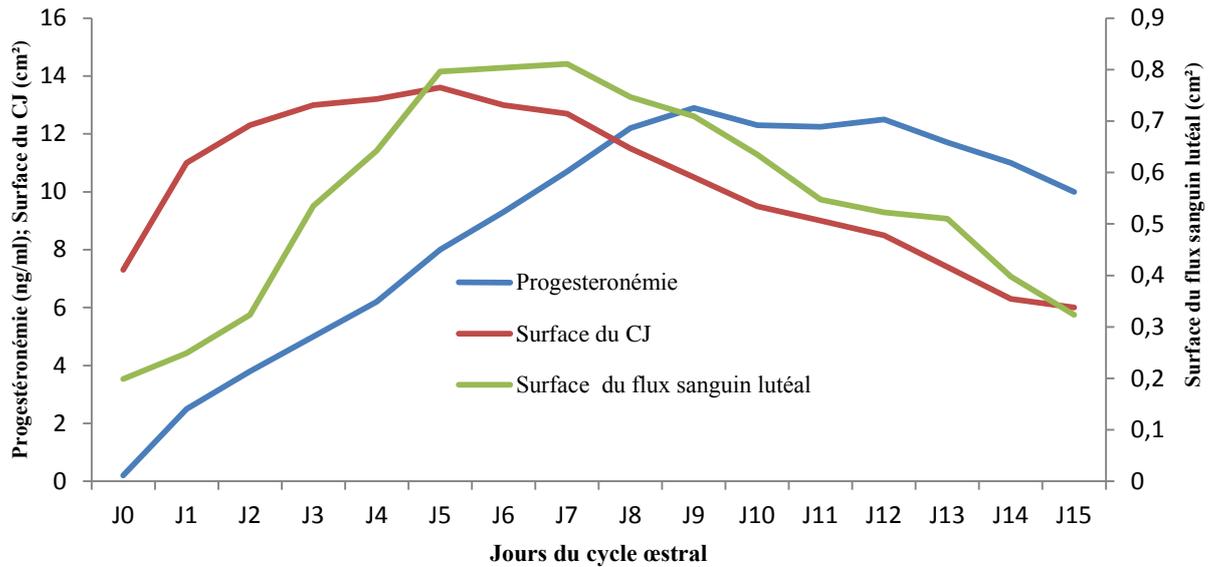
La totalité des juments examinées (n=17) ont eu une ovulation unique, qui a aboutie à la formation de 11 corps jaunes sur l'ovaire gauche et 6 sur l'ovaire droit.

#### 3.1. Les changements cycliques

Le suivi des modifications morphologiques du corps jaune, les changements dans le flux sanguin détectable par échographie-doppler (Figure 69) et le dosage de la progestérone sérique nous ont permis d'établir une courbe récapitulative des changements relatifs de la progestéronémie, de la superficie et le flux sanguin du CJ, durant la phase lutéale du cycle œstrale (Figure 70).



**Figure 69:** Images échographiques Doppler couleur montrant l'évolution du flux sanguin d'un Corps jaune de jument au cours de la phase lutéale (clichés personnels).



**Figure 70:** les changements relatifs de la progesteronémie, superficie du CJ et flux sanguin lutéale durant le cycle œstral.

La concentration de la progestérone plasmatique augmente significativement durant la phase de croissance lutéale de 0.2 (ng/ml) à J<sub>0</sub> à 12.2 (ng/ml) à J<sub>8</sub> ;( p < 0.0001). Une phase statique entre J<sub>8</sub> 12.2 ng/ml et J<sub>12</sub> 12.5 ng/ml;( p > 0.05). Puis une phase de régression significative est observée entre J<sub>12</sub> et J<sub>15</sub> de la progesteronémie qui passe de 12.5 (ng/ml) à 10 ng/ml respectivement (p< 0. 01).

La taille du corps jaune augmente significativement durant la phase de croissance lutéale de 7.3 cm<sup>2</sup> à J<sub>0</sub> à 12.3cm<sup>2</sup> à J<sub>2</sub>. ;(p < 0.001). Durant la phase statique entre J<sub>2</sub> 12.3 cm<sup>2</sup> et J<sub>9</sub> 10.5 cm<sup>2</sup> le corps jaune continue à augmenter de taille mais d'une façon légère pour arriver a 13.6cm<sup>2</sup> a J<sub>5</sub> ;(p > 0.05). Pendant la phase de régression, une baisse significative de la superficie est relevée, le corps jaune passe ainsi de 10.5 cm<sup>2</sup> à J<sub>9</sub> à moins de 6cm<sup>2</sup> à J<sub>15</sub> (p< 0.001).

Le flux sanguin détectable augmente significativement aussi durant la phase de croissance lutéale de 0.19 cm<sup>2</sup> à J<sub>0</sub> à 0.79 cm<sup>2</sup> à J<sub>5</sub> ;(p < 0.001).Une phase statique sans changement significatif entre J<sub>5</sub> 0.79 cm<sup>2</sup> et J<sub>9</sub> 0.70 cm<sup>2</sup> ;(p > 0.05).

Enfin une chute significative est observée entre J<sub>9</sub> et J<sub>15</sub> de 0.70 cm<sup>2</sup> à 0.32 cm<sup>2</sup> ; (p< 0. 01).



### 3.2. La corrélation

Une forte corrélation est observée entre FSL (flux sanguin lutéal) et P<sub>4</sub> (progestéronémie) (0.57 ; p < 0.001) et entre FSL et TL (taille lutéale) (0.58 ; p < 0.001 ) respectivement (Tableau 07).

Il n'y a pas de corrélation entre TL et P<sub>4</sub> (0.21 ; p > 0.05).

**Tableau 07** : Matrice de corrélation entre les différents paramètres étudiés

	P <sub>4</sub>	FSL	TL
P <sub>4</sub>	1		
FSL	0,57624709	1	
TL	0,21733038	0,58912261	1

## 4. DISCUSSION

L'un des facteurs de risque majeurs d'avortement en élevage et d'échecs des protocoles de transfert embryonnaires est l'insuffisance lutéale des receveuses, en résultent des pertes économiques considérables surtout s'il s'agit d'embryons de haute valeur génétique (clonés, transgénique...etc) (**Hinrich et Choi, 2005**).

Le diagnostic de ces anomalies se fait principalement par dosage de la P<sub>4</sub> sérique qui comprend une ponction vasculaire, souvent source de stress pour l'animal, et le recours à un laboratoire équipé d'automates, ce qui n'est pas toujours disponible en routine. En plus la jument à un corps jaune qui n'est pas ou peu palpable car il est situé au sein de l'ovaire, alors le fouiller rectal n'est pas un moyen de mise en évidence des corps jaunes au niveau des ovaires.

Le recours à l'imagerie médicale 2D peut s'avérer être une solution très intéressante car elle permet de mieux mettre en évidence les corps jaunes intra-ovariens ainsi que les corps jaunes cavitaires. Cependant, cette technique n'est pas exempte d'erreurs car certains corps jaunes apparaissant de bonne qualité en imagerie 2D produisent très peu de P<sub>4</sub> (**Ginther et al., 2007**). les concentrations de progestérone trouvées pendant



la phase lutéale corroborent les résultats décrits dans des travaux antérieurs (**Townson et al., 1989; Bergfelt et Ginther, 1996; Ginther et al., 2007**).

Sachant que le corps jaune est l'organe le plus vascularisé de l'organisme par unité de tissu (**Wiltbank et al., 1988 ; Gaytan et al., 1999**), le recours à l'examen de sa vascularisation peut s'avérer être un meilleur révélateur de son activité sécrétoire au vue de la forte corrélation observée entre la vascularisation et le taux de progestéronémie au cours des 3 phases (lutéogénèse, lutéotropie et lutéolyse) .

Dans notre travail, le taux de P<sub>4</sub> sérique est plus proportionnel à l'évolution de la vascularisation du corps jaune que la taille (**Ginther et al., 2006 ; Herzog et al., 2009 ; Mebarki et temim, 2014**). Les cellules lutéales reçoivent les molécules biologiques, les nutriments, et les hormones nécessaires pour la synthèse de la progestérone par le système vasculaire. Alors il est avéré que le corps jaune doit recevoir suffisamment de sang pour bien fonctionner. Durant la phase de la lutéolyse, la régression de la vascularisation a lieu plus rapidement que la chute du taux de P<sub>4</sub> sérique, se qui peut être utiliser comme un indicateur précoce que corps jaune va passer a la lutéolyse (**Ginther et al., 2007**).

## 5. CONCLUSION

Le recours à l'examen de la vascularisation du corps jaune peut s'avérer être le meilleur révélateur de son activité sécrétoire que sa taille .Associé à un examen 2D du tractus génital, le mode doppler couleur contribuerait de manière efficace dans la gestion de la reproduction chez les juments.

La disponibilité des échographes doppler et à des prix plus en plus compétitif est de nature à permettre une diffusion plus large de l'utilisation de cet outil que ce soit en diagnostic ou en biotechnologie de la reproduction.



# DETERMINATION DU SEXE DU FŒTUS EQUIN PAR L'ECHOGRAPHIE DOPPLER COULEUR TRANSRECTALE DANS LES CONDITIONS DE LA FERME

## 1. INTRODUCTION

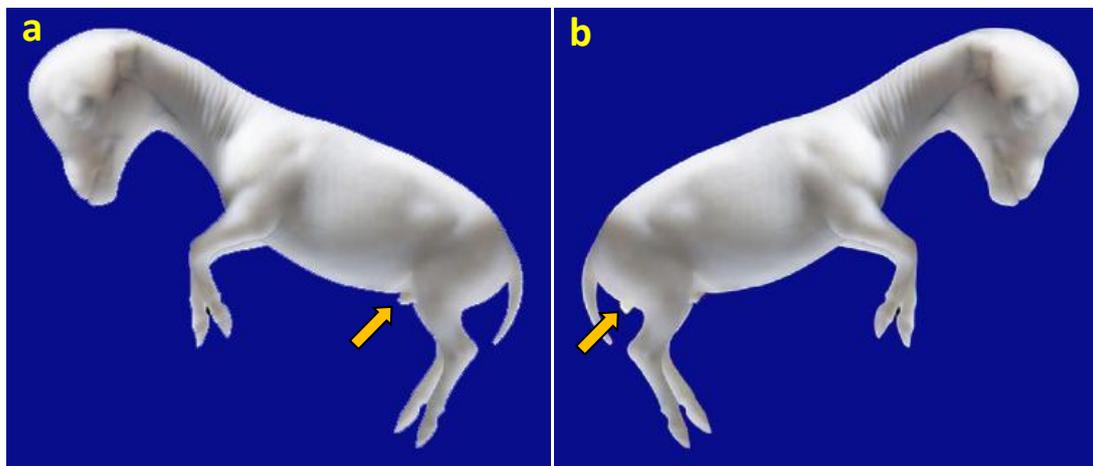
Depuis le début des années 80, l'échographie s'est fortement développée en tant que technique d'investigation diagnostique. A l'origine réservée à la gynécologie équine pour le diagnostic de gestation et l'examen ovarien, elle a été par la suite utilisée chez d'autres espèces comme les bovins, les ovins, les caprins, et les carnivores domestiques.

L'échographie est de plus en plus utilisée comme technique de sexage des embryons, Cette opportunité peut être intéressante pour les éleveurs qui voudraient planifier des ventes mais aussi ajuster leur politique de gestion du troupeau. Comme la valeur de la poulinière au moment de la vente est souvent déterminée par le sexe du fœtus. Il est certain que certains étalons ont une proportion plus élevée de progéniture femelle que de mâle, ou vice versa. De plus, la sélection et l'élevage des poulinières est plus facile lorsque le sexe du fœtus est connu. La première technique de sexage du fœtus par échographie chez la vache a été décrite en 1986 par **MULLER et al.** Le diagnostic du sexe, réalisé entre le 70<sup>e</sup> et le 120<sup>e</sup> jour de gestation, consistait à visualiser le scrotum chez le fœtus mâle et les bourgeons mammaires chez le fœtus femelle. En 1989, **CURRAN et al.** ont décrit une méthode précoce de sexage du fœtus. Le sexage est réalisé entre le 58<sup>e</sup> et le 70<sup>e</sup> jour de gestation. Il est basé sur la position relative du tubercule génital, qui est initialement situé sur la ligne médiane entre les membres postérieurs, ce qui rend impossible la différenciation entre les fœtus mâle et féminins. Le jour 55<sup>e</sup> de la gestation, la migration du tubercule génital commence; il migre à une courte distance dans la direction caudale pour s'arrêter à la base de la queue chez le fœtus femelle, devenant ainsi le clitoris. Chez le fœtus mâle, le tubercule génital migre à une plus grande distance dans la direction crânienne, immédiatement derrière le cordon ombilical, devenant le pénis (Figure 71). Il est facilement visualisable par échographie puisqu'il apparaît sous la forme d'une image hyperéchogène et bilobée.



Cependant, cette technique a quelques limites: L'examineur doit être expérimenté pour scanner les bons plans pour trouver le tubercle génital dans les deux sexes et la courte période de temps où elle peut être effectuée, qui est habituellement entre 59 et 68 jours et l'évaluation d'une seule caractéristique du fœtus (Tönissenet al., 2015). En outre, chez les équins, le fœtus attaché par un long cordon ombilical et entouré d'une grande quantité de liquide allantoïdien se déplace vers la partie la plus ventrale de l'utérus, rendant l'approche échographique rectale extrêmement difficile, empêchant la visualisation de ses structures (Carmo et al. , 2008)

L'échographie-doppler est une méthode permettant de visualiser et d'analyser le flux sanguin dans le tractus génital, efficace, non invasive. Le but de cette étude était de déterminer l'efficacité de Doppler couleur dans la détection du sexe fœtal équin.



**Figure 71:** Localisation du tubercle génital (flèche) chez des fœtus équins mâle (a) et femelle (b).

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Évaluation échographique

Cette étude porte sur 39 juments de race Arabe-Barbe âgées de 6 à 15 ans. Ces chevaux appartiennent à des propriétaires privés. Les diagnostics du sexe des fœtus ont été réalisés en fermes, dans les conditions du terrain.

Un aide assure la contention des juments sans sédation. Une vidange préalable du rectum de son contenu en matières fécales est réalisée. Cette vidange du rectum a été effectuée sans appuyer sur l'utérus, car toute manipulation de ce dernier entraîne un déplacement du fœtus vers l'avant de l'utérus. L'examen échographique est réalisé par



voie transrectale. L'échographe utilisé est un appareil ultrasonore de modèle (Medison®, SonoAce Pico) équipé d'une sonde convexe multifréquences de 3 à 7 MHz ; La sonde enduite de gel de contact et protégée par une gaine plastique à usage unique, est introduite dans le rectum de la jument. La sonde est habituellement maintenue au moyen du pouce, de l'index et du majeur. Un balayage d'une façon lente de l'ensemble de l'utérus est alors effectué afin de repérer le fœtus.

Échographie effectuée en deux périodes de gestation (**Livini, 2010**). La première période de détermination du sexe a été effectuée entre le 57ème et le 80ème jour de gestation et était basée sur la position du tubercule génital. Si le tubercule génital migre en direction du cordon ombilical, il s'agit d'un fœtus mâle. S'il migre en direction de la queue, il s'agit d'un fœtus femelle. La période avancée de détermination du sexe a été réalisée entre le 80ème et le 150ème jour de gestation, le diagnostic du sexe est basé sur la présence du pénis et du scrotum chez le fœtus mâle, et la présence des bourgeons mammaires et la vulve chez le fœtus femelle. L'examen est d'abord réalisé en mode 2D, puis le mode doppler couleur est activé pour voir et apprécier le flux sanguin détectable. Tous les examens échographiques ont été enregistrés sur bande vidéo pour permettre des études détaillées ultérieures et pour stocker des images. Afin de vérifier la précision de la détermination, des données concernant le sexe des poulains à la naissance ont été collectées.

## **2.2. Analyses statistiques**

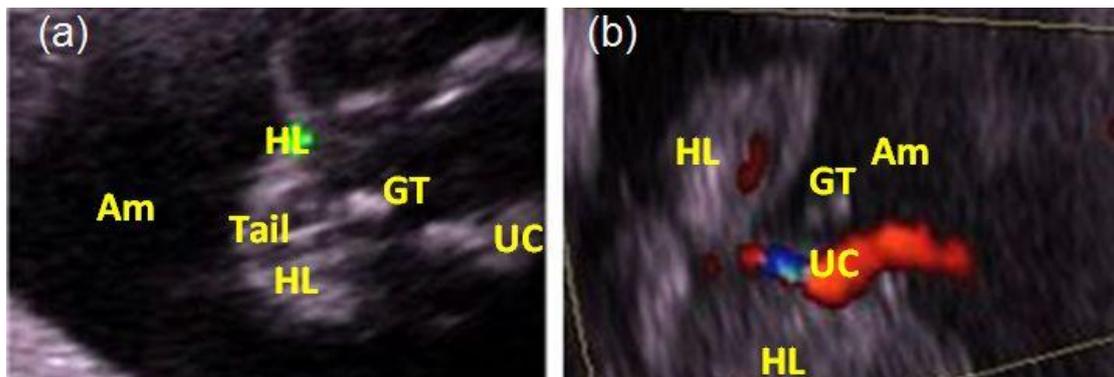
L'exactitude des différentes techniques échographiques utilisées pour déterminer le sexe du fœtus à différents âges gestationnels et chez les deux sexes a été comparée en utilisant le test exact de Fisher bilatéral et le rapport des cotes (Odds Ratio « OR») avec leurs intervalles de confiance à 95%. Le niveau de signification a été fixé à  $P < 0,05$ .

## **3. RESULTATS**

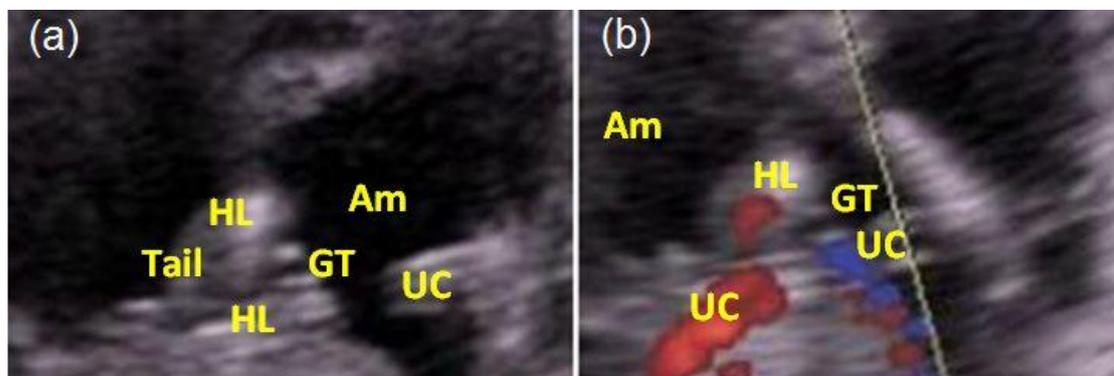
Vingt-quatre déterminations de sexe ont été effectuées entre 57 et 70 jours de gestation. Lors de chaque examen échographique, nous avons examiné de près la région allant du cordon ombilical à la queue pour identifier le tubercule génital apparent (Figure 72). Les fœtus males ont été diagnostiqués plus facilement en raison de la grande taille du tubercule génital, avec une précision de 72,72% contre 62,50%



chez les fœtus femelles (Figure 73) (Tableau 8). L'examen des vaisseaux du cordon ombilical à l'aide de l'échographie Doppler permet sa meilleure identification et différenciation des autres organes. Ce qui aide à l'examen et à l'exploration facile des autres structures. Surtout chez les males à 90,90% (Tableau 8).



**Figure 72:** Image échographique d'un fœtus mâle de 67 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b). (GT : tubercule génital, HL : membres postérieurs, UC : cordon ombilical, Am: amnios, Tail: queue)



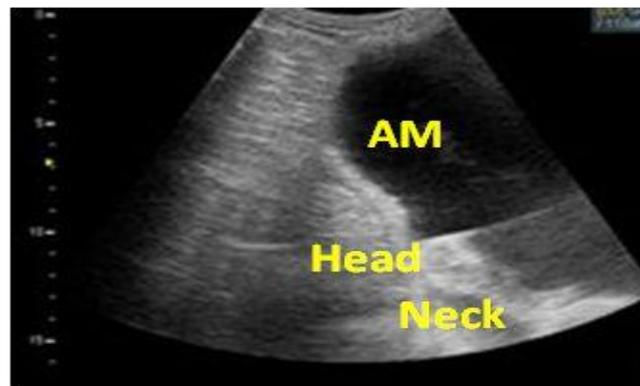
**Figure 73:** Image échographique d'un fœtus femelle de 64 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b). (GT : tubercule génital, HL : membres postérieurs, UC : cordon ombilical, Am: amnios, Tail: queue)



**Tableau 08:** Détection du sexe fœtal en utilisant l'échographie 2D et Doppler dans les différents stades de gestation

stade de gestation	Male				Femelle			
	57-70 jours		90-120 jours		57-70 jours		90-120 jours	
Mode utilisé	2D	Doppler	2D	Doppler	2D	Doppler	2D	Doppler
Sexe (detecté)	8	10	11	12	5	6	5	5
Sexe (poulinage)	11		14		8		6	
Faux diagnostics	4	1	2	2	3	2	1	1
Précision (%)	72.72%	90.90%	78.57%	85.71%	62.50%	75.00%	83.33%	83.33%

Pendant la manipulation utérine lors de l'examen échographique entre 70 et 90 jours de gestation, le fœtus descend dans la cavité abdominale. Ce qui entrave le positionnement du transducteur sur le fœtus et la visualisation de ses structures (Figure 74). Ce qui nous a amené à arrêter l'examen pendant cette période.

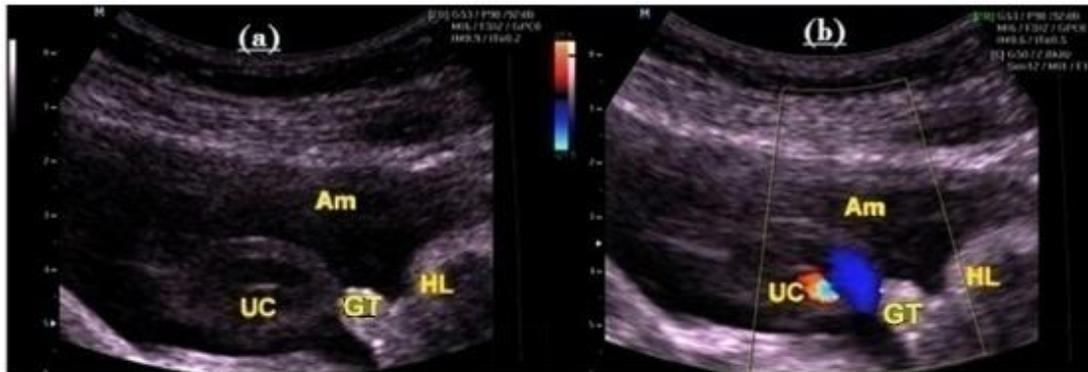


**Figure 74:** Images échographiques d'un fœtus mâle de 88 jours. (Am : amnios, Head: tête, Neck: cou)

Entre 90 et 120 jours, un diagnostic a été posé chez quinze juments. La zone entre les deux membres postérieurs a été examinée pour voir la présence du scrotum ou de la mamelle. Chez les fœtus mâles, le tubercule génital se développe en pénis et son extrémité peut être visualisée par échographie, elle apparaît comme une structure

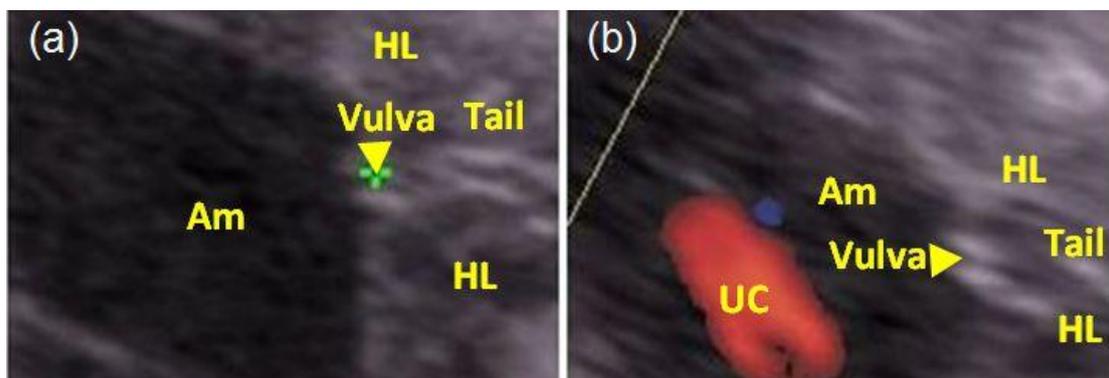


bilobée hyperéchogène circulaire (Figure 75). De plus, les testicules apparaissent dans un scrotum.



**Figure 75:** Image échographique d'un fœtus mâle de 91 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b). (GT: tubercule génital, HL : membres postérieurs, UC : cordon ombilical Am: amnios)

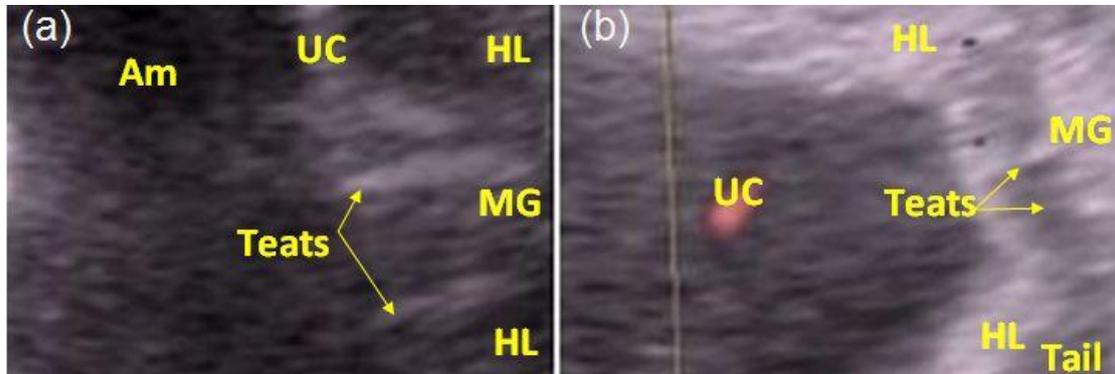
Chez la femelle, le tubercule génital se développera en clitoris. En échographie, il apparaît comme une masse échogène et globulaire difficile à distinguer des structures environnantes (vertèbres coccygiennes et lombo-sacrées, extrémités ischiatiques du bassin) (Figure 76).



**Figure 76:** Image échographique d'un fœtus femelle de 103 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b). (GT: tubercule génital, HL : membres postérieurs, UC : cordon ombilical, Am: amnios, Tail: queue, Vulva: vulve)



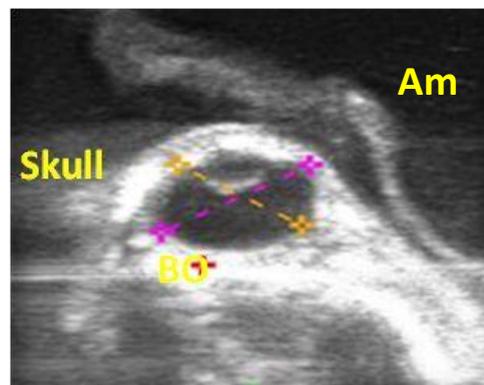
De plus, les bourgeons mammaires apparaissent en utilisant l'échographie comme une structure bilobé hautement échogène. (Figure 77).



**Figure 77:** Image échographique d'un fœtus femelle de 120 jours mode 2D (a), mode Doppler couleur (b). (MG : glande mammaire, HL : membres postérieurs, UC: cordon ombilical, Teats: trayons, tail: queue, Am : amnios)

En cette période tardive, le mode Doppler n'apporte pas de plus au mode 2D vu la faible vascularisation des organes examinés. Mais elle permet de bien identifier le cordon ombilical et permet de le différencier des autres organes du fœtus surtout du pénis qui en est très proche chez le fœtus male (tableau 1).

Après 120 jours, le train postérieur du fœtus était placé au-delà de la portée de la sonde à ultrasons et devenait pratiquement inaccessible à l'échographie transrectale.



**Figure 78:** Images échographiques d'un fœtus de 148 jours. (Am : amnios, Skull: crâne, BO: orbite osseuse)



La durée moyenne de l'examen pour déterminer le sexe fœtal entre 57-70 jours et 100-120 jours était d'environ 180 secondes ou moins par jument, sans compter le temps de vidange rectal. Alors que, entre 90-100 jours la durée de l'examen peut augmenter à 360 secondes.

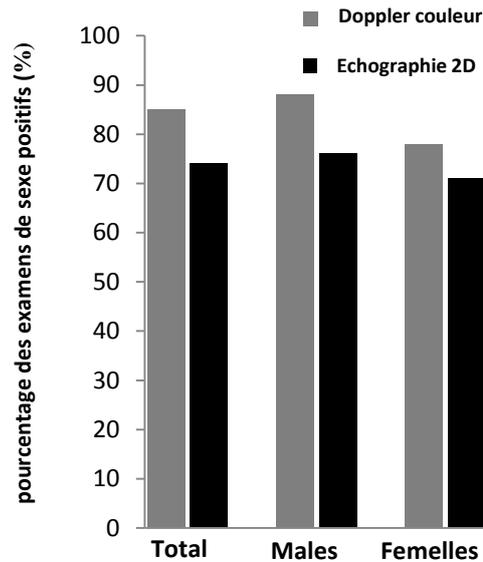
Les 39 juments ont donné naissance à 25 poulains mâles et à 14 pouliches. Sur les 39 examens réalisés, le diagnostic prénatal du sexe fœtal a été comparé à celui des nouveau-nés: 29 sur 39 (74%) en mode 2D et 33 sur 39 (85%) en mode Doppler. La fréquence d'erreur dans la détermination du sexe était plus grande chez les femelles que chez les mâles.

Aucune différence ( $P = 0,4$ ) n'est observée entre l'efficacité du Mode 2D et du mode Doppler dans la détermination du sexe, avec la fréquence 74% (29/39) et 85% (33/39) respectivement; cependant, l'exactitude de cet examen peut être augmentée en utilisant le mode Doppler de 74% à 85% (tableau 9).

Sur l'ensemble de la période d'étude, en échographie 2D, le sexe a été déterminé chez 71% (10/14) des femelles et 76% (19/25) des mâles mais cette différence n'était pas significative ( $P = 1$ ). Avec l'échographie Doppler, le sexe a été déterminé chez 78% (11/14) des femelles et 88% (22/25) des mâles. Cependant, la précision de cet examen peut être augmentée en utilisant le mode Doppler chez les mâles plus que chez les femelles (Figure 79).

**Tableau 09:** Précision de l'échographie 2D et Doppler dans la détection du sexe fœtal

Mode utilisé	Male		Femelle		Précision totale par mode (%)	
	2D	Doppler	2D	Doppler	2D	Doppler
<b>Sex (déterminé)</b>	19	22	10	11		
<b>Sexe (poulinage)</b>	25		14			
<b>Précision (%)</b>	76%	88%	71%	78%	74%	85%
<b>Odds ration</b>	0.44		0.69			
<b>[95% CI]</b>	[0.06, 2.39]		[0.08, 5.25]			
<b>p-value</b>	0.4635		1			



**Figure 79:** pourcentages des examens échographiques (des deux sexes, des fœtus males et des fœtus femelles) exactes en modes 2D et doppler couleur.

#### 4. DISCUSSION

L'échographie transrectale a été réalisée parce que le diagnostic de gestation et la détermination du sexe fœtal était plus facile et plus rapide à réaliser en utilisant la voie transrectale que l'échographie transabdominale. La période de 57-150 jours de gestation a été choisie parce qu'il y a un consensus qu'au-delà du jour 150 (Livini, 2010), le fœtus est si grand qu'il devient inaccessible par échographie transrectale. Ce large intervalle a été choisi pour vérifier l'efficacité du mode Doppler pour la détermination du sexe fœtal dans la période précoce et avancée de gestation.

Dans la présente étude, la durée moyenne de l'examen pour déterminer le sexe fœtal était d'environ 180 secondes ou moins par jument. Ce résultat est en accord avec celui rapporté par Livini (2010), qui a relevé que plus de 85% des cas ont été identifiés dans les 150 s, et que le temps de détermination du sexe fœtal a diminué au cours des années d'étude à mesure que plus d'expérience était acquise.

Le sexage précoce entre 57 et 70 jours repose sur l'identification du tubercule génital. Ce dernier fini sa migration vers les 58<sup>e</sup>-60<sup>e</sup> jours de gestation. Il se situe juste en arrière de l'attache abdominale du cordon ombilical chez le fœtus male. Chez le fœtus femelle, le tubercule génital est nettement décalé caudalement et se situe à la base de la queue. La période optimale se situe entre les jours 59 et 68 de la gestation (Curran et Ginther, 1989; Bucca, 2005). Après le jour 70 à 90, le fœtus a tendance à être



placé profondément dans l'utérus de la jument et devient inaccessible pour l'imagerie par échographie transrectale considéré comme impraticable par de nombreux auteurs (**Curran et Ginther, 1989; Holder, 2000; Bucca, 2005**), ces résultats sont en concordances avec les nôtres.

La période avancée de détermination du sexe fœtal est possible de 80 à 120 jours de gestation, basé sur l'identification du prépuce ou du pénis chez les mâles, le trayon, la vulve et le clitoris chez les femelles. Après le jour 120, il était difficile de détecter les structures génitales externes du fœtus, résultats corroborent ceux de **Holder (2000)**, qui a rapporté qu'après 140 jours, le fœtus est si gros qu'il est difficile d'obtenir le bon positionnement nécessaire à l'examen. **Renaudin et al. (1999)** ont observé ce problème lors d'une grossesse avancée de plus de 220 jours.

Cependant, la détermination du sexe fœtal équin par échographie peut être réalisée entre 90 et 120 jours de gestation. L'échographie Doppler couleur augmente la précision du diagnostic du sexe fœtal mais les taux de succès de cette technique dépendent beaucoup des compétences et de l'expertise de l'examineur pour exclure les artéfacts potentiels et établir un diagnostic précis, conformément aux directives de **Resende et al. (2014)**. De plus, **Livini (2010)** a constaté que le meilleur moment pour la détermination du sexe et la délivrance d'un certificat officiel est de 110-130 jours de grossesse, lorsque le taux de diagnostic positif est de 100%.

Récemment, il a été démontré que l'échographie 3D des organes sexuels fœtaux équins permet d'obtenir des détails de qualité du tubercule génital entre les jours 63 et 76 ainsi qu'une imagerie détaillée des structures génitales externes entre 90 et 150 jours de gestation (**Kotoyori et al. , 2012**).

Dans cette étude, l'erreur dans la détermination du sexe était plus fréquente chez les femelles que chez les mâles; ce résultat confirme les données précédemment rapportées par **Holder (2000)**.

Peu d'études ont été publiées sur l'utilisation de l'échographie Doppler transrectale pour détecter la vascularisation des gonades (plexus pampiniforme, veine testiculaire, anneau vasculaire entre le cortex et la medulla des ovaires) (**Resende et al., 2014**).

Nous avons trouvé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre l'efficacité du mode 2D et Doppler dans la détermination du sexe. Nos résultats partagent un certain



nombre de similitudes avec **Resende et al. (2014)**, qu'il n'y avait pas de différence entre l'efficacité des techniques d'échographie Doppler et de mode 2D pour la détection des fœtus mâles entre 90 et 120 jours de gestation et pour les fœtus femelles à n'importe quel âge de gestation.

## 5. CONCLUSION

La détermination du sexe fœtal par échographie est une technique rapide, fiable et réalisable. Le sexage du fœtus est possible pendant deux périodes préférentielles. La période de sexage précoce s'étend de 57 à 70 jours de gestation, avec un temps optimal entre 59 et 68 jours. Pendant cette période, le diagnostic du sexe est basé sur la position du tubercule génital par rapport aux structures environnantes. La période de sexage tardive s'étend de 90 à 120 jours de gestation. Pendant cette période, le diagnostic du sexe est basé sur l'observation des organes génitaux externes du fœtus.

En pratique, il est recommandé d'effectuer un sexage précoce du fœtus mais en cas de doute, un deuxième examen est à refaire dans le temps optimal entre 100 et 120 jours de gestation.

La détermination du sexe fœtal par l'échographie Doppler transrectale était une technique efficace au stade gestationnel précoce (57-70 jours) et au stade gestationnel tardif (90-120 jours).

Le temps requis pour déterminer le sexe était inférieur à 180 s, ce qui permet d'utiliser cette technique, même au pic de la saison de reproduction. La précision de la détermination du sexe peut être augmentée en utilisant le mode Doppler par rapport au Mode 2D, en particulier plus dans le cas des fœtus mâles que femelles.

La fiabilité du résultat dépend des conditions de réalisation (luminosité, retenue des animaux), du réglage et de la qualité de l'échographe, et de l'expérience de l'opérateur.



# Conclusion générale



## **Conclusion générale et perspectives**

La biodiversité des ressources animales représentent un élément important dans la croissance économique, alimentaire, environnemental et socioculturel d'un pays. En Algérie, les ressources génétiques équine font partie de notre héritage national et ont une grande valeur économique et socio-culturelle. Toutefois, l'information sur la diversité génétique des races équine algériennes est essentielle pour l'établissement des stratégies de conservation et de gestion durable, essentiellement pour les deux races autochtones Barbe et Arabe-Barbe. L'exploitation des données enregistrées nous a permis de classer le cheval Arabe-Barbe Algérien, comme une race médioligne de taille moyenne (eumétrique). D'autres études méritent d'être menées afin d'avoir un standard mondial pour ces races; se qui permet de passer au génotypage, vue que les conclusions et perspectives des pays membres de l'organisation mondial du cheval barbe (OMCB) ont recommandé de généraliser le génotypage d'ADN pour la vérification des filiations, car certains organisations de chevaux ne reconnaissent plus les stud-books sans typage ADN.

La filière équine connaît un développement considérable ces dernières années, aussi bien en nombre d'éleveurs qu'en nombre de pratiquants de l'équitation. Cette filière représente donc un nombre d'emplois non négligeable. Une meilleure efficacité dans la reproduction de la jument, préoccupation essentielle des éleveurs, n'est possible que par une meilleure connaissance et compréhension des évènements gouvernant le processus de la gestion de la jument reproductrice.

La deuxième partie de notre étude a été initiée dans l'optique d'évaluer l'efficacité de certains techniques dans la gestion de la reproduction chez la jument. Au terme de cette étude, nous avons obtenu les résultats suivants :

- ✓ L'efficacité de PRID™ comme moyen d'induction des chaleurs chez la jument. Cependant, l'utilisation de ce traitement pour la synchronisation des ovulations, particulièrement en hiver n'était pas satisfaisante.
- ✓ Le suivi échographique folliculaire est la meilleure technique pour le pronostic de l'ovulation. Alors que le suivi folliculaire par échographie Doppler pourrait améliorer le pronostic de l'ovulation chez la jument.



- ✓ Le recours à l'examen de la vascularisation du corps jaune peut s'avérer être le meilleur révélateur de son activité sécrétoire que sa taille.
- ✓ La précision de la détermination du sexe peut être augmentée en utilisant le mode Doppler par rapport au Mode 2D seul.

Récemment, L'échographie-doppler, méthode non invasive qui permet de visualiser et d'analyser le flux sanguin, a fait son apparition dans le domaine de la gynécologie équine. Toute fois, un opérateur entraîné peut, en plus de ces examens, proposer des services supplémentaires telles que l'état du corps jaune, l'estimation du stade de gestation, le dénombrement, voire le sexe du fœtus. L'échographie-Doppler est donc un outil d'examen précoce et fiable, à l'innocuité avérée, dont la réputation n'est plus à faire. Elle est actuellement de plus en plus utilisée et très bien acceptée par les éleveurs qui apprécient particulièrement la visibilité immédiate du résultat. Cependant, la précision apportée par l'échographie-Doppler dans l'examen individuel des animaux, doit être ensuite exploitée dans une gestion de la reproduction.

En revanche, cette étude menée a montré l'intérêt de la technique d'écho-Doppler pour l'examen de l'appareil génital. Il serait intéressant de la compléter par l'étude de la vascularisation de l'utérus dans ses différents segments (apical, moyen, corps), au cours de l'involution et lors de pathologie utérine ou ovarienne en particulier.

La reproduction équine est une discipline en plein essor où les progrès sont nombreux pour améliorer le suivi vétérinaire et les chances de réussite, mais les applications pratiques restent encore limitées. Les nouvelles technologies devraient être prometteuses dans les années à venir afin d'améliorer la précision du suivi des juments reproductrices.

# Références bibliographiques

### A

- Acosta. T.J., Hayashi. K.G., Ohtani. M., Miyamoto. A., 2003. Local changes in blood flow within the preovulatory follicle wall and early corpus luteum in cows. *Reprod.* 125, 759-767.
- Alexander. S.L., Irvine. C.H.G., 1991. Control of onset of breeding season and its artificial regulation by progesterone treatment. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 44, 307-318.
- Allen. W.E., 1988. *Fertility and Obstetrics in the Horse*. Oxford : Blackwell Scientific Publications. p 173.
- Amirouche. R., Misset. M., 2009. Flore spontanée d'Algérie : différenciation écogéographique des espèces et polyploïdie. *Cah Agric.* 18, 474-480.
- Amirouche. R., Misset. M., 2009. Flore spontanée d'Algérie : différenciation écogéographique des espèces et polyploïdie. *Cah Agric.* 18, 474-480.
- Andresen. P., Schulte. B., Grunert. E., Andresen. U., 1982. Experiences with Abbovestrol1 used for cycle synchronisation in heifers. *Dtsch Tierärztl Wschr.*89:241-4.
- Arbeiter. K., Barth. U., Jöchle. W., 1994. Observations on the use of progesterone intravaginally and of deslorelin STI in acyclic mares for induction of ovulation. *J. Equine Vet. Sci.* 14, 21-25.
- Arruda. R.P., Visintin. J., Fleury. J., Garcia. A., Madureira. E., Celeghini. E., Neto. J., 2001. Existem relações entre tamanho e morfoecogenicidade do corpo lúteo detectados pelo ultra-som e os teores de progesterona plasmática em receptoras de embriões equinos. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.*, 38, 233-239.
- Aumassip. G., Kadri. A., 2012. Les chevaux anciens du Maghreb : Communication présentée au 5<sup>ème</sup> Salon du Cheval d'El Jadida, Maroc.

### B

- Barone. R., 1978. *Anatomie comparée des mammifères domestiques, tome 3 : splanchnologie (fascicule 2 : appareil uro-génital, foetus et ses annexes, péritoine et topographie abdominale)*, Paris : Vigot, p 879.
- Barone. R., 2001. *Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 4 . Splanchnologie II. Appareil uro-génital. Foetus et annexes. Péritoine et Topographie abdominale. 3e Edition*. Paris : Vigot. p 896.
- Barthez P, 2001 *Imagerie médicale. Cours magistral de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année de 2<sup>e</sup> cycle*
- Bazri. K., 2015. Etude de la biodiversité des lombriciens et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques, dans l'est algérien. Thèse de doctorat, université Constantine 1, Algérie. p 188.
- Beghami. Y., 2012. *Ecologie et dynamique de la végétation des Aurès : analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnarde*. Thèse de doctorat, université-Mohamed khidar biskra, Algérie. p 288.
- Benmerad. A., 2002. Avant propos. *Stud book algérien du cheval Barbe.*,1, 3-4.
- Bergfelt. D.R., Ginther. O.J., 1996. Ovarian, uterine and embryo dynamics in horses versus ponies. *J. Equine Vet. Sci.* 16, 66-72.
- Bogros. D., 2001. *Les chevaux de la cavalerie française - De François Ier (1515) à Georges Clemenceau (1918)*.PSR éditions.
- Boon. J.A., 1998. *Manual of Veterinary Echography*. Williams and Wilkins, USA, p 478.

Boujenane. I., Touati I., Machmoum M., 2008. Mensurations corporelles des chevaux Arabe-Barbes au Maroc. *Rev. Méd. Vét.* 159, 144-149.

Brannstrom. M., Hagstrom. H.G., Josefsson. B., Hellberg. P., Granberg. S., Collins. W.P *et al.*, 1998. Preovulatory changes of blood flow in different regions of the human follicle. *Fertil Steril.* 69, 435-442.

Brinsko, S.P., Blanchard, T.L., Varner, D.D., Schumacher, J., Love, C.C., 2010. *Manual of Equine Reproduction*, 3ème ed. Mosby Elsevier, Maryland Heights, Missouri (USA). p 325.

Broadbent. P.J., Tregaskes. L.D., Dolman. D.F., Franklin. M.F., Jones R.L., 1993. Synchronization of estrus in embryotransfer recipients after using a combination of PRID or CIDR-B plus PGF2\_. *Theriogenology* 39, 1055–1065.

Bucca. S., 2005. Equine fetal gender determination from mid- to advanced-pregnancy by ultrasound. *Theriogenology* 64, 568-571.

Bulman. D.C., McKibbin. P.E., Appleyard. W.T., Lamming. G.E., 1978. Effect of a progesterone-releasing intravaginal device on the milk progesterone levels, vaginal flora, milk yield and fertility of cyclic and non-cyclic dairy cows. *J Reprod Fert* ; 53:289–96.

### C

Carmo. M.T., Oliveira. J.V., Almeida. M.T., Alvarenga. M.A., 2008. Avaliaçãoultra-sonográfica da gônada fetal em equinos: uma nova alternativa para sexagem. In: IX Conferência Anual da ABRAVEQ, 2008, SÃO PAULO. IX Conferência Anual da ABRAVEQ e IV Congresso Internacional de Medicina Veterinária.

Carniel. P., 1987. Données de base de l'échographie. *Le Point Vétérinaire*, 19, 105, 199-212.

Carroll. C.L., Huntington. P.J., 1988. Body condition scoring and weight estimation of horses. *Equine Vet. J.* 20, 41-45. 7.

Chabchoub. A., Landolsi. F., Jary Y., 2004. Etude des paramètres morphologiques de chevaux Barbes de Tunisie. *Rev. Méd. Vét.* 155, 31-37.

Chetboul. V., Pouchelon. J.L., Bureau-Amaglio. S., Tessier, D., 1999. *Echocardiographie et échodoppler du chien et du chat*. Paris : Masson, p 169.

Collin. B., 2005. Appareil genital femelle. *Anatomie du cheval*. Liege : Editions Derouaux Ordina, III, pp. 358-372.

Cosson. M.E., 1862. Considérations générales sur l'Algérie, étudiée surtout au point de vue de l'acclimatation. *Bulletin de la Société Botanique de France.* 9:8, 498-507.

Curran. S.S., Ginther. O.J., 1989. Ultrasound diagnosis of equine fetal sex by location of the genital tubercle. *J. Equine Vet. Sci.* 9, 77-83.

### D

Daels. P.F., Hughes. J.P., 1993. The normal estrous cycle. In : Mckinnon ,A ., Voss ,J.L, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 121-132.

Derouiche. G., 2007. Les risques climatiques et agriculture algérienne. Communication présentée au séminaire sur les risques agricoles assurances et réassurances., Alger-Hôtel El-Aurrassi.

Derouiche. G., 2007. Les risques climatiques et agriculture algérienne. Communication présentée au séminaire sur les risques agricoles assurances et réassurances., Alger Hôtel El-Aurrassi.

Dickey. R., 1997. Doppler ultrasound investigation of uterine and ovarian blood flow in infertility and early pregnancy. *Hum Reprod.* 3, 467-503.

Diekman. M.A., Braun. W., Peter. D., Cook.D., 2002. Seasonal serum concentrations of melatonin in cycling and noncycling mares. *J Anim Sci* 80, 2949-2952.

### E

Evans. M.J., Irvine. C.H.G., 1975. Serum concentrations of FSH, LH and progesterone during the oestrous cycle and early pregnancy in the mare. *J. Reprod. Fert., Suppl* 23. pp. 193-200.

Evans. M.J., Irvine. C.H.G., 1979. Induction of follicular development and ovulation in seasonally acyclic mares using gonadotrophin-releasing hormone and progesterone. *J. Reprod. Fert. Suppl.* 27, 113–121.

### F

Flood. P.F., 1993. Fertilization, early development, and the establishment of the placenta. In : A.O. Mc Kinnon et J.L. Voss. *Equine Reproduction*. Philadelphia : Lea & Febiger, pp. 473-485.

### G

Ganjam. V.K., Kenney. R.M., Flickinger. G., 1975. Plasma progestagens in cyclic, pregnant and postpartum mares. *J. Reprod. Fert., Suppl.* 23. pp. 441-447.

Ginther. O., Gastal. E., Gastal. M., Utt. M., Beg. M., 2007. Luteal blood flow and progesterone production in mares. *Animal reproduction science*, 99, 213-220.

Ginther. O., Utt. M., 2004. Doppler ultrasound in equine reproduction: principles, techniques, and potential. *Journal of Equine Veterinary Science*, 24, 516-526.

Ginther. O.J., 1974. Occurrence of anestrus, estrus, diestrus, and ovulation over a 12-month period in mares. *Am J Vet Res* 35, 1173-1179.

Ginther. O.J., 1986. *Ultrasonic imaging and reproductive events in the mare*. Equiservices, Cross Plains, USA, p 378.

Ginther. O.J., 1992. *Reproductive biology of the mare : basic and applied aspects*. 2nd ed. Cross Plains, Wisconsin : Equiservices, p 642.

Ginther. O.J., 1995. Waves and Echoes. In: *Ultrasound imaging and animal reproduction: Fundamentals*. Book 1. Equiservices, Cross Plains, USA, p 225. 27-36.

Ginther. O.J., Matthew. D., 2004. Doppler ultrasound in equine reproduction : principles, techniques and potential. *J Eq Vet Sci.* 24, 516-526.

Ginther. O.J., Utt. M.D., Bergfelt. D.R., Beg. M.A., 2006. Controlling interrelationships of progesterone/LH and estradiol/LH in mares. *Anim. Reprod. Sci.* 95, 144–150.

Guedaoura. S., Cabaraux. J.F., Moumene. A., Tahraoui. A., Nicks. B., 2011. Evaluation morphométrique de chevaux de race Barbe et derives en Algérie. *Ann. Méd. Vét.* 155, 14-22.

### H

Handler. J., Arbeiter. K., Jöchle. W., 1999. Stimulation of fertile ovulations in mares during the transition period using an intravaginal progesterone device (CIDR-BTM) and subsequently deslorelin acetate (Ovuplant™). *Reprod. Domest. Anim.* 34, 24.

Handler. J., Schönlieb. S., Hoppen. H.-O., Aurich. C., 2006. Seasonal effects on attempts to synchronize estrus and ovulation by intravaginal application of progesterone-releasing device (PRID™) in mares. *Theriogenology* 65, 1145–1158.

Handler. J., Schönlieb. S., Hoppen. H., Aurich. C., 2007. Influence of reproductive stage at PRID™ insertion on synchronization of estrus and ovulation in mares. *Anim Reprod Sci.* 97, 382–393.

Hinrich. K., Choi. Y., 2005. Assisted Reproductive Techniques in the Horse. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 4, 210-218.

Holder. R. D., 2000. Fetal sex determination in the mare between 55 and 150 days gestation. *AAEP Proc.* 46, 321–324.

### I

Irvine. C.H.G., Alexander. S.L., 1993. In : Mckinnon, A., Voss, J.L., editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 37-44.

### J

Jari. Y., 2001. Le cheval Barbe au Maghreb. Contribution à l'étude de ses caractéristiques en Tunisie et au Maroc. *These Doct. Med. Vet., SidhiThabet, Tunisie.* p 168.

Jaudon. J.P., Perrot. C., Viaud. F., Cadore. J.L., 1991. Bases physiques, technologiques et sémiologiques de l'ultrasonographie médicale. *Le Point Vétérinaire*, 23, 135, 11-18.

Johnson. R.A., Wichern D.W., 1982. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, Nj.

### K

Kadri A., 2006. Le cheval Barbe, cheval du Nord de l'Afrique, son rôle en Algérie. *Organis. Mond. Cheval Barbe.* 9, 45.

Kotoyori. Y., Yokoob. N., Itoc. K., Murased. H., Satod. F., Korosued. K., Nambod. Y., 2012. Technical note three-dimensional ultrasound imaging of the equine fetus. *Theriogenology* 77, 1480–1486.

### L

Lawrence. L. A., 2001. *Horse conformation analysis*. Washington State University Cooperative Extension. EB 1613, 1-12.

Legrand. J.J., Carlier. B., 1981. Bases physiques de l'échotomographie. *Recueil de Médecine Vétérinaire*, 157, 7-8, 553-559.

Lindsay. H.B., Stephanie. G.N., Brigitte. A.B., Pavneesh. M., Cathy. J.G., 2013. An evaluation of B-mode and color Doppler ultrasonography for detecting periovulatory events in the bitch. *Theriogenology*. 79, 2, 274-283.

Livini. M., 2010. Determination of fetal gender by transrectal ultrasound examination: field's experience. *Proc. Am. Ass Equine Practns.* 56, 323-327.

### M

Mai. W., 1994. L'échographie en médecine vétérinaire canine et féline : bases physiques et applications. Polycopié. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Unité Pédagogique de Radiologie. p 97.

Mansour. S., 2001. Situation de l'élevage du cheval Barbe en Algérie ; cas de la jumenterie d'el Karma. Thèse Institut National Agronomique El Harrach, Algérie. p 120.

Marcenac. L.N., Aubert H., 1974. *Encyclopédie du cheval*. 3ème édition Maloine S.A. Editeur, Paris.

Martin-Rosset. W., 1990. *L'alimentation des chevaux : techniques et pratiques*. Institut national de la Recherche agronomique (INRA), Paris. 232.

- Meadows. D.G., 2003. Evaluating Conformation of Horses. Agricultural Extension Service, The University of Tennessee. THN6001, 1-7.
- Mercier. P., 1989. Echographie et gynécologie des femelles domestiques de rente. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon.
- Mialot. J.P., Chastant. S., Remy. D., 2001. Reproduction Bovine : Infertilité femelle. Polycopié. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Unité pédagogique de reproduction. p 88.
- Mialot. J.P., Ponter. A., Grimard. B., Constant. F., Chastant-Maillard. S., 2004. Prévention des mortalités embryonnaires chez les bovins : stratégies anti-lutéolytiques. Bulletin des GTV. 24, 419-425.
- Ministère de l'Agriculture et du développement rural (M.A.D.R.), 2013. Evolution Cheptel Equine 2003-2013. Alger, Algérie.
- Muller. E., Wittkowski. G., 1986. Visualization of the male and female characteristics of bovine fetuses by real-time ultrasonics. Theriogenology 22, 571-574.
- Munro. R.K., 1990. Factors affecting concentrations of progesterone in peripheral plasma of ovariectomised cows during intravaginal treatment with progesterone. Aust. Vet. J. 67, 270-271.

### N

- Nett, T.M., 1993b. Estrogens. In : Mckinnon, A., Voss, J.L, editors. Equine reproduction. Philadelphia : Williams & Wilkins, 65-68.
- Nett. T.M., 1993a. Luteal phase. In : Mckinnon, A., Voss. J.L., editors. Equine reproduction. Philadelphia : Williams & Wilkins, 172-175.
- Newcombe. J.R., 2002. Field observation on the use of a progesterone-releasing intravaginal device to induce estrus and ovulation in seasonally anestrous mares. J. Equine Vet. Sci. 22, 378-382.
- Newcombe. J.R., 2002. Field observation on the use of a progesterone-releasing intravaginal device to induce estrus and ovulation in seasonally anestrous mares. J. Equine Vet. Sci. 22, 378-382.
- Newcombe. J.R., Wilson. M.C., 1997. The use of progesterone releasing intravaginal devices to induce estrus and ovulation in anestrous Standard bred mares in Australia. Equine Pract. 19, 13-21.
- Noden. P., Oxender. W., Hafs. H., 1975. The cycle of oestrus, ovulation and plasma levels of hormones in the mare. Journal of Reproduction and Fertility Suppl. 23, 189-192.
- Nyland. T.G., Mattoon. J.S., Wisner. E.R., 1995. Physical principles, instrumentation and safety of diagnostic ultrasound. In : Nyland, T.G., Mattoon, J.S., Veterinary diagnostic ultrasound. W.B. Saunders, Philadelphia, p 357., 3-18.

### O

- Organisation Mondiale Du Cheval Barbe (OMCB). 2003. Règlement du studbook du cheval Barbe (Règlement agréé par le Comité Exécutif le 7 décembre 2002).
- Organisation Mondiale Du Cheval Barbe (OMCB)., 2003. Règlement du studbook du cheval Barbe (Règlement agréé par le Comité Exécutif le 7 décembre 2002).

### P

- Palmer. E., 1978. Control of the oestrous cycle of the mare. J Reprod Fertil 54, 495-505.
- Palmer. E., 1979. Reproductive management of mares without detection of oestrus. J. Reprod. Fertil. Suppl. 27, 263-270.

Palmer. E., 1987. New results on follicular growth and ovulation in the mare. In : Roche, J.F and O'Callaghan, D, editors. Follicular growth and ovulation in farm animals. Lancaster : Martinius Nijhof, 237-255.

Penninck. D., Cuvellez. S., 1985. Principes physiques et méthodes d'exploration échographique. Annales de Médecine Vétérinaire, 129, (6), 381-391.

Pierson. R.A., Ginther. O.J., 1985. Ultrasonic evaluation of the corpus luteum of the mare. Theriogenology. 23, 795-806.

Pierson. R.A., 1993. Folliculogenesis and ovulation. In : Mckinnon. A., Voss. J.L, editors. Equine reproduction. Philadelphia : Williams & Wilkins, 161-171.

### R

Rahal. K., 2005. Le Barbe en Algérie, un acteur de développement durable des régions rurales. Le monde hippique.48, 27-29.

Rahal. K., Guedioura. A., Oumouna. M., 2009. Paramètres morphométriques du cheval Barbe de Chaouchaoua. Rev. Méd. Vét.160, 586-589.

Reef. V.B.,1998. Physics and instrumentation. In : Equine diagnostic ultrasound. Philadelphia : WB Saunders, 1-23.

Renaudin, C.D., Gillis. C.L., Tarantal, A.F.,1997. Transabdominal combinedwith transrectal ultrasonographic determination of equine fetal gender duringmidgestation. Proc. Am. Ass Equine Practnrs. 43, 252-255.

Resende. H.L., Carmo. M.T., Ramires-Neto. C., Alvarenga. M.A., 2014. Determiration of equine fetal sex by Doppler ultrasonography of the go-nads. Eq. Vet. J. 46. 756-758.

Rivers. B.J., Walter. P.A., Polzin. D.J., King. V.L., 1997. Duplex Doppler estimation of intrarenal Pourcelot resistive index in dogs and cats with renal disease. J Vet Int Med. 11, 250-260.

Rubin. J.M., Adler. R.S., Fowlkes. J.B., Spratt. S., Pallister. J.E., Chen. J.F *et al.*, 1995. Fractional Moving Blood Volume : Estimation with power Doppler ultrasound. Radiology. 197.183-190.

Rutten. D.R., Chaffaux. S., Valon. M., Deletang. F., de Haas. V., 1986. Progesterone therapy in mares with abnormal oestrous cycles. Vet. Rec. 119, 569-571.

### S

Salazar-Ortiz. J., Camous. S., Briant. C., Lardic. L., Chesneau. D., Guillaume. D., 2011. Effects of nutritional cues on the duration of the winter anovulatory phase and on associated hormone levels in adult female Welsh pony horses (*Equus caballus*). Reprod Biol Endocrinol 9, 130.

Sertich. P.L., 1998. Ultrasonography of the genital tract of the mare. In : Reef ;V.B. Equine diagnostic ultrasound. Philadelphia : WB Saunders, 405-424.

Singh. J., Adams. G.P., Pierson. R.A., 2003. Promise of new imaging technologies for assessing ovarian function. Anim Reprod Sci. 78, 371-399.

Sladkevicius. P., Valentin. L., Marsal. K., 1993. Blood flow velocity in the uterine and ovarian arteries during the normal menstrual cycle. Ultrasound Obstet Gynecol.3, 199-208.

Squires. E., 1993. Progesterone, In McKinnon, A., Voss, J. Equine reproduction, Philadelphia, Lea & Fabiger.

Tan. S.L., Zaidi. J., Campbell. S., Doyle. P., Collins. W., 1996. Blood flow changes in the ovarian and uterine arteries during the normal menstrual cycle. Am J Obstet Gynecol. 175, 625-631.

### T

Taylor. T.B., Pemstein. R., Loy. R.G., 1982. Control of ovulation in mares in the early breeding season with ovarian steroids and prostaglandin. *J Reprod Fert Suppl*; 32:219–24.

Thatcher. W.W., Bilby. T.R., Bartolome. J.A., Silvestre. F., Staples. C.R., Santos. J.E.P., 2006. Strategies for improving fertility in the modern dairy cows, *Theriogenology*, 65, 30-44.

Thatcher. W.W., Macmillan. K.L., Hansen. P.J., Drost. M., 1989. Concepts for regulation of corpus luteum function by the conceptus and ovarian follicles to improve fertility. *Theriogenology*, 31, 149-164.

Thompson. K.N., 1995. Skeletal growth rates of weanling and yearling Thoroughbred horses. *J. Anim. Sci.* 73, 2513-2517.

Thompson. K.N., 1995. Skeletal growth rates of weanling and yearling Thoroughbred horses. *J. Anim. Sci.*, 73, 2513-2517.

Tibary. A., Shiri. A., Anouassi. A., 1994. Physiologie de la reproduction chez la jument. In : Tibary ,A ., Bakrouy, M., editors. *Reproduction equine, Tome 1: la jument*. Rabat : Actes, 87-92.

Tiret. L., Lefrancois. T., 2001. Physiologie de l'appareil reproducteur. Polycopié. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité Pédagogique de Physiologie et Thérapeutique. 88p.

Tönissen. A., Martinsson. G., Otzen. H., Schürmann. K., Schütze. S., Ertmer. F., Kassens. A., Sielhorst. J., Brehm. R., Sieme. H., 2015. To perform fetal gender determination in the mare by ultrasound during early and advanced gestation. *Pferdeheilkunde* 31 (2) March/April, 153-158

Turner. D.D., Garcia. M.C., Webel. S.K., Ginther. O.J., 1981. Influence of follicular size on the response of mares to allyltrenbolone given before the onset of the ovulatory season. *Theriogenology* 16, 73–84.

### U

Uehlinger. H., Binder. H., Hauser. B., R'usch. P., Zerobin. K., 1995. Comparison by hormone analysis of the intravaginal devices CIDRTM and PRID® in ovariectomised cows. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 137, 81–86.

### V

Valon. F., Legrand. J.J., 1981. Les ultra-sons : leur utilisation pour le diagnostic médicale des équidés. *Pratique Vétérinaire Equine*, 13, 2, 89-95.

### W

Webb. R., Woad. K., Armstrong. D., 2002. Corpus luteum (CL) function local control mechanisms. *Domestic Animal Endocrinology*, 23, 277-285.

Wiltbank. M.C., Dysko. R.C., Gallagher. K.P., Keyes. P.L., 1988. Relationship between blood flow and steroidogenesis in the rabbit corpus luteum. *Journal of Reproduction and Fertility* 84, 513–520.