

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche
Scientifique

Université Ibn Khaldoun -Tiaret – Institut des Sciences Vétérinaires
Département de Santé Animale

PROJET DE FIN D'ÉTUDE POUR L'OBTENTION D'UN DIPLÔME DE DOCTEUR
VÉTÉRINAIRE

SOUS LE THEME

*Suivi de l'ovulation chez
la jument*

Présenté par :

-BENSAKHRIA HALIMA

Encadré par :

- DR .AYAD MOHAMED AMINE

2014/2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتَ

REMERCIEMENT

الحمد لله اولا على توفيقه لي في انجاز هذه الاطروحة

Tous nos remerciements à notre encadreur DR.

A. A. MOHAMED AMINE pour son

*Assistance, ses conseils son soutien et son Extrême
bienveillance.*

*Nos remerciements vont également aux membres du
jury: saim mohamed said et derrar sofiane qui nous ont fait un
grand honneur*

En acceptant de consacrer du temps à la lecture

Et l'évaluation de ce travail.

*A tous le personnel enseignant et travailleur de l'institut
des Sciences vétérinaire de l'université ibn khaldoun*

De taret, pour leur soutien continu lors de la

Réalisation de travail

Dedicases

*A ceux qui ont fait de nous ce que nous sommes
et qui sont toujours présents pour nous soutenir
à tout moment.*

A mes parents (halíma, adda)

A ma belle sœur djíhad

A mes deux frères (billal, wahíd)

En témoignage de leur amour et de leurs encouragements

Continus

A notre cher professeur et encadreur:

DR. AYAD MOHAMED AMINE

Et mes tous les amies et collègue :

Basma, hanen, hanín, abd el melek

Et chahrazed

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	01
I.FONCTIONNEMENT DE L'OVAIRE CHEZ LA JUMENT.....	04
A. Generalites sur le cycle oestral.....	04
B . Modifications ovariennes.....	05
1 . Dynamique folliculaire	06
a . Etapes de la folliculogenese.....	06
b . Croissance et differenciation du follicule.....	06
c . Les vagues de croissance folliculaire	07
d . Devenir des follicules	09
2 . Le corps jaune	14
C . Endocrinologie	15
1 . Fonction endocrine des ovaires : les hormones steroïdiennes.....	15
a . Les oestrogenes.....	16
b . Les progestagenes.....	17
2 .Regulation hypothalamo-hypophysaire	19
a . Hormones hypophysaires	20
b . Hormone hypothalamique : la gonadoliberine.....	28
3 . Fonction endocrine de l'uterus : les prostaglandines	29
a . Production et action.....	29
b .Regulation.....	30
c . Utilisation	31
II. ECHOGRAPHIE DES OVAIRES.....	34
D . Bases physiques de l'échographie et materiel.....	34
1 . Principe de l'échographie.....	34
a . Les ondes ultrasonores.....	34
b . Formation des echos.....	35

c . Formation de l'image ultrasonore.....	37
d .Qualite de l'image echographique.....	39
2 .Materiel.....	44
a . Les sondes = transducteurs	44
b . L'echographe.....	44
E .Deroulement de l'examen echographique.....	45
1 .Precautionsa prendre	45
a . Pour la jument	45
b . Pour l'examineur	46
2 . Anatomie et reperege des ovaires	46
a . Anatomie	46
b .Reperage des ovaires	47
F . Images echographiques des ovaires de la jument	53
1 . Les follicules	53
a . Suivi de la folliculogenese par echographie.....	55
b . La prediction de l'imminence de l'ovulation.....	58
c . L'ovulation	61
2 . Le corps jaune	62
a . Apparences echographiques des corps jaunes chez la jument	62
b . Applications de la detection des corps jaunes par echographie.....	63
3 . Les images anormales	65
a . Follicules anovulatoires hemorragiques.....	65
b . Follicules anovulatoires luteinises.....	66
c . Ovulations multiples	67
d . Les tumeurs ovariennes	70
e . Les kystes	72

Liste des abréviations:

AC : aire coloree

ADN : Acide DesoxyriboNucleique

AMPc : Adenine Mono-Phosphate cyclique

Ang:Angiopoietine

FGF : Fibroblastic Growth Factor = facteur de croissancefibroblastique

FSH : Follicle-Stimulating Hormone

GnRH:Gonadotrophin Releasing Hormone = Gonadoliberine

hCG: Gonadotrophine Chorionique humaine

hMG : Gonadotrophine Menopausique humaine

IGF : Insulin Growth Factor

IP : Index de Pulsatilité

IR : Index de resistivite

ITV : integrale de la vitesse = deplacement du flux sanguin en cm

J0 : Jour de l'ovulation, sauf chez la femme : premier jour des regles

LH : Luteinizing Hormone

PG : Prostaglandine

PRF : Pulse RepetitionFrequency = fequence de repetition des pulses

R : coefficient de correlation de Pearson

S : vitesse maximale systolique

TM : Temps-Mouvement

V : vitesse du flux sanguin

VEGF : VascularEndothelialGrowth Factor = facteur de croissance endotheliale

Liste des figures:

Figure 1 : Distribution des durees de l'oestrus, du dioestrus et du cycle oestral chez la jument.....	05
Figure 2 :Schema des trois types de cycles chez la jument [Ginther, 1992].....	09
Figure 3 : Changements affectant le follicule preovulatoire chez la jument[Ginther1992].....	13
Figure 4 : Schemarepresentant la croissance et les changements de forme du follicule preovulatoireequin [Ginther, 1992].....	14
Figure 5 : Concentration en oestrogenes pendant la periodeperiovulatoire chez la jument(moyennes } sem, n = 8)[Ginther, 1992].....	16
Figure 6 : Concentrations circulantes moyennes de LH et d'oestradiol	17
Figure 7 : Evolution de la progesteronemieapres ovulation.....	18
Figure 8 : Concentration en progestagenes (echelle logarithmique) pendant laperiodeperiovulatoire chez la jument (moyennes } sem, n = 8 juments) [Ginther, 1992].....	19
Figure 9 : Concentrations plasmatiques moyennes de FSH et LH au cours du cycle oestral chez la jument (moyennes } sem, n= 12 juments) [Ginther, 1992].....	21
Figure 10 : Interactions entre le niveau d'hormones gonadotropes, la folliculogenese et l'ovulation [Ginther, 1992].....	23
Figure 11 : Concentrations circulantes moyennes de LH et de progesterone.....	26
Figure 12 : Synthese des variations hormonales et ovariennes au cours du cycle oestral chez la jument [Daels et Hugues, 1993a].....	32
Figure 13 : Phenomene de reflexion / refraction des echos ultrasonores [Boon, 1998].....	35
Figure 14 : Les differents types de reflexion des echos [Ginther, 1986].....	36
Figure 15 : Formation de l'image en echographie bidimensionnelle (Mode BD) [Mai, 1994].....	38
Figure 16 : Echographie transrectale ou le contact sonde-muqueuse rectale est insuffisant : les echosparalleles sont dus a des reflexions multiples entre la sonde et l'air [Image personnelle].....	42

Figure 17 : Echographie transrectale d'un ovaire de jument. Un phenomene de renforcement posterieur des echos (fleches) se produit au-dela de l'image du follicule (qui est rempli de liquide antral) [Image personnelle].....	43
Figure 18 : Disposition originale schematique de la medulla et du cortex chez la jument et chez les autres animaux de rente [Ginther, 1992].....	47
Figure 19 : Anatomie de l'appareil genital d'une jument, vue ventrale apres isolement et etalement [Barone, 1978].....	48
Figure 20 : Anatomie de l'appareil genital et organes pelviens d'une jument, vue laterale gauche des organes disseques en place [Barone, 1978].....	49
Figure 21 : Coupes echographiques longitudinales d'une partie de l'uterus(*) et de la vessie(#) de juments en dioestrus montrant la diversite de l'echogenicite urinaire dans cette espece [Image personnelle].....	50
Figure 22 : Coupe echographique longitudinale du corps de l'uterus d'une jument en oestrus.....	50
Figure 23 : Coupe echographique longitudinale de l'uterus au niveau de la bifurcation des cornes d'une jument en dioestrus [Image personnelle].....	51
Figure 24 : Coupe echographique transversale d'une corne uterine d'une jument en dioestrus	51
Figure 25 : Diagramme d'orientation habituelle de la sonde lineaire lors de l'examen echographique de l'appareil genital de la jument par voie transrectale [Sertich, 1998].....	52
Figure 26 : Image echographique d'une coupe d'ovaire de jument en oestrus [Image personnelle].....	52
Figure 27 : Relation entre l'angle d'impact d'un ultrason et la reflexion speculaire [Ginther, 1986].....	54
Figure 28 : Image d'un follicule ovarien de 20 mm montrant un echospeculaire en bas de l'image [Image personnelle].....	55
Figure 29 : Profil du nombre de follicules de differentes tailles entre deux ovulations chez la jument [Ginther, 1986].....	56
Figure 30 : Evolution de la population folliculaire au cours de l'annee : pourcentage de juments (sur un effectif de 14 juments) pour lesquelles le diametre du plus gros follicule etait superieur a 30 mm, de 20 a 30 mm ou inferieur a 20 mm en fonction des mois de l'annee [Ginther, 1992].....	57

Figure 31 : Diametres moyens mesures par echographie transrectale du plus gros follicule et du deuxieme plus gros follicule entre deux ovulations [Ginther, 1986].....	58
Figure 32 : Moyennes () sem) des diametres des follicules preovulatoires le jour precedant l'ovulation d'avril a octobre.[Ginther et Pierson, 1989].....	59
Figure 33 : Image echographique d'un follicule preovulatoire (J-1) de 55 mm de diametre (moyenne de la hauteur et de la largeur) [Image personnelle].....	60
Figure 34 : Images echographiques de deux follicules preovulatoires en forme de poire.....	60
Figure 35 : Image echographique d'un follicule preovulatoire (J-1) de 36 mm de diametre dit « <i>borde</i> » [Image personnelle].....	61
Figure 36 : Images echographiques d'une ovulation d'un follicule de 42 mm de diametre. En 4 minutes, le follicule a pris l'aspect echographique d'un corps jaune [Images personnelles].....	62
Figure 37 : Images echographiques d'un corps jaune hemorrhagique (A), d'un corps jaune plein (B) et d'un corps jaune cavitaire (C) [Images personnelles]	63
Figure 38 : Tailles du plus gros follicule present le jour de la disparition du corps jaune a l'echographie pendant le cycle oestral [Ginther, 1986].....	64
Figure 39 : Image echographique d'un follicule anovulatoire hemorrhagique de 60 mm de diametre [Image personnelle].....	66
Figure 40 : Images echographiques de deux follicules anovulatoires luteinises [Images personnelles].....	67
Figure 41 : Image echographique de deux follicules preovulatoires sur un meme ovaire. Les diametres de ces follicules sont de 42 mm (a gauche) et de 32 mm (a droite). [Image personnelle].....	68
Figure 42 : Images echographiques de deux follicules preovulatoires (J-1) situes sur un meme ovaire (deux images du haut) et image echographique des deux corps jaunes (fleches) provenant de la double ovulation de ces follicules le jour du constat de l'ovulation (J0) (image du bas) [Images personnelles].....	69
Figure 43 : Image echographique d'une tumeur des cellules de la granulosa [McKinnon et al., 1993]	71

Figure 44 :Kysteperiovarieninfundibulaire visualise sur une photographie de piece anatomique decoupee (a gauche) et sur une image echographique prise dans de l'eau (a droite) [Ginther, 1986]..... 72

Figure 45 : Photographie d'une coupe histologique d'ovaire montrant des kystes d'inclusions dans le tissu ovarien autour de la fosse d'ovulation. [Hugues, 1993].....73

Introduction

Introduction

Autrefois animal utilitaire, le cheval est aujourd'hui un athlète. Cette évolution a conduit à l'amélioration génétique de l'espèce sur le plan sportif. Ceci a engendré la sélection d'étalons vedettes, mais aussi de techniques améliorées de reproduction.

Ainsi, l'insemination artificielle, puis le transfert embryonnaire se sont développés dans l'espèce équine. Très récemment, le clonage a vu le jour dans le but de créer des étalons clones d'hongres champions. Ces techniques sont interdites pour les chevaux de race Pur-Sang, chez lesquels la monte naturelle est la seule forme de reproduction autorisée. Chez ces derniers, un nombre de sauts limité par jument est recherché.

Toutes ces méthodes de reproduction nécessitent une parfaite connaissance du cycle oestral et la détermination la plus précise possible du moment de l'ovulation. Du palper folliculaire par voie transrectale, une grande avancée a été faite grâce à l'introduction de l'échographie en gynécologie animale par Palmer et Driancourt en 1980. Celle-ci a permis un meilleur suivi de la croissance folliculaire mais demeure imprécise quant aux prédictions du moment de l'ovulation ou du devenir des follicules (ovulation, atresie ou luteinisation).

La recherche de nouveaux critères folliculaires pour atteindre ces différents objectifs, a amené à étudier non plus seulement la morphologie des follicules, mais aussi leur vascularisation grâce à l'échographie Doppler.

Après avoir étudié le fonctionnement de l'ovaire chez la jument, nous exposerons les techniques et applications de l'échographie ovarienne chez la jument.

Chapitre I: FONCTIONNEMENT DE L'OVAIRE CHEZ LA JUMENT

FONCTIONNEMENT DE L'OVAIRE CHEZ LA JUMENT

A. Generalites sur le cycle oestral

La jument est pubere entre 12 et 24 mois. Cette variation est surtout fonction de l'alimentation et de la saison de naissance [Squire, 1993c]. La jument est une espece a polyoestrus saisonnier. Son activite sexuelle depend du photoperiodisme et a lieu pendant les jours les plus longs : en moyenne entre avril et octobre pour l'hemisphere nord.

Le cycle sexuel annuel chez la jument comprend les quatre phases suivantes :

- anoestrus saisonnier centre sur le mois de decembre
- transition vers la saison sexuelle (centree sur mars)
- fertilitie maximale centree autour du solstice d'ete
- transition vers l'anoestrus saisonnier (septembre – octobre).

Cependant, 15 a 20% des femelles sont cyclees toute l'annee [Daels et Hugues, 1993a].

Le cycle oestral est defini comme la periode separant deux ovulations accompagnees de chaleurs et/ou d'un niveau de progesterone inferieur a 1 ng/ml et suivies chacune d'une elevation de la progesteronemie [Tibary *et al.*, 1994b]. Il dure en moyenne 22 jours chez la jument et 24 jours

chez la ponette [Ginther, 1992]. Il est conventionnellement divise en deux phases : l'oestrus ou phase d'acceptation du male, de duree tres variable selon les femelles et selon la saison (en moyenne 7 jours avec des extremes de 3 a 12 jours) et le dioestrus ou phase de refus du male de duree plus stable (14 a 15 jours) [Tibary *et al.*, 1994b ; Ginther, 1992 ; fig. 1].

La variabilite de la periode d'oestrus, entre individus est tres importante et est fonction de l'etat general de la jument, des conditions climatiques et de la situation en debut ou fin de saison. La

periode de dioestrus est a considerer comme point de repere : le retour en chaleur a lieu 15 jours apres l'ovulation precedente [Tibary *et al.*, 1994b].

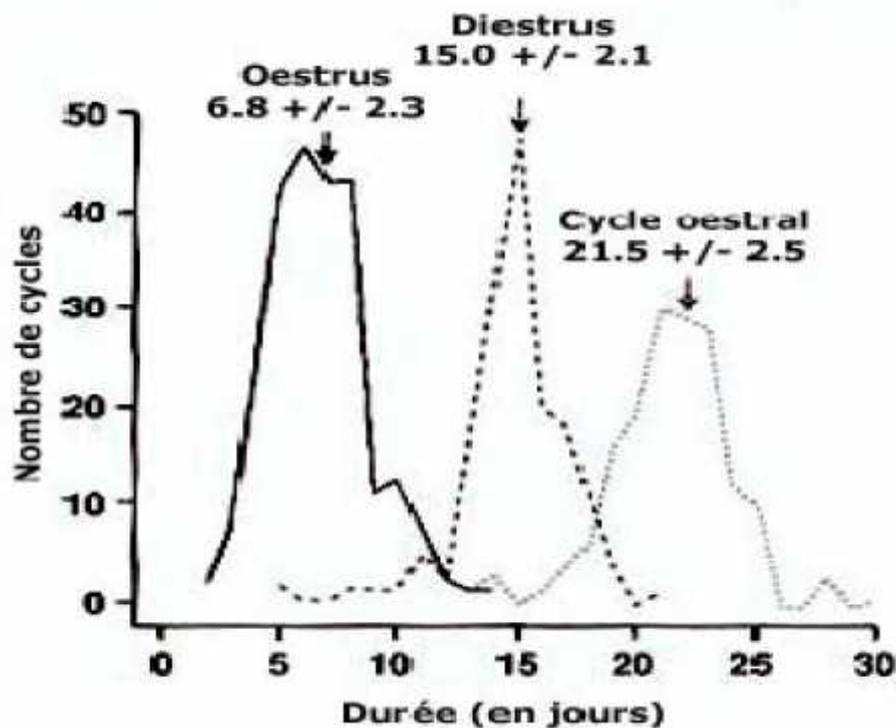


Figure 1 : Distribution des durees de l'oestrus, du dioestrus et du cycle oestral chez la jument[Ginther, 1992]

B. Modifications ovariennes

Au niveau de l'ovaire, deux phases se succedent durant le cycle oestral :

- la phase folliculaire, caracterisee par la presence d'un ou plusieurs gros follicules en croissance qui aboutira a l'ovulation d'au moins l'un d'entre eux,
- la phase luteale, caracterisee par la presence d'un corps jaune qui secrete de la progesterone.

1. Dynamique folliculaire

a. Etapes de la folliculogenèse

La folliculogenese est la croissance et la maturation du follicule, entre la reserve constituee par l'ovogenese (follicule primordial) et l'ovulation qui correspond a la rupture du follicule mur(tertiaire preovulatoire). La premiere partie de cette evolution a lieu au cours du developpement dans la gonade prepubere. La seconde correspond a la maturation folliculaire observee lors de l'activite cyclique.

La reserve de la jument a la naissance est constituee d'environ 40 000 follicules primordiaux contre 120 000 chez la vache. Un follicule primordial est un ovocyte primaire entoure de cellules aplaties indifferenciees. Il grossit et donne un follicule primaire qui contient un ovocyte developpe.

La differenciation et les mitoses des cellules aplaties forment une couche de cellules cuboidales.

Dans le follicule secondaire, la theque interne se developpe et deux couches de cellules de la granulosa se superposent. Le follicule tertiaire est caracterise par un antrum contenant un exsudat produit par les cellules de la granulosa. La paroi folliculaire est alors composee de plusieurs couches de cellules de la granulosa et de cellules de la theque separees l'une de l'autre par une lame basale. Le developpement de ce follicule tertiaire en follicule mur (ou preovulatoire) est marque par un accroissement considerable de l'antrum, la differenciation et l'epaississement de la paroi[Pierson, 1993].

b.Croissance et différenciation du follicule

1. Recrutement

Le recrutement correspond a la sortie de la reserve et l'entree en croissance de certains follicules primordiaux (de moins de 10 mm). Il debute entre le 6^{eme} et le 10^{eme} jour du dioestrus soit 11 a 14 jours avant ovulation.

2. Croissance

Le follicule recrute poursuit son developpement jusqu'a devenir un follicule a antrum qui sera selectionnable. La croissance est caracterisee par une augmentation de la vascularisation thecale et une augmentation de la taille du follicule qui atteint 20 a 30 mm environ [Ginther, 1992 ; Pierson, 1993].

3. Selection

La selection correspond a l'ajustement du nombre de follicules recrutes au nombre d'ovulations et determine le choix et l'individualisation du follicule qui ovulera, dit « dominant ».

Elle se produit 6 a 8 jours avant ovulation ou s'il n'y a pas d'ovulation, 7 jours avant que le follicule dominant n'atteigne son diametre maximum.

4. Dominance

La dominance correspond a la secretion par le follicule selectionne de facteurs qui controlent la croissance des follicules de la meme vague et vont provoquer leur atresie [Tibary *et al.*, 1994b].

c. Les vagues de croissance folliculaire

Une vague de croissance est caracterisee par l'augmentation puis la diminution du diametre d'un groupe de follicules pendant la duree d'un cycle oestral (*cf.* fig. 2).

La jument presente en general une vague de croissance folliculaire par cycle. Certaines peuvent cependant en presenter deux. Une vague de croissance au cours de laquelle s'effectuent le recrutement et la selection d'un follicule dominant est appelee « vague de croissance majeure » par opposition aux vagues de croissance mineures se produisant avant la puberte, au cours desquelles aucun follicule n'est selectionne [Ginther, 1992 ; Daels et Hugues, 1993a et Squires, 1993b].

Dans 80 % des cycles, une vague de croissance primaire se developpe : en fin d'oestrus, l'ovaire de jument contient de nombreux petits follicules mesurant 2 a 5 mm qui vont grandir pendant la phase luteale, a la vitesse moyenne de 3 mm par jour. La croissance de ces petits follicules aboutit a l'emergence d'un follicule dominant en milieu de cycle, vers le dixieme jour de la phase luteale. Ce follicule atteint la taille de 25-30 mm en fin de dioestrus, et son developpement ulterieur aboutit a une ovulation (si ovulation il y a), unique le plus souvent, en phase oestrale (*cf.* fig. 2A) [Ginther, 1992 ; Palmer, 1987 ; Daels et Hugues, 1993a].

Dans 20 % des cycles, il se produit deux vagues de croissance decalees dans le temps au cours d'un meme cycle. La vague de croissance secondaire est caracterisee par l'emergence d'un follicule dominant en fin

d'oestrus ou tout debut de dioestrus (cf. fig. 2B et 2C). Dans 15 % des cycles, cette seconde vague de croissance folliculaire est anovulatoire (cf. fig. 2B). Dans 5 % des cycles, le developpement de ce follicule preovulatoire en debut de dioestrus aboutit a une ovulation pendant le dioestrus, sans que la jument ne soit en chaleur (cf. fig. 2C) [Ginther, 1992 ; Tibary *et al.*, 1994b ; Daels et Hugues, 1993a,b ; Pierson, 1993]. Ces ovulations dioestrales peuvent etre fecondantes si elles surviennent assez tot pendant le dioestrus. En revanche, si l'ovulation se produit en fin de dioestrus, le corps jaune resultant d'une telle ovulation ne sera pas assez mur pour repondre a la secretion de prostaglandines F₂ par l'endometre en fin de phase luteale. La duree de vie de ce corps jaune et celle du cycle seront alors augmentees, et la jument pourra presenter un anoestrus par corps jaune persistant [Tibary *et al.*, 1994b ; Daels et Hugues, 1993a,b].

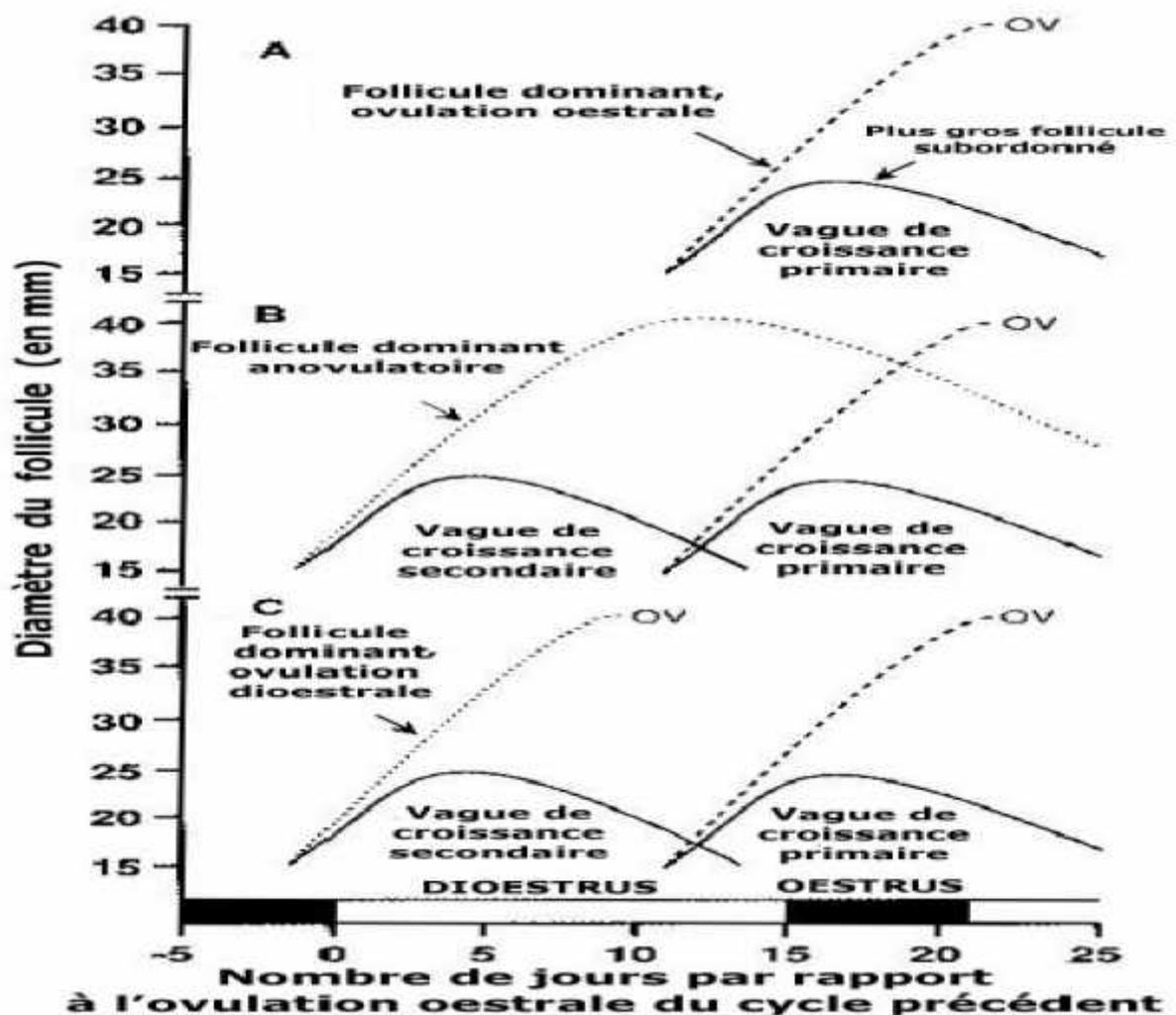


Figure 2 : Schema des trois types de cycles chez la jument [Ginther, 1992]

A : Une vague de croissance folliculaire

B : Deux vagues de croissance folliculaire avec une ovulation oestrale

C:Deux vagues de croissance folliculaire avec ovulations dioestrale et oestrale

d.Devenir des follicules

L'entree d'un follicule primordial en croissance et en differenciation est une etape irreversible de la folliculogenese. Elle a deux issues possibles :

- la regression et la degenerescence des follicules de la vague non selectionnes ou du follicule dominant: c'est le phenomene d'atresie,
- l'ovulation d'un follicule devenu dominant.

1. L'atresie

Ce phenomene irreversible concerne 99% des follicules de la jument [Pierson, 1993]. Il correspond a l'involution des cellules de la granulosa puis de la theque. Le mecanisme implique dans l'atresie est l'apoptose : c'est une mort cellulaire programme, caracterisee par l'activation d'endonucleases aboutissant a la fragmentation de l'ADN (Acide Desoxyribo-Nucleique). Elle se differencie ainsi de la mort cellulaire par necrose. Les evenements biochimiques qui gouvernent l'atresie ne sont pas connus [Ginther, 1992].

Sur le plan morphologique, le follicule atretique est caracterise par une diminution de taille, l'apparition d'un noyau pycnotique dans les cellules de la granulosa suivie d'une degenerescence de l'ovocyte puis d'une destruction des cellules de la granulosa. Parfois, on observe un clivage de l'ovocyte. Les cellules de la theque interne s'atrophient et leur production d'oestradiol est fortement reduite. La vascularisation de la theque interne diminue considerablement [Ginther, 1992. ; Palmer, 1987].

Au niveau fonctionnel, les marqueurs biochimiques de l'atresie sont une augmentation de l'activite lysosomiale et une diminution de la synthese des proteines et acides nucleiques. L'atresie est caracterisee par une diminution qualitative et quantitative, puis un arret de la steroidogenese [Ginther, 1992].

L'atresie serait donc un processus de degradation cellulaire implique dans la selection du follicule dominant.

2. L'ovulation

Elle concerne le follicule dominant qui répond à une élévation du taux circulant de Follicle-Stimulating Hormone (FSH) et Luteinizing Hormone (LH) par un remaniement structural conduisant à sa rupture et à l'expulsion de l'ovocyte mur 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 E_2 (PGE_2) et F_2 (PGF_2), prostacyclines et histamine voient leur synthèse augmenter quand l'expulsion ovocytaire approche [Pierson, 1993]. Le taux de progesterone intrafolliculaire limite cette inflammation.

* Caractéristiques du follicule preovulatoire

Le follicule dominant 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 [Ginther *et al.*, 2001 ; Pierson, 1993 ; Daels et Hugues, 1993a ; Ginther, 1992]. 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'oestradiol. Par ailleurs, le follicule preovulatoire est le plus vascularisé et ses capillaires fenestrés ont une perméabilité supérieure à celle des autres follicules. Enfin, le follicule preovulatoire 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.*, 1994a].

Une majorité des juments maiden (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'oestrus, 12 % ovulent plus de deux jours avant la fin de l'oestrus et 10 % ovulent après la fin de leur comportement d'oestrus [Daels et Hugues, 1993a].

Le follicule prêt à ovuler mesure en moyenne 45 mm (*cf.* fig. 3). 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 (la structure de l'ovaire étant inversée chez la jument par rapport aux autres mammifères, avec une corticale entourée par la médulla). Ce changement de forme pourrait être dû à une légère diminution de pression à l'intérieur de l'antrum (cette diminution de pression a été démontrée chez le lapin).

Les autres follicules restent bien sphériques [Ginther, 1992 ; Pierson, 1993] (*cf.* fig. 4). 90% des follicules se ramollissent dans les 12 à 72 heures précédant l'ovulation. Le passage d'une consistance turgide à molle est perceptible à la palpation transrectale [Ginther, 1992 ; Pierson, 1993 ; Tibary *et al.*, 1994a]. Il faut cependant souligner qu'aucun critère n'est

suffisamment fiable pour pouvoir prédire la survenue de l'ovulation à 48 heures près [Ginther, 1992].

L'expulsion de l'ovocyte nécessite la désintégration de l'apex du follicule, à la suite des ruptures des couches cellulaires de la granulosa, de la lame basale, des théques interne et externe, du stroma ovarien et de l'épithélium germinatif ovarien situé au niveau de la fosse ovulatoire [Ginther, 1992 ; Pierson, 1993].

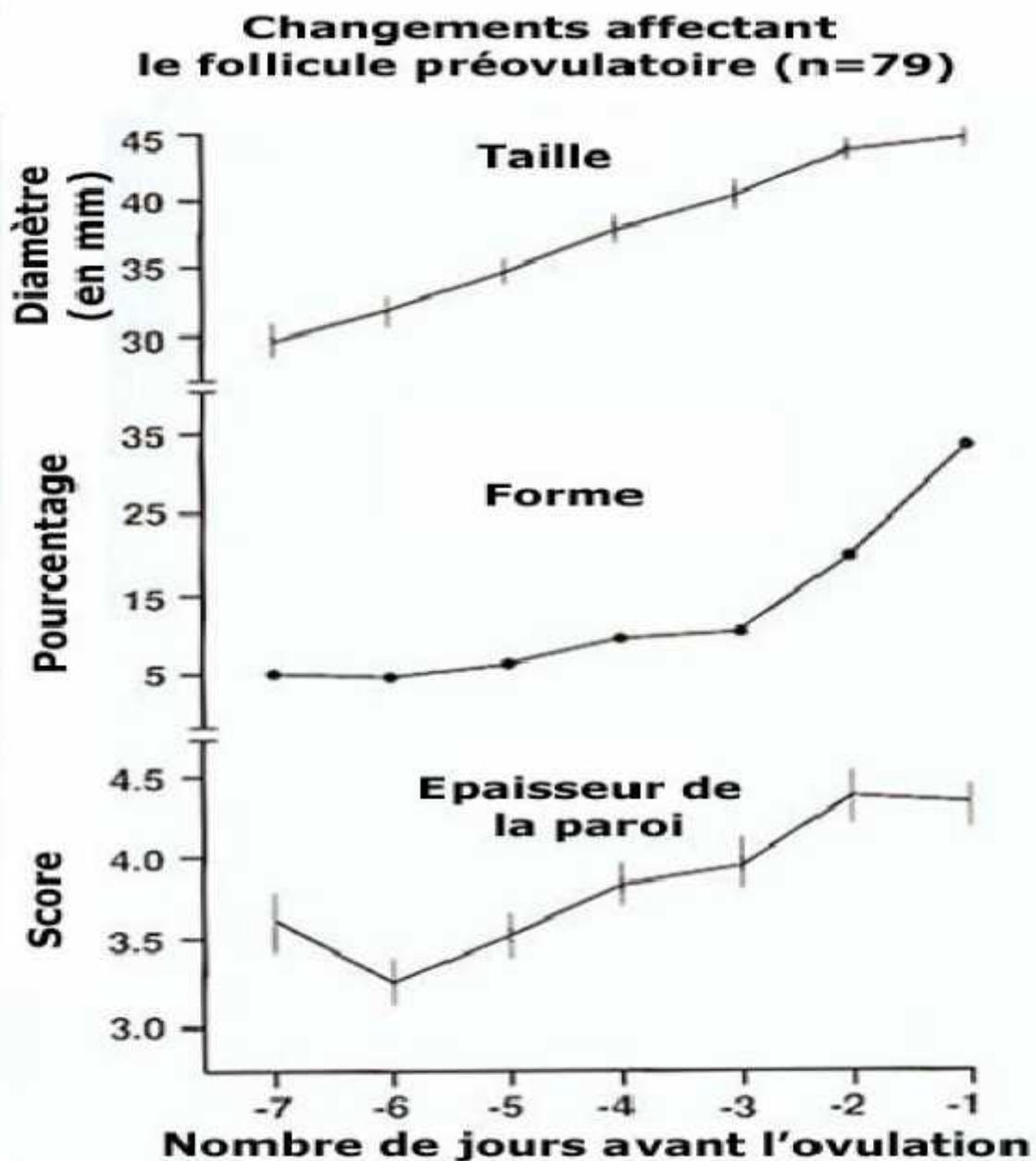


Figure 3 : Changements affectant le follicule preovulatoire chez la jument [Ginther, 1992]

Les differences entre jours ont ete significatives pour chaque variable etudiee. Forme : courbe representant le pourcentage de follicules changeant de forme. L'epaisseur de la paroi a ete scorifiee de 0 a 6 (0 = paroi non discernable ; 6 = paroi de 3 mm environ)

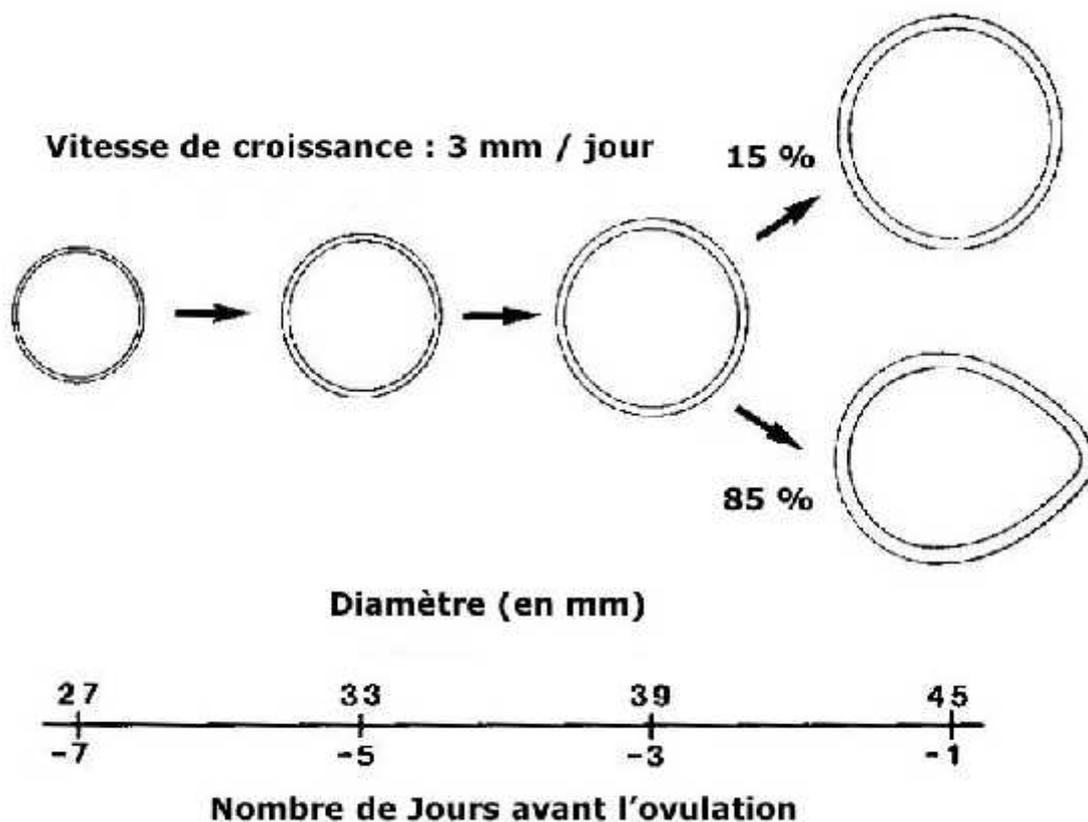


Figure 4 : Schema representant la croissance et les changements de forme du follicule preovulatoire equin [Ginther, 1992]

2. Le corps jaune

L'ovulation donne lieu a des remaniements des cellules de la theque et de la granulosa qui conduisent a la formation d'un corps jaune. Chez la jument, les cellules luteales semblent exclusivement derivees des cellules de la granulosa, les cellules de la theque ayant totalement degene

heures apres ovulation. Les cellules de la granulosa grossissent apres ovulation ; elles sont totalement luteinisees et commencent a produire de la progesterone 3 a 4 jours apres ovulation.

Elles continuent de croitre jusqu'au 9eme jour du cycle (la progesteronemie est maximale, voir la partie « endocrinologie »), le corps jaune est alors constitue de grandes cellules et de plus petites cellules. Ces petites cellules representeraient un stade de developpement 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 dioestrus. Juste apres l'ovulation, un corps hemorragique se forme avec accumulation du sang a l'interieur du follicule (corpus hemorrhagicum). Les cellules luteales se forment et s'organisent a l'interieur de ce corps hemorragique. Au 9^{eme} jour du cycle, au moment ou la progesteronemie est maximale, le caillot sanguin est completement resorbe et remplace par une structure totalement luteinisee et dense : le corps jaune proprement dit (corpus luteum) [Tibary *et al.*, 1994b ; Niswender et Nett, 1993 ; Squires, 1993a]. Chez la jument, il existe deux types de corps jaune proprement dit : l'un plein, homogene et l'autre avec une cavite liquidiene (corps jaune cavitaire). Cette difference de morphologie n'a aucune influence sur la fonction de secretion et ne modifie en rien la duree du dioestrus [Ginther, 1992 ; Niswender et Nett, 1993 ; Tibary *et al.*, 1994b ; Squires, 1993a]. La frequence de corps jaune cavitaire augmente lors de double ovulation [Ginther, 1992].

Si la jument n'est pas gestante, le processus de luteolyse commence 12 jours apres ovulation. La luteolyse se manifeste par une diminution du diametre des cellules luteales et une diminution synchrone de la progesteronemie [Niswender et Nett, 1993 ; Tibary *et al.*, 1994b ; Daels et Hugues, 1993a ; Squires, 1993a]. Au 20^{eme} jour du cycle, la plupart des grandes cellules sont a un stade de regression avance, seules quelques petites cellules persistent. A ce moment, les vaisseaux sanguins sont scleroses et s'obliterent, ils forment des travees entre les cellules [Ginther, 1992].

C. Endocrinologie

Les modifications comportementales et ovariennes sont soumises a un controle hormonal etroit. Nous verrons successivement la fonction endocrine des ovaires, la regulation par l'axe hypothalamo-hypophysaire puis la fonction endocrine de l'uterus.

1. Fonction endocrine des ovaires : les hormones steroïdiennes

Les ovaires contiennent deux glandes endocrines temporaires : les follicules et le corps jaune. D'une maniere generale, les follicules sont associes a la production des oestrogenes et le corps jaune a celle des progestagenes.

L'oestradiol 17 est l'oestrogene secrete en plus grande quantite et la progesterone est le progestagene ovarien majeur [Ginther, 1992].

a. Les oestrogènes

Le terme d'oestrogene provient du fait que ces substances induisent l'oestrus, c'est a dire le changement comportemental des animaux qui se caracterise par l'acceptation du male [Tiret et Lefrancois, 2001 ; Nett, 1993].

Chez la jument, les oestrogenes sont produits par les cellules de la theque interne et de la granulosa des follicules a antrum en maturation [Nett, 1993]. La concentration en oestradiol 17 s'eleve a partir de J14-J16 post-ovulation, ce qui correspond au debut de l'oestrus. Le taux maximum est atteint 24 a 48 heures avant l'ovulation puis celui-ci chute pour atteindre sa valeur la plus faible 1 a 2 jours apres ovulation [Daels et Hugues, 1993a]. Les valeurs d'oestrogenemie chez la jument sont extremement faibles comparees a celles des autres especes. Par ailleurs, elles sont tres variables d'un individu a l'autre et fonction de la methode de dosage utilisee [Daels et Hugues, 1993a, Alexander et Irvine, 1993] (cf. fig. 5).

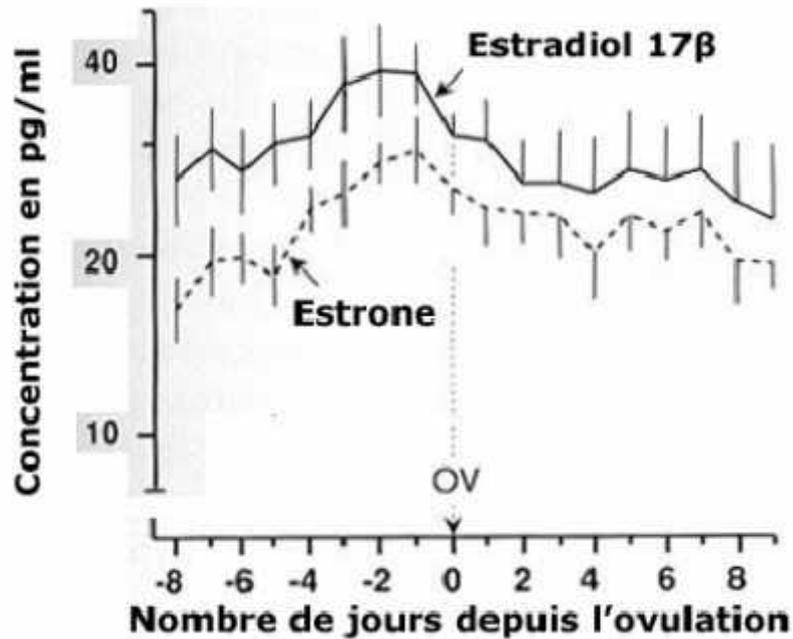


Figure 5 : Concentration en oestrogènes pendant la période periovulatoire chez la jument (moyennes + ou - sem, n = 8) [Ginther, 1992]

Les oestrogènes sont responsables de l'augmentation de la sécrétion de LH qui commence pendant l'oestrus au moment de la sélection et se poursuit après ovulation [Nett, 1993] (cf. fig. 6).

Par ailleurs, la concentration en oestrogènes formerait un second pic lors de la sélection folliculaire de la vague de croissance secondaire mais ce pic est moins important [Ginther, 1992].

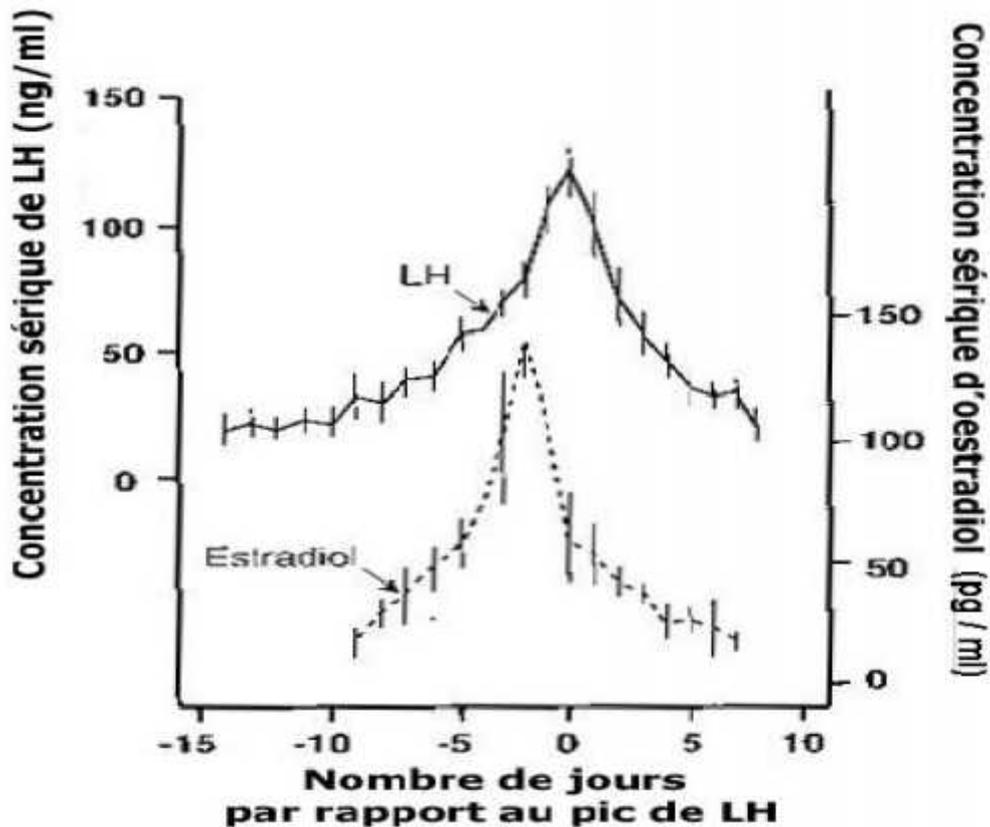


Figure 6 : Concentrations circulantes moyennes de LH et d'oestradiol
(n = 8 juments)[Ginther, 1992]

b. Les progestagènes

La progesterone, secretée pendant la phase luteale, est le principal produit du corps jaune. Pendant l'oestrus, la progesteronémie est inférieure à 1 ng/ml. Après l'ovulation, la concentration de progesterone 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 luteolyse qui provoque une rapide diminution de la progesteronémie. Celle-ci retrouve une valeur basale aux environs du 15^{ème} jour du cycle [Daels et Hugues, 1993a]. Les autres substances progestagènes sont encore méconnues mais leurs concentrations suivraient le même profil [Ginther, 1992] (cf. fig. 7 et fig. 8).

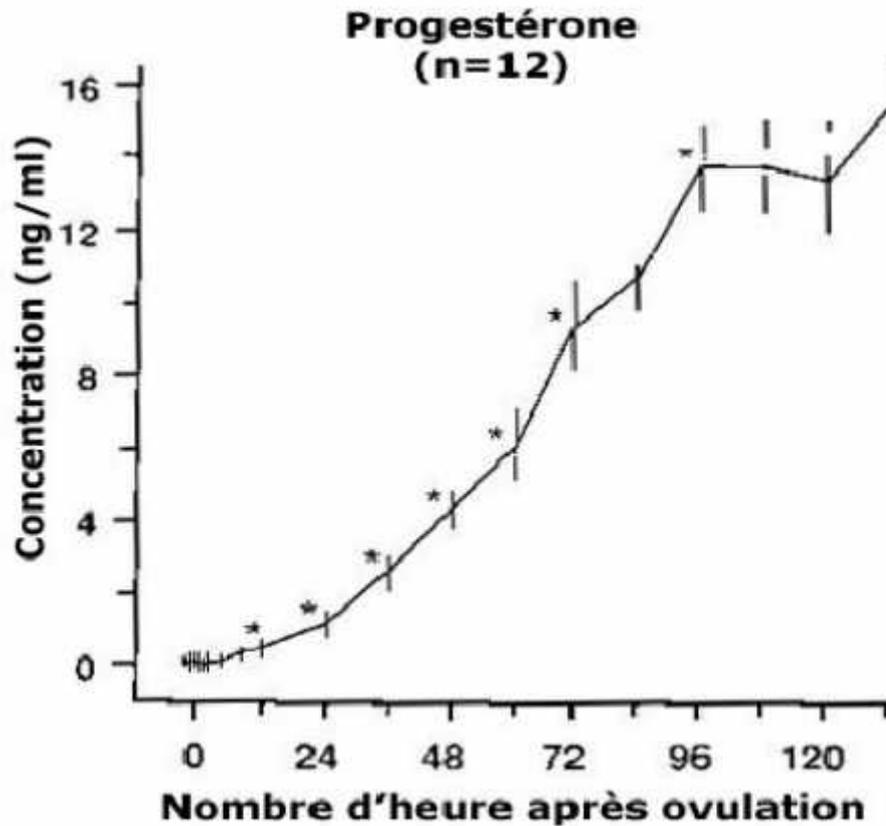


Figure 7 : Evolution de la progesteronémie après ovulation (moyennes \pm sem, n=12 juments)[Ginther, 1992]

Les points marqués d'une astérisque sont significativement différents du précédent point marqué.

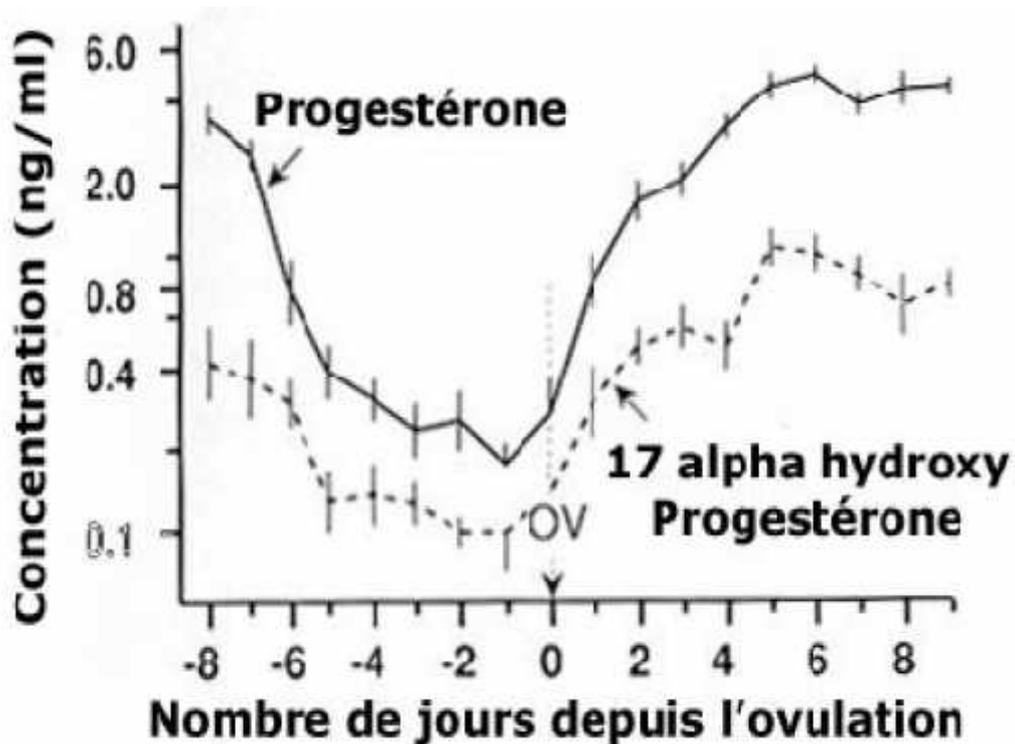


Figure 8 : Concentration en progestagènes (échelle logarithmique) pendant la période periovulatoire chez la jument (moyennes +ou- sem, n = 8 juments) [Ginther, 1992]

La progesterone inhibe le comportement d'oestrus et la décharge préovulante de LH chez la jument. Néanmoins, contrairement à ce qui se produit dans la plupart des autres espèces, la progesterone chez la jument n'inhibe pas complètement la fin de la folliculogenèse et l'ovulation.

Ainsi, les follicules peuvent continuer à croître voire ovuler durant la phase luteale (phénomène de vague de croissance secondaire) même en présence d'une concentration plasmatique de progesterone élevée [Irvine et Alexander, 1993].

2. Régulation hypothalamo-hypophysaire

Ces stéroïdes (œstrogènes et progestagènes) sont produits en synergie par les cellules de la thèque et de la granulosa, il est donc important que la maturation de ces cellules soit synchrone. Elle est sous le contrôle des hormones hypophysaires dites gonadotropes [Ginther, 1992].

a. Hormones hypophysaires

Les hormones hypophysaires FSH et LH (ou hormones gonadotropes) sont similaires

structurellement, dans leur régulation, et fonctionnent de façon coordonnée pour permettre la fertilité de la jument [Alexander et Irvine, 1993].

La FSH et la LH sont produites par l'hypophyse dans la pars distalis et la pars tuberalis sous deux modes [Daels et Hugues, 1993a ; Alexander et Irvine, 1993 ; Ginther, 1992] :

-une sécrétion de base dite « tonique » à caractère pulsatile de basse fréquence,

- une sécrétion cyclique, également pulsatile mais à haute fréquence.

1. Production

*** La Follicle-Stimulating Hormone (FSH)**

La secretion de FSH durant le cycle oestral est bimodale en debut de saison de reproduction. Il existe deux pics de secretion separees de 10-12 jours [Daels et Hugues, 1993a, Pierson, 1993]. Le premier pic debute peu de temps avant ovulation et atteint son maximum 3 a 5 jours apres. Le second pic a lieu 11 a 13 jours apres l'ovulation. Ces deux pics, observes pendant la premiere partie de la saison sexuelle, sembleraient correspondre au developpement de deux vagues de croissance folliculaires [Daels et Hugues, 1993a ; Pierson, 1993 ; Alexander et Irvine, 1993]. Plus tard dans la saison, la secretion de FSH est unimodale avec un seul pic 11 à 13 jours apres ovulation [Pierson, 1993].

* La Luteinizing Hormone (LH)

Le taux de LH reste bas pendant la moitie du dioestrus (de J5 a J16). Apres luteolyse, le taux de LH augmente progressivement pour atteindre son maximum 2 jours apres ovulation puis il diminue en 4 a 5 jours jusqu'a sa valeur minimale de dioestrus [Daels et Hugues, 1993a]. Ce schema differe de ce qui est observe chez la vache, la brebis, la truie et la femme. En effet, dans ces especes, la secretion de LH forme un pic de concentration juste avant ovulation appele pic ovulatoire [Acosta *et al.*, 2003 ; Driancourt et Levasseur, 2001 ; Brannstrom *et al.*, 1998].

La LH et la FSH ont des concentrations qui evoluent en opposition de phase, sauf pendant la periode peri-ovulatoire. Ainsi, entre la valeur la plus faible de FSH peu de temps avant ovulation et la valeur la plus haute de LH apres ovulation, ces deux hormones sont en phase [Tibary *et al.*, 1994b] (*cf.* fig. 9). La LH et la FSH ont une secretion pulsatile mais celle-ci n'est pas spontanee. Leurs pulses sont synchrones et de basse frequence pendant le dioestrus, l'anoestrus saisonnier et la phase de transition. Ils sont dissocies pendant l'oestrus [Alexander et Irvine, 1993].

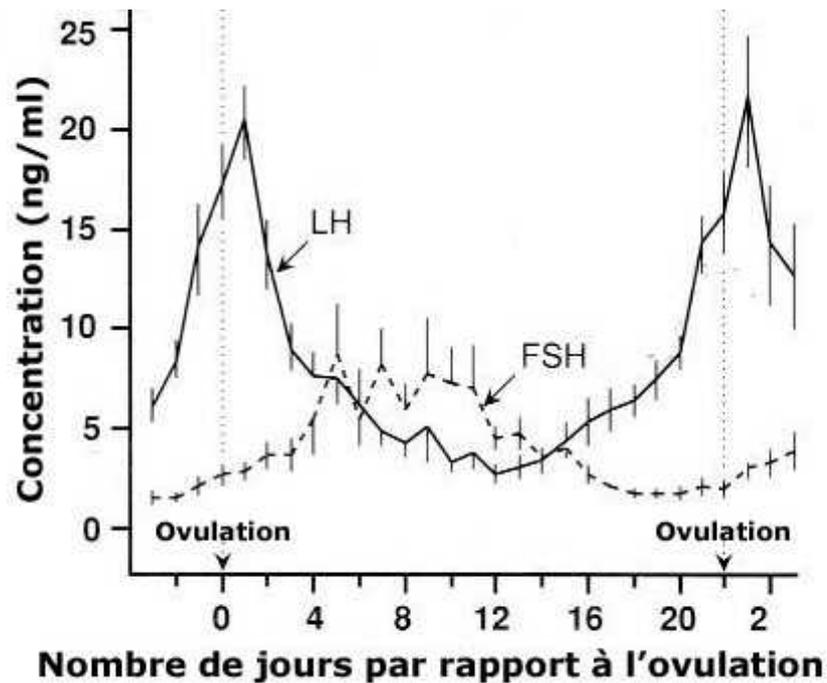


Figure 9 : Concentrations plasmatiques moyennes de FSH et LH au cours du cycle oestral chez la jument (moyennes \pm ou- sem, n= 12 juments) [Ginther, 1992]

2. Action

La fonction cyclique ovarienne dépend entièrement des hormones FSH et LH [Alexander et Irvine, 1993].

*Role dans la folliculogenese (cf. fig. 10)

Le recrutement des follicules primordiaux est induit par la FSH, hormone-clef du démarrage de la croissance folliculaire. En agissant en synergie avec un taux basal de LH, la FSH permet l'amplification de l'aromatation des androgènes en oestrogènes par les cellules de la granulosa du follicule : par conséquent, la quantité d'oestrogènes augmente [Tibary *et al.*, 1994b ; Pierson, 1993].

Les récepteurs à la FSH se trouvent principalement sur les cellules de la granulosa des follicules ovariens préantraux. Ces cellules n'ont que des récepteurs à la FSH. Sous l'influence de la FSH, les cellules de la granulosa prolifèrent rapidement. Les récepteurs à la LH sont confinés sur les cellules de la theque et les cellules interstitielles ovariennes des follicules préantraux. Après formation de l'antrum, des récepteurs à la LH sont

présents sur les cellules de la granulosa. La formation de l'antrum et des récepteurs à la LH requiert la présence de FSH et d'oestradiol. La FSH induit par ailleurs une augmentation de la vascularisation du follicule, qui permet à celui-ci de répondre à des besoins métaboliques accrus et d'augmenter sa production d'hormones stéroïdes. La sélection est caractérisée par une diminution de la sécrétion de FSH et une augmentation parallèle de la production de LH. La LH active le développement et la maturation des grands follicules, elle engendre l'augmentation de la production d'androgènes par les cellules de la tunique interne, et d'oestrogènes par les cellules de la granulosa à la suite de l'aromatase permise par la FSH. Par ailleurs, la production d'inhibine s'élève aussi. C'est l'élévation conjuguée d'oestradiol et d'inhibine qui est responsable de la baisse de la production de FSH. La chute du taux circulant de FSH induit l'arrêt du recrutement et l'induction de la sélection [Ginther, 1992 ; Ginther *et al.*, 2001 ; Pierson, 1993 ; Palmer, 1987]. Le follicule dominant sécrète la Follicular Regulatory Protein (FRP) qui supprime la réponse des follicules sélectionnables aux gonadotropines. Par ailleurs, il a des besoins en FSH réduits grâce à l'Insulin Growth Factor-1 (IGF1) produit par les cellules de la granulosa qui amplifie la réponse à la FSH et qui augmente la quantité d'oestrogènes produits. En outre, l'acquisition de récepteurs à la LH sur les cellules de la granulosa, associée à une sécrétion active de LH à ce moment, permet de maintenir une production d'Adénine Mono-Phosphate cyclique (AMPC) élevée au sein de ces cellules, ce qui compense l'effet d'une baisse de FSH [Ginther, 1992 ; Pierson, 1993, Ginther *et al.*, 2001].

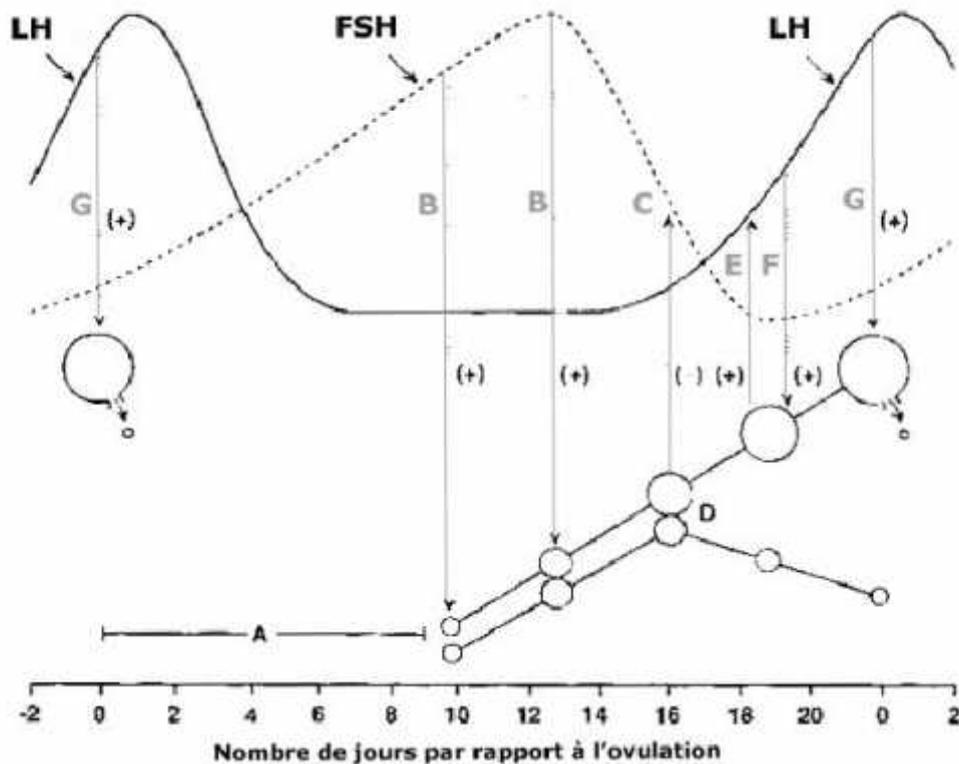


Figure 10 : Interactions entre le niveau d'hormones gonadotropes, la folliculogenese et l'ovulation

[Ginther, 1992]

A : Debut de dioestrus, periode pendant laquelle les profils hormonaux et la croissance des follicules sont variables et moins bien definis

B : Emergence folliculaire consecutive a la stimulation par l'elevation de FSH circulante

C : Inhibition du taux de FSH circulante par l'action combinee d'oestradiol et d'un inhibiteur proteique issu du follicule. De plus, la secretion folliculaire d'androgenes favorise la constitution d'un stock pituitaire de FSH, qui sera disponible pour repondre a une stimulation par la GnRH lorsque l'action des inhibiteurs cessera.

D : Mecanisme de selection au cours duquel un follicule devient le follicule preovulatoire et les autres de la vague regressent. La nature de ce mecanisme est imparfaitement connue mais serait en relation avec la baisse du taux de FSH.

E : Effet positif de l'oestradiol folliculaire sur le taux de LH circulante. Par ailleurs, la luteolyse a ce moment entraine une chute de secretion de progesteronne, a l'origine de la disparition du retrocontrole negatif de la progesteronne sur la secretion de LH par l'ante-hypophyse, contribuant egalement a l'augmentation du taux de LH.

F : Phase de croissance finale du follicule en association avec une augmentation significative du taux de LH circulante.

G : Induction de l'ovulation par le fort taux de LH serique.

* Role dans l'ovulation

A l'instar des autres especes, l'ovulation chez la jument est clairement dependante du taux de LH circulante [Driancourt et Levasseur, 2001]. La LH agirait sur les cellules du follicule preovulatoire en augmentant l'AMPc intracellulaire. La stimulation du follicule preovulatoire par la LH conduirait a de nombreuses modifications [Pierson, 1993] :

- une augmentation de la production de progesterone, qui servira a la maturation cytoplasmique de l'ovocyte,
- une activation d'enzymes proteolytiques impliquees dans la rupture folliculaire,
- une augmentation de la synthese des PGE₂ et PGF₂ et de l'histamine qui serviront egalement a la rupture folliculaire,
- une diminution de la production de glycosaminoglycanes.

Bien que la LH soit secretee de facon pulsatile, le role de la pulsatilite dans l'ovulation n'a pas ete demontre [Pierson, 1993].

Selon certains auteurs, la persistance d'un haut niveau de LH pendant quelques jours apres ovulation pourrait etre impliquee dans l'incidence des doubles ovulations chez la jument [Alexander et Irvine, 1993]. Cependant, lors de vague de croissance secondaire, une ovulation peut survenir pendant le dioestrus alors que le taux de LH est basal ou peu eleve. Il semble donc que chez la jument, bien que la LH soit indispensable a l'ovulation, son action soit moins fine et moins precise que dans les autres especes. Le critere important serait des changements de l'activite specifique de la LH secretee plutot que la concentration de cette hormone [Daels et Hugues, 1993a].

*** Role dans la formation, le maintien et l'activite secretrice du corps jaune**

La LH est le principal agent luteotrope chez la jument [Niswender et Nett, 1993]. La LH controle la formation du corps jaune. La longueur du pic de LH et son taux eleve apres ovulation peut etre responsable du developpement immediat du tissu luteal, d'ou la luteinisation des cellules de la granulosa et l'augmentation precoce du taux de progesterone dans cette espece [Daels et Hugues, 1993a ; Alexander et Irvine, 1993 ; Squires, 1993a ; Ginther, 1992]. Pendant la phase de dioestrus, la secretion de progesterone par les

cellules luteales du corps jaune est maintenue par un taux basal de LH [Daels et Hugues, 1993a ; Squires, 1993a]. En effet, ceci est rendu possible car le nombre de recepteurs a la LH sur les cellules luteales est proportionnel a la progesteronemie, et leur affinite pour cette hormone est maximale quand la secretion de progesterone est maximale. Ce phenomene semble etre particulier a la jument [Niswender et Nett, 1993].

3. Regulation

Les hormones gonadotropes, qui agissent sur la secretion des hormones ovariennes, sont ellesmemes soumises a un retrocontrôle par ces hormones.

*Role de la progesterone

La progesterone augmente juste un jour avant la chute de LH (au debut du dioestrus) et regresse deux jours avant l'augmentation de la LH (fin du dioestrus) [Squires, 1993a] (*cf.* fig. 11).

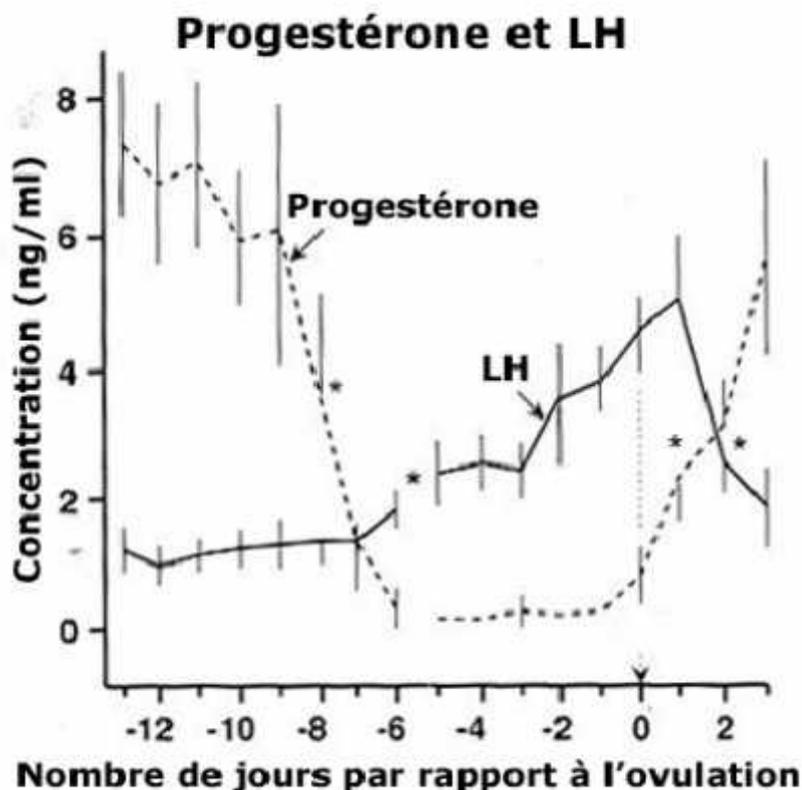


Figure 11 : Concentrations circulantes moyennes de LH et de progesterone

(moyennes +ou- sem, n = 7 juments)[Ginther, 1992]

L'administration de progesterone a des juments ovariectomisees supprime le taux de LH pendant la saison de reproduction mais pas hors saison. Cette difference semble due au fait que le taux de LH chez les juments ovariectomisees est eleve pendant la saison de reproduction car les pulses de LH sont de haute frequence (13 par jour environ). Ainsi, la suppression de ces pulses par la progesterone est plus facilement mise en evidence. En revanche, le taux de LH est bas hors saison chez les juments ovariectomisees car la frequence des pulses de LH est basse (1 pulse par jour environ). La detection de l'effet de la progesterone sur ce taux est donc plus difficile a mettre en evidence.

Comme pour la LH, le taux de FSH n'est pas affecte par l'administration de progesterone hors saison sur les juments ovariectomisees. En revanche, en saison de reproduction, le taux de FSH augmente de facon non significative en reponse a l'administration de progesterone sur ces memes juments [Alexander et Irvine, 1993].

Ainsi, la progesterone a un effet feedback negatif sur la LH et semblerait avoir un effet positif sur la FSH mais non encore elucide [Alexander et Irvine, 1993 ; Squires, 1993a].

*** Role de l'oestradiol**

Un traitement a long terme de juments ovariectomisees par de l'oestradiol provoque

l'augmentation du taux de LH pendant la duree du traitement quelle que soit la saison [Alexander et Irvine, 1993]. L'augmentation de la concentration plasmatique du taux d'oestradiol avant ovulation serait responsable de l'augmentation du taux de LH induisant l'ovulation [Nett, 1993].

Les effets de l'oestradiol sur le taux de FSH ne sont pas clairement demontres. Les relations temporelles entre la FSH et l'oestradiol suggerent un effet negatif de l'oestradiol sur la FSH.

Certains auteurs ont observe une suppression de FSH par l'oestradiol tandis que d'autres n'ont pas montre d'effet de l'oestradiol sur la secretion de FSH [Alexander et Irvine, 1993].

Ainsi, l'oestradiol a un effet feedback positif sur la LH, son effet sur la secretion de FSH est controversé chez la jument [Alexander et Irvine, 1993 ; Nett, 1993].

*** Role d'autres substances proteiques**

L'inhibine est une proteine synthetisee par les cellules de la granulosa du follicule en

croissance et secretee principalement dans le liquide folliculaire chez les moutons. Cette proteine inhibe specifiquement la synthese de FSH, sa secretion basale et bloque la reponse des deux hormones gonadotropes aux stimulations hypothalamiques. Par ailleurs, la FSH stimule la synthese de l'inhibine, ce qui forme une boucle de regulation FSH/inhibine. Chez la jument, l'inhibine n'a pas ete specifiquement isolee mais une proteine a activite similaire a ete dosee dans le plasma [Alexander et Irvine, 1993].

*** Role de la photoperiode**

Les hormones gonadotropes sont egalement soumises a un facteur saisonnier, en rapport avec la photoperiode. Ainsi, hors saison de reproduction, periode de jours courts, leur niveau est bas sous l'action de la production de melatonine qui inhibe la secretion de gonadoliberine (GnRH). Pendant la saison ovulatoire, periode de jours longs, la concentration de melatonine est faible et la GnRH atteint son maximum de production [Irvine et Alexander, 1993].

b.Hormone hypothalamique : la gonadolibérine

La gonadoliberine ou GnRH est produite par l'hypothalamus en reponse a une stimulation du systeme nerveux central superieur (organe des sens). L'hypothalamus transforme donc un signal neural et/ou pineal en signal hormonal. La GnRH agit sur l'hypophyse et controle les secretions de la LH et de la FSH. Elle est secretee par decharges pulsatiles, qui en fonction de leur frequence, sont responsables de la secretion egalement pulsatile de LH et de FSH. Classiquement, deux centres de secretion de GnRH sont impliquees : un centre tonique responsable de la secretion basale et un centre cyclique responsable de la « decharge ovulante » d'hormones gonadotropes. Or, les neurones GnRH paraissent repartis essentiellement en deux zones de l'hypothalamus, et semblent etre animees du meme type

de secretion pulsatile. C'est lors du synchronisme de tous ces neurones qu'il y a decharge cyclique. Leur mecanisme de regulation est encore inconnu [Irvine et Alexander, 1993 ; Ginther, 1992].

La fonction principale de la GnRH est de stimuler la secretion des hormones gonadotropes. Par ailleurs, la GnRH stimule la production de ses propres recepteurs. La frequence des pulses de GnRH joue un role important chez la jument. En effet, si le signal produit par la GnRH est insuffisant et ne permet pas plus d'un pulse par jour d'hormones gonadotropes, la jument reste en anoestrus. Si le signal de GnRH provoque deux a quatre pulses par jour, la secretion de FSH predomine et provoque la croissance folliculaire. Enfin, quand la frequence des pulses de GnRH est elevee ou que le signal est de taille suffisante pour induire des pulses d'hormones gonadotropes au moins toutes les deux heures, alors la secretion de LH predomine et permet l'ovulation [Alexander et Irvine, 1993 ; Irvine et Alexander, 1993].

La secretion de GnRH est majoritairement regulee par les hormones steroïdes. Des recepteurs a l'oestradiol et a la progesterone ont ete trouves dans l'hypothalamus. Il est admis que la progesterone inhibe la frequence des pulses de GnRH et par consequent stimule leur amplitude. En revanche, le role de l'oestradiol sur la secretion de GnRH est plus complexe et controverse. Les facteurs environnementaux jouent eux aussi un role dans la regulation de la secretion de GnRH. Des stimuli nerveux tels que les temperatures extremes, le stress, les pheromones et la lumiere influencent l'activite sexuelle probablement par le biais de la secretion de GnRH. Il est ainsi possible d'avancer la saison sexuelle de la jument par l'intermediaire d'un planning lumineux [Irvine et Alexander, 1993].

3.Fonction endocrine de l'uterus : les prostaglandines

a.Production et action

L'uterus est l'organe responsable de la regression du corps jaune en l'absence de gestation dans de nombreuses especes dont la jument. Ainsi, l'hysterectomie induit le maintien du corps jaune tandis que la stimulation de l'uterus par introduction d'une substance etrangere ou une infection de l'uterus provoquent une luteolyse precoce. Une serie d'etudes a demontre que le role regulateur de l'uterus sur le corps jaune etait au moins en partie

du a une regulation locale utero-ovarienne cheztous les animaux de rente excepte la jument. Chez cette derniere, le controle exerce par l'uterus sur le corps jaune serait uniquement de type systemique [Ginther, 1992 ; Allen et Cooper, 1993]. Apres avoir demontre les proprietes luteolytiques d'un apport exogene de prostaglandine F_2 (PGF_2) ou de ses analogues, Douglas et Ginther ont ete les premiers a montrer l'existence d'une augmentation de la secretion de PGF_2 endogene par l'uterus associee a la luteolyse pendant le cycle oestral chez la jument [Ginther, 1992 ; Allen et Cooper, 1993 ; Niswender et Nett, 1993]. Les prostaglandines F_2 et E_2 sont les deux principales prostaglandines associees a la reproduction chez les mammiferes.

Elles sont secretees par des types cellulaires varies du tractus genital en reponse a divers stimuli endocrines, neuraux et physiques. Le role de la PGE_2 dans la reproduction de la jument n'est pas encore bien determine a ce jour [Allen et Cooper, 1993].

La PGF_2 est secretee chez la jument par l'endometre uterin par pulses de courte duree comme chez la brebis et les autres animaux de rente. Cette secretion se produit en moyenne 14 a 16 jours apres ovulation dans un cycle normal chez la jument. Le premier pulse de PGF_2 precede de 3 a 4 heures la diminution decelable de la progesteronemie. La progesteronemie chute a sa valeur de base en 24 a 48 heures mais la secretion pulsatile de PGF_2 se poursuit 1 a 2 jours apres luteolyse complete. Il a ete montre que l'inflammation de l'endometre, provoquee par une stimulation chimique ou bacterienne, pouvait induire une secretion de PGF_2 en grande quantite et d'une duree suffisamment longue pour induire une luteolyse precoce [Allen et Cooper, 1993 ; Daels et Hugues, 1993a ; Ginther, 1992].

Comme chez la vache, le corps jaune en developpement (les 4-5 premiers jours) est refractaire a l'action des PGF_2 [Ginther, 1992].

La prostaglandine F_2 est donc l'hormone luteolytique secretee par l'uterus. Elle controle la duree de vie et la fonction du corps jaune, et conditionne la duree du cycle oestral chez la jument non gestante [Allen et Cooper, 1993].

b.Régulation [Ginther, 1992 ; Niswender et Nett, 1993]

1. Role de la progesterone

Les juments ovariectomisées traitées avec de la progesterone pendant au moins 14 jours ont un taux de PGF_2 dans la lumière utérine supérieur à celui du lot non traité. Ainsi, une longue exposition de l'endomètre à la progesterone serait nécessaire à la sécrétion ultérieure de prostaglandines par l'utérus. Les mécanismes de cette régulation ne sont pas connus mais il se pourrait que la longue exposition de l'utérus à la progesterone permette la production d'une enzyme nécessaire à la synthèse de PGF_2 ou bien le recrutement de précurseurs.

2. Role des oestrogenes

In vitro, le tissu de l'endomètre, sous impregnation de progesterone préalable, produit plus de prostaglandines en présence d'oestradiol. Par ailleurs, l'administration d'oestradiol à des juments ovariectomisées sous impregnation de progesterone provoque une augmentation de la production de PGF_2 . Ainsi, l'intervention des oestrogenes semble être une composante du mécanisme de déclenchement des PGF_2 . Les oestrogenes pourraient eux aussi, comme la progesterone, intervenir dans la régulation du système enzymatique de la synthèse et de la sécrétion des PGF_2 .

3. Role de l'ocytocine

Les études réalisées chez les ruminants suggèrent que l'ocytocine d'origine luteale aurait un rôle de stimulateur de la synthèse des prostaglandines par l'endomètre, et que la PGF_2 stimulerait les pulses d'ocytocine.

Chez la jument, le nombre de récepteurs à l'ocytocine augmente dans l'endomètre en phase luteale tardive. Le tissu endometrial in vitro répond à la présence d'ocytocine en synthétisant des PGF_2 . Par ailleurs, le taux circulant d'ocytocine augmente au moment de la luteolyse chez la jument. Néanmoins, le rôle de l'ocytocine dans la régulation de la sécrétion de prostaglandines chez la jument n'a pas encore été totalement élucidé.

c. Utilisation

L'action luteolytique des prostaglandines est utilisée pour raccourcir la durée du cycle oestral chez la jument. Le traitement par les prostaglandines d'une jument ayant un corps jaune mature (de plus de 4-5 jours) provoque l'entrée en oestrus en 2 à 4 jours et une ovulation en 7 à 12 jours. La durée entre le traitement et l'ovulation est principalement fonction du diamètre du plus gros follicule au moment du traitement. Ainsi, l'ovulation sera plus précoce si le

traitement intervient alors que le follicule dominant est a la fin de sa croissance. En revanche, si le traitement a lieu quand le follicule dominant est petit ou lorsqu'il est entre en phase d'atresie, alors la duree entre le traitement et l'ovulation est prolongee [Ginther, 1992].

La figure 12 rassemble les evenements ovariens et endocriniens du cycle de la jument. Si les taux des differentes hormones peuvent etre suivis par prise de sang, l'identification directe des structures ovariennes peut se faire chez la jument par echographie ou par Doppler, ce que nous allons presenter dans la partie suivante.

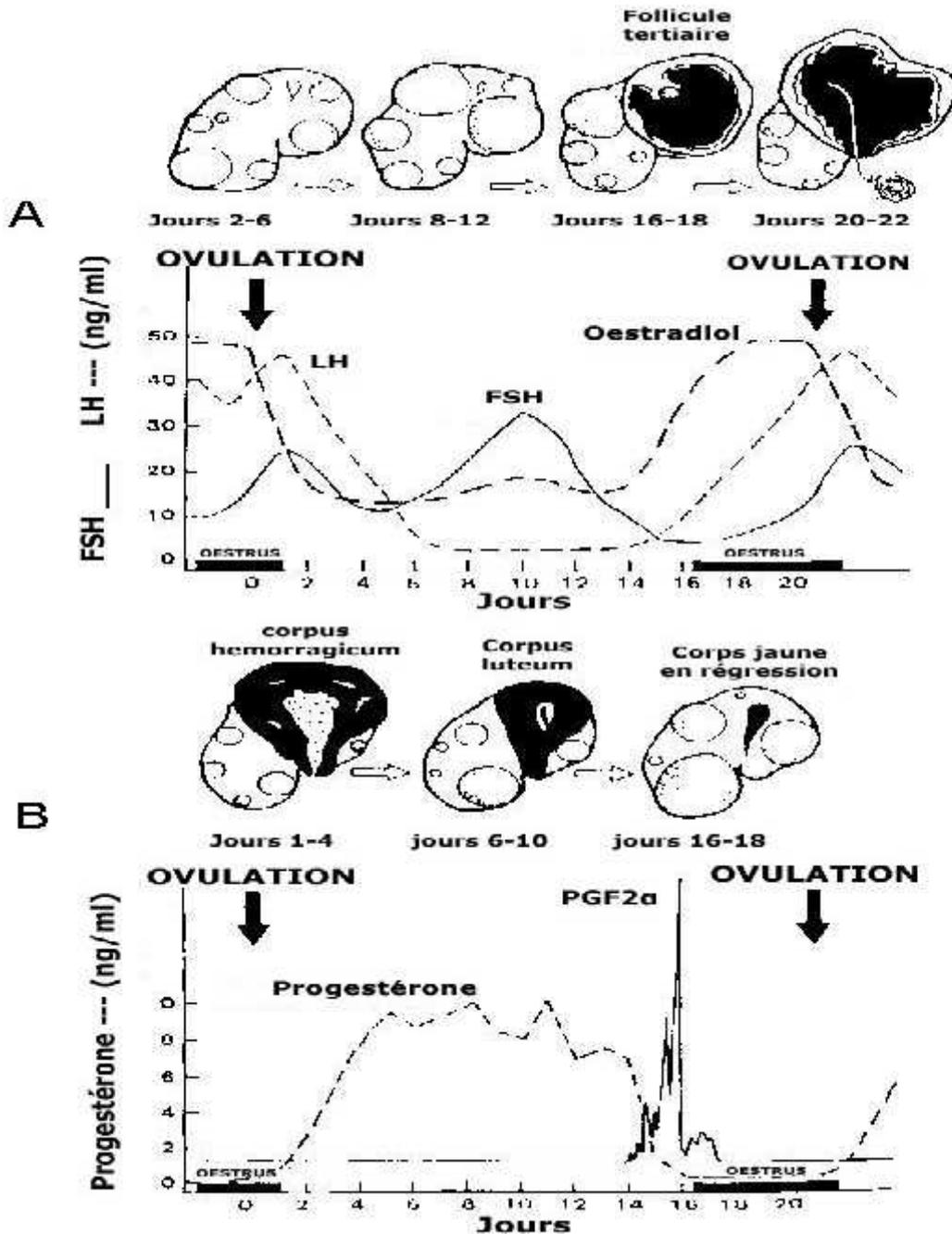


Figure 12 : Synthese des variations hormonales et ovariennes au cours du cycle oestral chez la jument[Daels et Hugues, 1993a]

Le schéma A montre la dynamique folliculaire et l'ovulation en relation avec les concentrations périphériques de FSH, LH et oestradiol durant un cycle oestral normal de 21 jours.

Le schéma B décrit le développement et la régression du corps jaune en parallèle des concentrations de progestérone et PGF2 pendant un cycle oestral normal de 21 jours.

ECHOGRAPHIE DES OVAIRES

ECHOGRAPHIE DES OVAIRES

D.Bases physiques de l'échographie et matériel

L'échographie repose sur le principe d'émission-réception d'ondes ultrasonores par une sonde également appelée transducteur.

1. Principe de l'échographie

a. Les ondes ultrasonores [Maï, 1994 ; Boon, 1998 ; Ginther, 1986]

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 de Hertz (2 et 15 MHz).

1. Propagation

La propagation des ultrasons dans un milieu biologique se fait en ligne droite. Leur vitesse de déplacement dépend de la densité du milieu : plus ce milieu est dense, plus les ultrasons voyagent rapidement (3380 m/s dans l'os, 1540 m/s dans les tissus mous et 354 m/s dans l'air).

La pénétration des ondes dans le milieu biologique dépend :

- de la fréquence d'émission des ultrasons : plus celle-ci est élevée, moins la pénétration est grande (accentuation des phénomènes de réflexion),
- du milieu lui-même : l'absorption est maximale pour les milieux à très forte cohésion (os). Une grandeur appelée impédance acoustique « Z » peut être attribuée à chaque milieu. Elle est égale au produit de la densité « d » du milieu considéré par la célérité « c » de l'onde sonore dans ce milieu : $Z = d \times c$. C'est la différence d'impédance entre deux milieux qui détermine les modalités de renvoi des échos ultrasonores.

2. Interaction avec les tissus

La limite entre deux milieux d'impédances acoustiques différentes est appelée « interface acoustique ». Lorsque les ultrasons rencontrent la limite entre deux milieux d'impédances acoustiques très différentes, ils se comportent comme des rayons lumineux rencontrant un dioptre optique. Les lois de

reflexion - refraction sont les memes que pour les rayons lumineux (lois de Descartes) (cf. fig. 13).

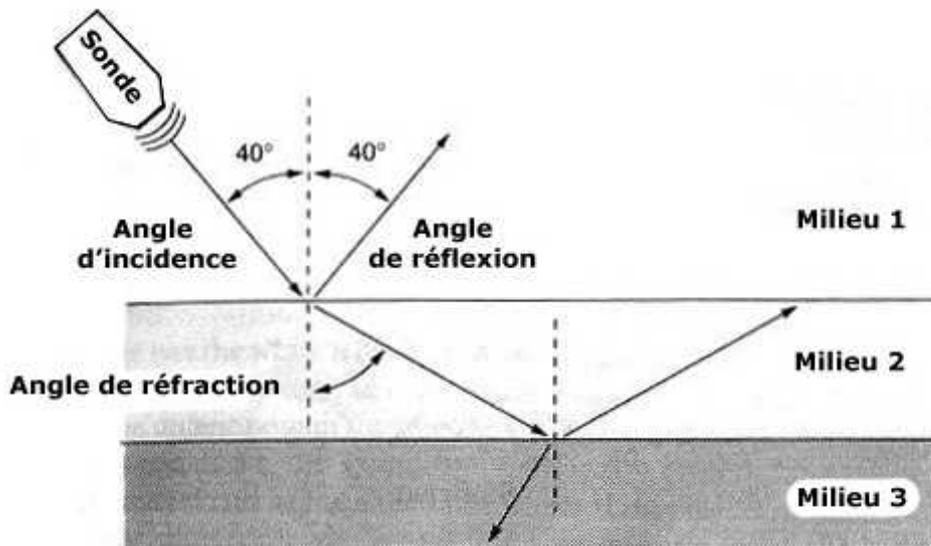


Figure 13 : Phenomene de reflexion / refraction des echos ultrasonores [Boon, 1998]

L'angle de reflexion est egal a l'angle d'incidence lorsque l'echo rencontre le tissu. Les ultrasons qui arrivent perpendiculairement a la surface sont reflechis avec le meme angle. L'ultrason est refracte lorsqu'il franchit une interface entre deux tissus differents. Plus la difference de proprietes entre les deux tissus est grande, plus le degre de refraction est important.

b. Formation des échos [Mai, 1994 ; Ginther, 1986]

Un echo correspond a la reflexion d'une onde sonore lorsqu'elle rencontre un obstacle. Il existe deux modes de reflexion.

1. Reflexion de type miroir

Deux cas peuvent se presenter :

- l'interface forme un ecran et toute l'energie du faisceau incident est reflechie ; le faisceau refracte est nul, ce qui entraine une perte d'information concernant les structures au-dela de l'obstacle (exemple de l'os),
- l'interface est franchie, une partie du faisceau est reflechie, l'autre est refractee. On peut alors recevoir des echos provenant de structures plus profondes. Pour cela, trois conditions doivent etre realisees :

- * les variations d'impédance acoustique au niveau des interfaces doivent être suffisantes : la quantité d'ultrasons réfléchis est d'autant plus grande que la différence d'impédance entre les deux milieux est grande,
- * le faisceau incident doit être le plus perpendiculaire possible à l'interface, sans quoi, l'écho est perdu car il ne rencontre pas le récepteur au retour,
- * la puissance initiale du faisceau doit être suffisante pour qu'il puisse atteindre les surfaces réfléchissantes successives.

D'après les lois de Descartes, la direction du faisceau réfléchi, ou écho, dépend de l'angle d'incidence. En particulier, si le faisceau incident arrive perpendiculairement à l'interface acoustique (angle d'incidence nul), l'écho repart aussi perpendiculairement à l'interface (angle réfléchi nul). La réflexion est dite spéculaire lorsqu'il n'y a pas de dispersion des faisceaux réfléchis (cf. fig. 14).

2. Reflexion multidirectionnelle

Les particules de petite dimension ou dont l'interface est rugueuse sont à l'origine d'échos indépendants de l'angle d'incidence du faisceau ultrasonore (diffusion des ondes dans toutes les directions) (cf. fig. 14).

Ce mode de réflexion est très important en particulier pour la visualisation :

- de la « texture » des parenchymes organiques ou des muscles,
- des parois sous incidences obliques ou tangentielles.

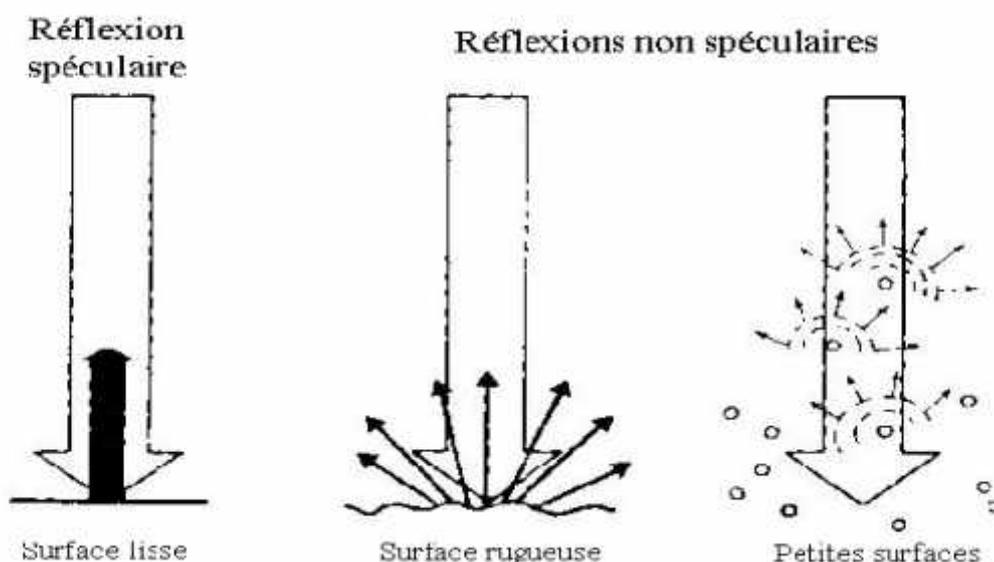


Figure 14 : Les différents types de réflexion des échos [Ginther, 1986]

c. Formation de l'image ultrasonore [Mai, 1994 ; Ginther, 1986]

1. Emission – Reception

Schematiquement, un echographe est compose d'une sonde et d'un oscilloscope capable de transcrire les images. Le principe de base de la formation de l'image echographique repose sur un phenomene physique appele la transduction. La transduction correspond a la transformation d'une energie en une energie d'une autre nature. En echographie, le type de transduction utilise est l'effet piezoelectrique, par lequel une energie mecanique de type vibratoire est transformee en une energie electrique.

Ainsi, la sonde comporte des cristaux piezoelectriques qui vibrent sous l'effet d'un courant de haut voltage et de courte duree et generent alors des ultrasons. Le cristal est alors emetteur d'ultrasons.

Par ailleurs, ces cristaux sont capables de recevoir des ultrasons et de les transformer en courant electrique, visualisable apres amplification sur l'ecran d'un oscilloscope. C'est ce qui se produit entre deux stimulations electriques successives : le cristal est alors recepteur.

2. Modes de traitement des echos

Ces modes correspondent a la facon dont sont traitees les echos recus. Il existe quatre modes de traitement des echos : A, B, TM et BD. Le mode bidimensionnel (BD, temps reel ou 2D) correspond a la juxtaposition d'une multitude d'images du mode B grace a un balayage automatique et cyclique de la surface d'exploration par le faisceau plan d'ultrasons emis par la sonde. Dans le cas du mode B, la densite du faisceau reflechi (echo) est appreciee sur l'ecran par l'amplitude du signal electrique (axe des ordonnees). Les abscisses respectives des points lumineux permettent d'appréhender la profondeur et la repartition spatiale des structures anatomiques reflechissantes. De plus, ces points lumineux ont une brillance proportionnelle a l'intensite des echos. Cette brillance est traduite sur l'ecran par des teintes allant du noir (anechogenicite) au blanc (tres forte echogenicite) en passant par toute la gamme des gris : c'est l'echelle de gris. En gynecologie equine, le mode 2D est utilise [Blanchard *et al.*, 1998].

En mode 2D, l'image obtenue est celle d'un plan de coupe et materialise la reconstitution en deux dimensions des structures anatomiques etudiees (*cf.*

fig. 15). La technique du balayage utilisée en médecine vétérinaire est souvent électronique : le balayage est effectué automatiquement par la sonde elle-même. Les images des coupes de l'objet ainsi effectuées se succèdent rapidement sur le moniteur de sorte que les mouvements des organes sont observés en temps réel. Deux types de sonde permettent ce balayage : les sondes linéaires et sectorielles. Pour l'examen de l'appareil génital de la jument, la sonde linéaire est utilisée [Blanchard *et al.*, 1998]. Cette dernière effectue un balayage permanent sur une longueur de 10 cm ou plus. L'image obtenue est rectangulaire et de bonne résolution.

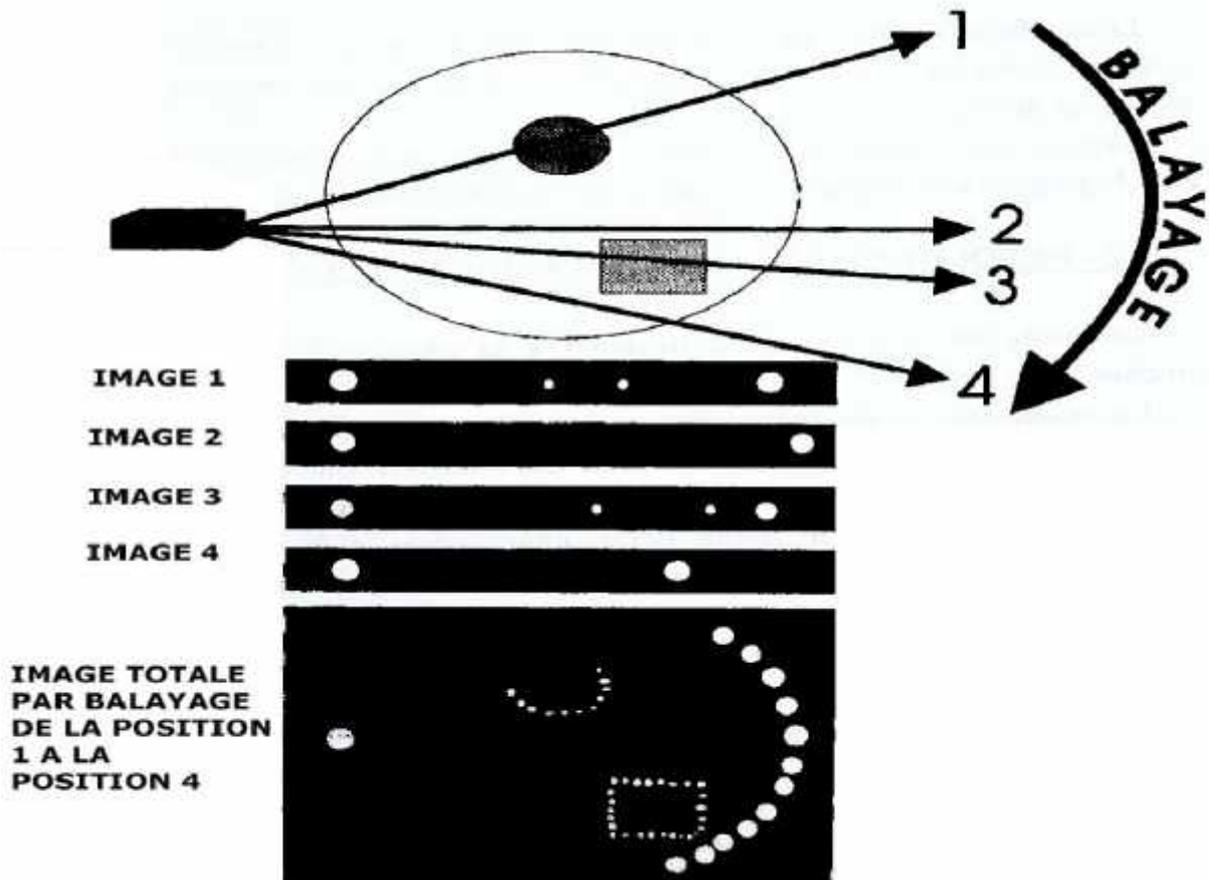


Figure 15 : Formation de l'image en échographie bidimensionnelle (Mode BD) [Mai, 1994]

d. Qualité de l'image échographique

1. Penetration et attenuation

L'énergie portée par le faisceau ultrasonore s'atténue au fur et à mesure de la distance parcourue par celui-ci. Cette atténuation est de type exponentiel.

Elle dépend :

- de la fréquence d'émission : la pénétration diminue lorsque la fréquence augmente, du fait de l'accentuation concomitante des phénomènes de réflexion,
- du milieu de propagation : le coefficient d'absorption est maximal pour les milieux à très faible ou très forte cohésion moléculaire (cas de l'air ou de l'os) [Mai, 1994].

2. Résolution de l'image échographique

La résolution correspond à la capacité du transducteur à distinguer deux points très proches.

Il existe deux types de résolutions : la résolution axiale et la résolution latérale.

La résolution axiale correspond à la capacité à distinguer deux structures dans l'axe principal de propagation des ultrasons. Elle est fonction de la longueur d'onde des ultrasons. Elle est meilleure lorsque la longueur d'onde diminue, donc lorsque la fréquence augmente.

La résolution latérale définit la capacité de la sonde à distinguer deux structures non alignées sur l'axe de propagation des ultrasons. La résolution latérale, tout comme la résolution axiale, influence grandement la qualité de l'image obtenue. Elle est fonction de la largeur du faisceau ultrasonore. Plus le faisceau ultrasonore est étroit, plus la résolution latérale est importante et donc meilleure est la qualité de l'image obtenue. La largeur du faisceau ultrasonore dépend de plusieurs paramètres : la taille de la sonde, la fréquence des ultrasons émis et la pénétration des ultrasons dans les tissus. La résolution latérale est meilleure pour les longueurs d'ondes plus faibles donc lorsque la fréquence augmente [Mai, 1994 ; Chetboul *et al.*, 1999].

3. Reglages

L'opérateur a accès à des réglages qui lui permettent d'améliorer la qualité des images obtenues. Ces réglages sont nombreux et variables d'un échographe à l'autre, nous en avons retenu cinq.

* Echelle de profondeur

La variation de la profondeur d'exploration permet de plus ou moins grossir une zone d'intérêt. La profondeur maximale disponible dépend de la fréquence de la sonde utilisée [Chetboul *et al.*, 1999]. La profondeur d'exploration est en général comprise entre 5 et 10 centimètres pour l'échographie des ovaires [Ginther, 1986].

* Focalisation

La focalisation permet d'augmenter la résolution de l'image sur une zone limitée qui intéresse particulièrement le manipulateur [Chetboul *et al.*, 1999].

* Puissance

Le réglage de la puissance ultrasonique émise par la sonde (ou amplification ou gain à l'émission) est responsable de la brillance générale de l'image. Ce paramètre est de l'ordre de 1 à 10 milliwatts/cm² [Ginther, 1986] mais sa valeur n'est pas réglable sur tous les appareils.

*Gain différentiel

Le réglage du gain différentiel consiste à modifier (augmenter ou diminuer) le niveau de réception du signal électronique par zones étagées sur l'image, l'intensité des ultrasons émis restant constante. Ceci est intéressant pour compenser le phénomène d'atténuation de l'énergie ultrasonore constatée pour les échos profonds. Le gain différentiel permet ainsi de renforcer les échos profonds et d'atténuer les échos superficiels de façon à uniformiser l'image. Ce réglage est encore appelé « time gain compensation control » [Chetboul *et al.*, 1999].

* Rejet

Le rejet, equivalent a un filtre, elimine les signaux de faible amplitude a leur reception de facon a obtenir des images moins parasitees [Chetboul *et al.*, 1999].

4. Caracteristiques de l'appareil

Certaines proprietes de l'echographe, non réglables, vont aussi jouer sur la qualite de l'image, et devront guider le praticien dans son choix lors de l'acquisition d'un appareil en fonction de l'usage qu'il souhaite en faire.

* Echelle des gris

L'échelle des gris correspond au nombre de nuances de gris pouvant etre distinguees par l'appareil. C'est un indice de la precision de l'appareil. Ce nombre est indique dans la fiche technique de l'echographe. Sur la plupart des appareils, il y a 256 teintes de gris.

* Frequence de la sonde

Comme nous l'avons vu precedemment, les resolutions axiales et laterales ainsi que la profondeur d'exploration dependent de la frequence de la sonde.

Une étude d'O.J. Ginther [Ginther, 1986] montre que :

- une sonde de 3,5 MHz distingue a peine les structures de 5 mm et ne detecte pas celle de 2 mm. En revanche, elle donne une image precise a 8 cm de profondeur.
- une sonde de 5 MHz distingue clairement les structures de 5 mm et a peine celle de 2 mm. Elle donne une image precise a 4 cm de profondeur.
- une sonde de 7,5 MHz distingue bien les structures de 2 mm.

En general, une sonde de 5 ou 7,5 MHz est utilisee en gynecologie equine [Ginther, 1986 ; Blanchard *et al.*, 1998].

5. Les artefacts

Nous ne decrirons ici que les artefacts rencontres en gynecologie equine. Les artefacts peuvent etre definis comme des images construites ne correspondant pas a la realite physique. Ils peuvent etre classes en artefacts utiles et en artefacts nuisibles [Mai, 1994].

*** Les artefacts nuisibles***** Reverberation**

C'est l'artefact le plus frequent. Lorsque les echos rencontrent une interface tres reflechissante (tissu mou/air par exemple), ils sont presque tous reflechis. Ceci peut se produire avec une structure digestive remplie de gaz, ou de maniere artificielle, lorsque le contact sondemuqueuse rectale est insuffisant et que l'air s'insinue dans cet espace. Les ultrasons effectuent des allers-retours entre la sonde et l'interface reflechissante : l'image obtenue est constituee de lignes echogenes paralleles dont seule la premiere correspond reellement a la surface echogene, les autres etant des echos issus de la reverberation (cf. fig. 16) [Mai, 1994 ; Reef, 1998b].

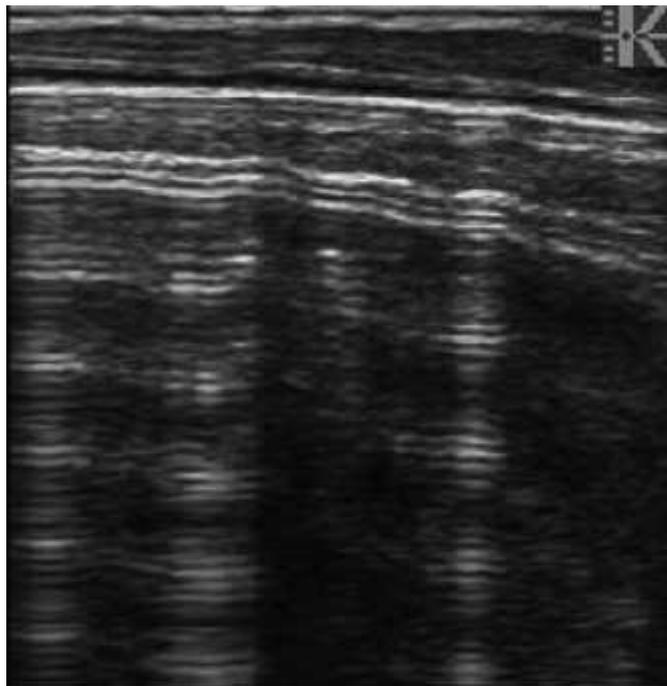


Figure 16 : Echographie transrectale ou le contact sonde-muqueuse rectale est insuffisant : les echos paralleles sont dus a des reflexions multiples entre la sonde et l'air.

*** Interferences**

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.

*** Les artefacts utiles***** 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 hyperechogènes par rapport aux tissus adjacents non précédés de liquides. Ces artefacts 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 hypoechogène (non suivie d'un renforcement postérieur).

De telles images peuvent être rencontrées lors d'échographie de kystes ou de follicules ovariens de gros diamètre (cf. fig. 17) [Ginther, 1986 ; Mai, 1994].

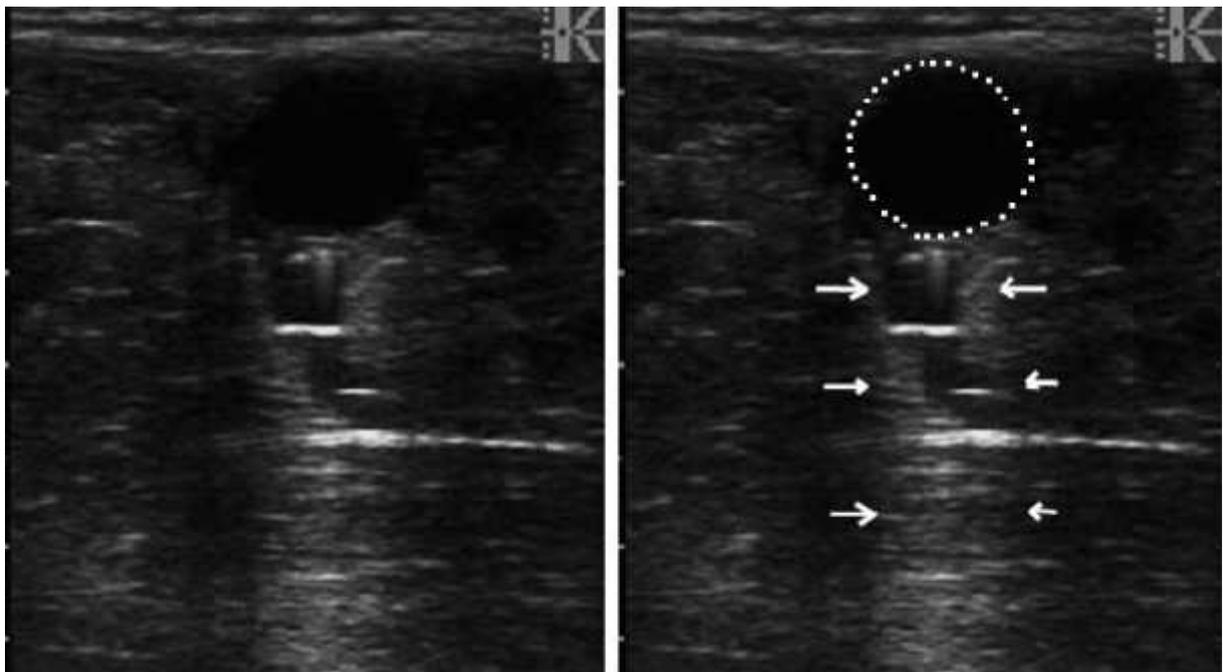


Figure 17 : Echographie transrectale d'un ovaire de jument. Un phénomène de renforcement

postérieur des échos (flèches) se produit au-delà de l'image du follicule (qui est rempli de liquide antral).

*** Cone 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 : c'est le cône d'ombre acoustique.

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 ; Reef, 1998b].

2. Matériel

a. Les sondes = transducteurs

La sonde contient un ou plusieurs cristaux piezo-électriques émetteurs d'ultrasons (pendant 1% du temps) et récepteurs d'échos (pendant 99% du temps). Comme nous l'avons vu précédemment, les sondes généralement utilisées pour l'examen de l'appareil génital de la jument sont des sondes linéaires à balayage électronique de 5 à 7,5 MHz. Ces sondes sont faciles à introduire et à manipuler dans le rectum de la jument et elles ont une forme relativement atraumatique [Ginther, 1986].

b. L'échographe

À partir des impulsions électriques fournies par la sonde, après réception des échos, l'échographe reconstruit l'image ultrasonore de la coupe de l'objet ainsi effectuée [Mai, 1994].

En pratique vétérinaire équine itinérante, il est intéressant d'avoir un échographe facilement transportable avec poignée et pouvant fonctionner sur batterie [Ginther, 1986].

Lors du suivi folliculaire d'une jument pour insemination, il est utile d'avoir un appareil dote d'un systeme d'enregistrement d'images et d'un systeme de mesure precis.

D'une maniere generale, il faut pouvoir estimer la qualite de l'image lors du choix de l'appareil. D'apres Ginther (1986), un bon moyen de tester la qualite d'un echographe est de suivre l'evolution d'un corps jaune de jument : il doit etre visible de facon nette pendant 10 jours avec un bon appareil.

E.Deroulement de l'examen echographique

1. Precautions a prendre

Afin de realiser l'examen dans les meilleures conditions, la jument est positionnee dans un travail comportant une porte arriere protegeant l'examineur. Si la jument a examiner est suitee, son poulain sera proche d'elle pendant l'examen (place dans un « piege a poulain », sorte de stalle situee a la tete de la jument ou laisse libre dans la salle d'examen) [Sertich, 1998 ; Ginther, 1986].

a.Pour la jument

La queue de la jument peut etre tondu proximatement et lateralement ou placee dans un gant de palpation ou encore bandee puis attachee en l'air a l'aide d'une cordelette fixee a une barre du travail. Ceci est effectue afin de ne pas introduire de crins, qui sont tres traumatisants (cisaillement), dans le rectum [Sertich, 1998 ; Tibary *et al.*, 1994a].

Le gant de l'examineur doit etre correctement lubrifie avec un gel destine a cet usage. Afin de ne pas risquer de provoquer une perforation rectale, qui aurait des consequences desastreuses, l'examineur doit tout d'abord vidanger le rectum de la jument car les crottins genent la progression de la sonde. Ensuite, il introduit la sonde recouverte de sa main et la fait progresser delicatement, sans forcer les ondes peristaltiques, ni les anneaux de contraction qui peuvent apparaitre lorsque la jument hennit. Eventuellement, en cas de grande difficulte, une anesthesie epidurale basse permet d'obtenir un relachement de la paroi rectale [Sertich, 1998 ; Ginther, 1986].

b. Pour l'examineur***. Contention physique**

La jument, placée dans un travail est tenue à la tête par son propriétaire ou un aide. Si la jument supporte mal l'examen, un tord-nez ou encore des entraves pour protéger l'examineur d'éventuels coups de pieds peuvent être utilisés [Sertich, 1998 ; Ginther, 1986].

***. Contention chimique**

Le recours à la sédation est rarement nécessaire. Cependant, elle peut être utile pour les juments particulièrement anxieuses. L'utilisation chez la jument non gravide d'un α -2-agoniste (par exemple xylazine 0,6 mg/kg) associée à l'acepromazine (0,02 mg/kg) par voie intraveineuse permet la relaxation de l'animal. Dans tous les cas, la contention physique doit être associée à la contention chimique [Sertich, 1998 ; Tibary *et al.*, 1994a].

2. Anatomie et repérage des ovaires***a. Anatomie***

Structurellement, l'ovaire de jument est original. 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.

En comparaison avec les autres espèces, la structure est donc inversée (*cf. fig. 18*) [Sertich, 1998 ; Ginther, 1986 ; Barone, 1978].

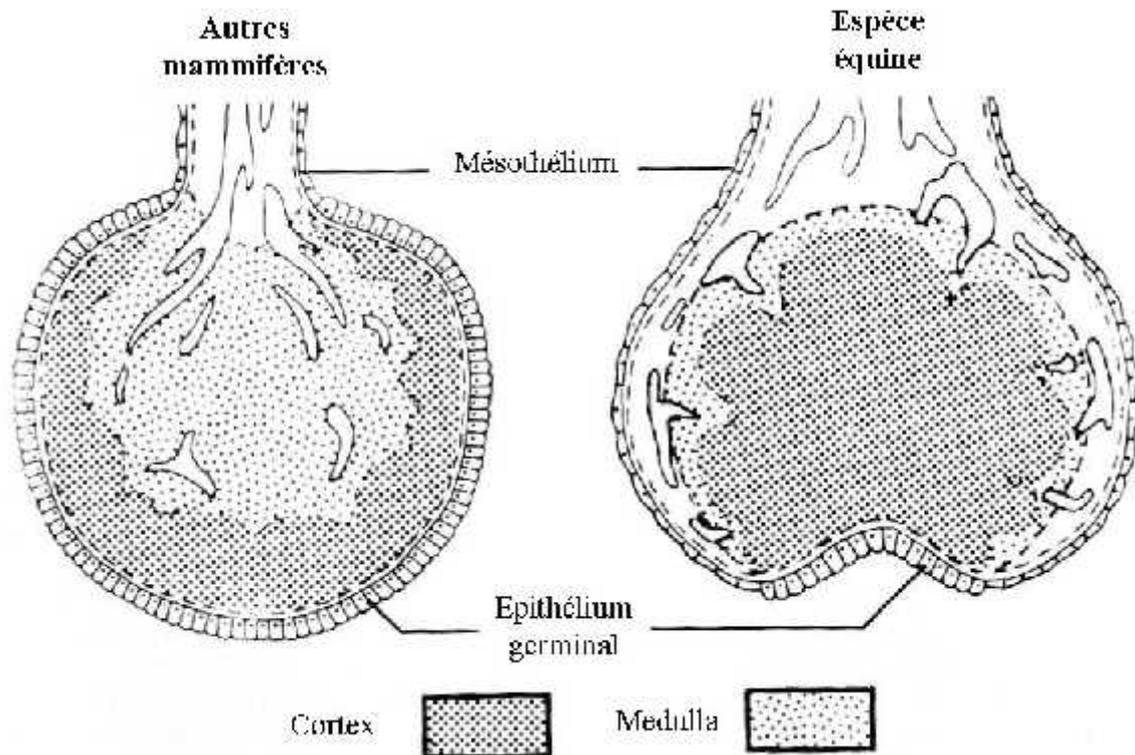


Figure 18 : Disposition originale schématique de la medulla et du cortex chez la jument et chez les autres animaux de rente [Ginther, 1992]

L'ovaire de jument est volumineux (en moyenne 60*35*30 mm), il est en forme de haricot. La conformation est caractéristique de l'espèce. L'ovaire comporte une encoche profonde ventrocraniale sur son bord libre : c'est la fosse d'ovulation. A l'exception de cette fosse, l'ovaire est recouvert de péritoine. Le bord mesovarique, dorso-caudal, est régulièrement convexe et dépourvu de hile [Barone, 1978 ; Ginther, 1992].

L'ovaire de 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 [Sertich, 1998].

b. Repérage des ovaires

L'appareil génital de la jument a typiquement la forme d'un « Y », dont le corps est composé de l'utérus, du vagin et de la vulve. Les branches correspondent aux cornes utérines et, à l'extrémité de chacune d'elles se situent les ovaires appendus aux ligaments larges dans la cavité abdominale [Blanchard *et al.*, 1998] (cf. fig.19 et fig.20).

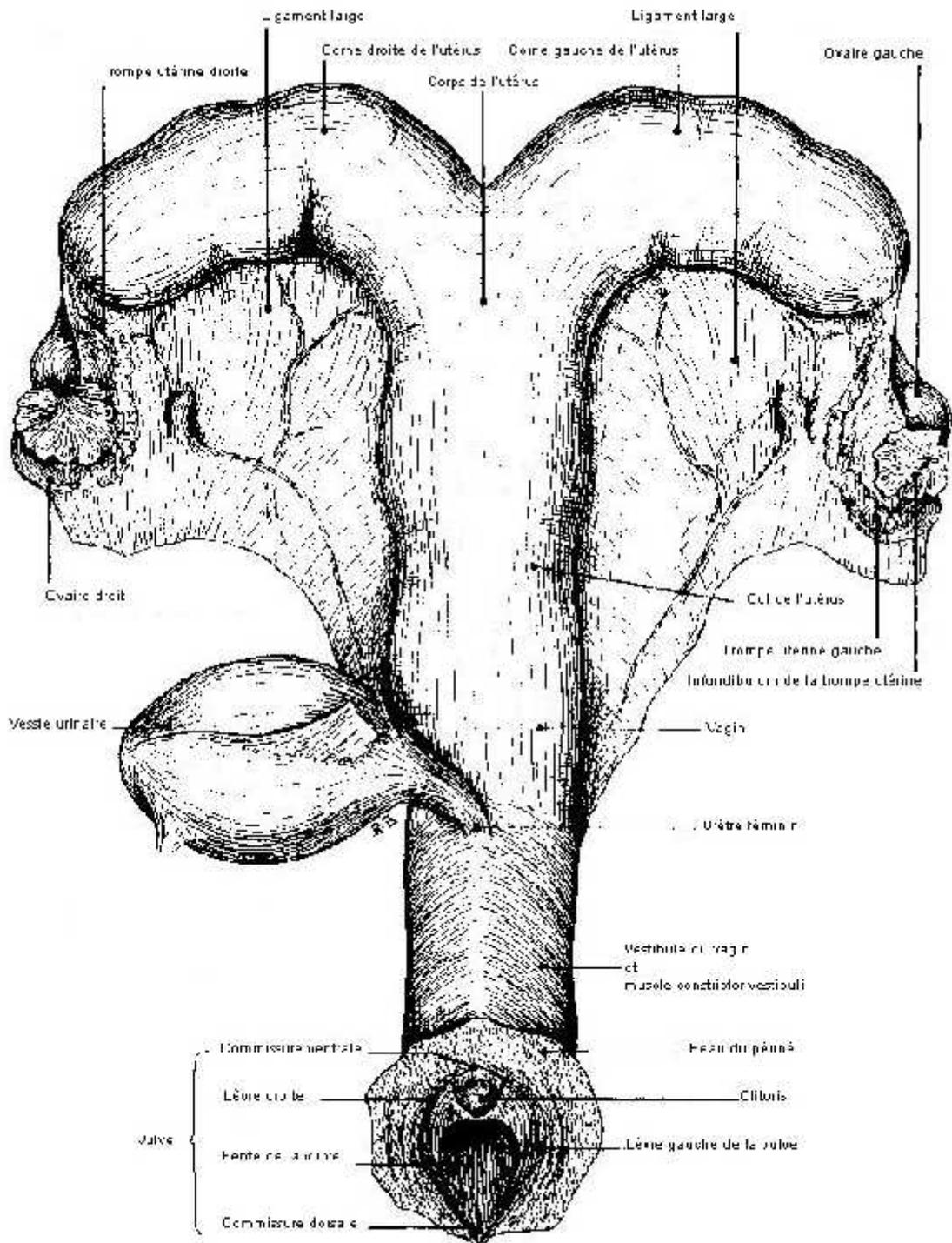


Figure 19 : Anatomie de l'appareil genital d'une jument, vue ventrale apres isolement et etalement [Barone, 1978]

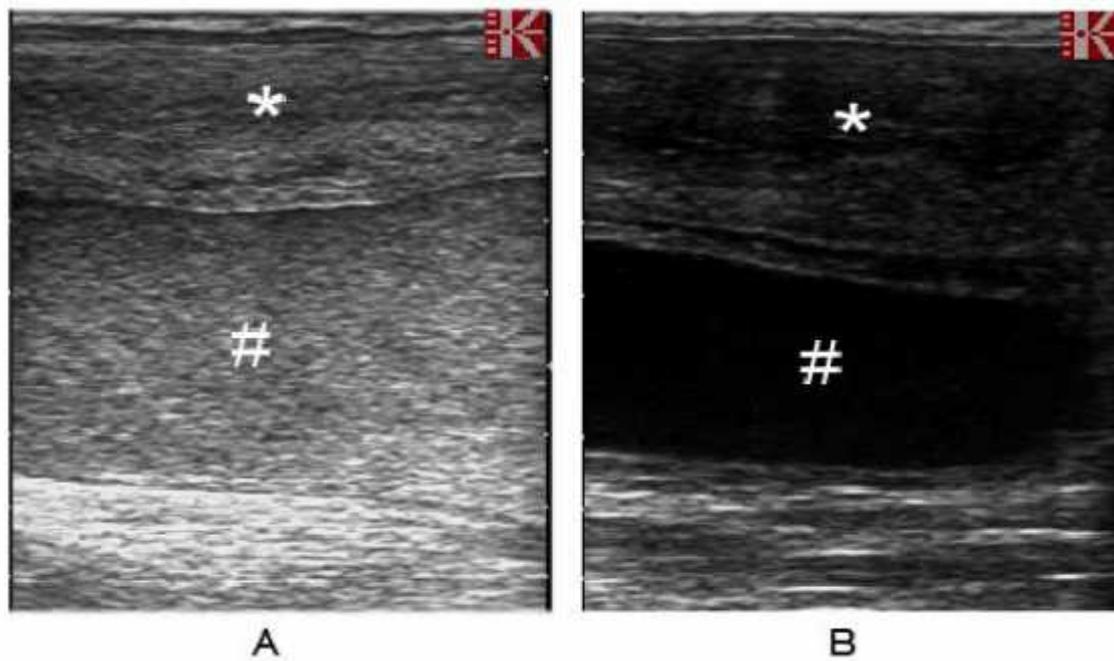


Figure 21 : Coupes échographiques longitudinales d'une partie de l'utérus(*) et de la vessie(#) de juments en dioestrus montrant la diversité de l'échogénicité urinaire dans cette espèce

A : La cellularité de l'urine la rend très échogène ; B : La cellularité de l'urine est faible dans ce cas, ce qui la rend anéchogène.

L'examineur voit alors le corps utérin en coupe longitudinale (cf. fig. 22). Il le suit à l'écran jusqu'à la bifurcation des cornes (cf. fig. 23).

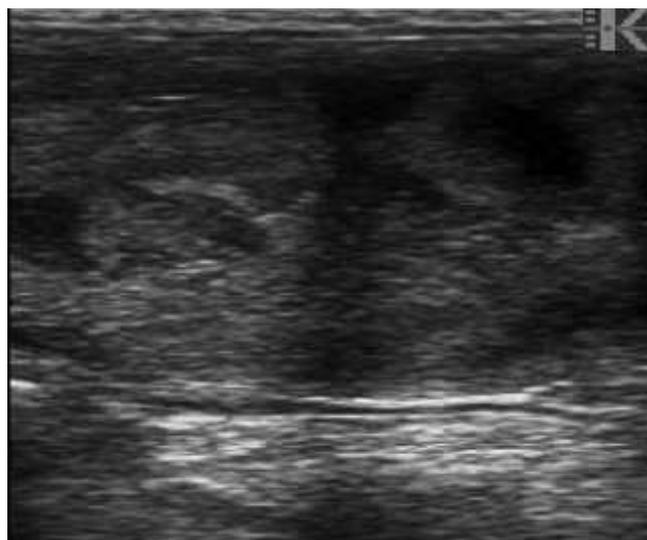


Figure 22 : Coupe échographique longitudinale du corps de l'utérus d'une jument en oestrus

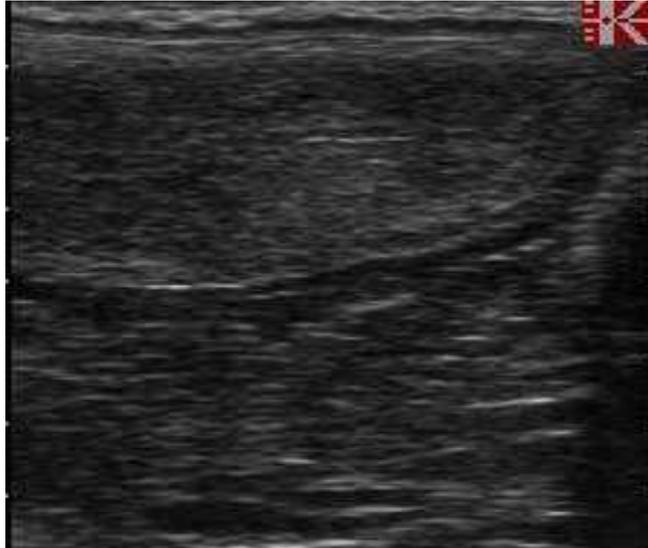


Figure 23 : Coupe echographique longitudinale de l'uterus au niveau de la bifurcation des cornes d'une jument en dioestrus

Le col de l'uterus est vers la gauche de l'image et la bifurcation est a droite.

En continuant la progression dans le rectum, l'image de l'uterus disparaît. A la bifurcation des cornes, l'operateur incline la sonde sur un cote et voit alors une image de corne uterine en coupe transversale (cf. fig. 24). L'examineur fait ensuite subir a la sonde une translation en gardant cette image en coupe transversale jusqu'a parvenir a l'ovaire (cf. fig. 25 et fig. 26) [Blanchard *et al.*, 1998 ; Sertich, 1998 ; Ginther, 1986].

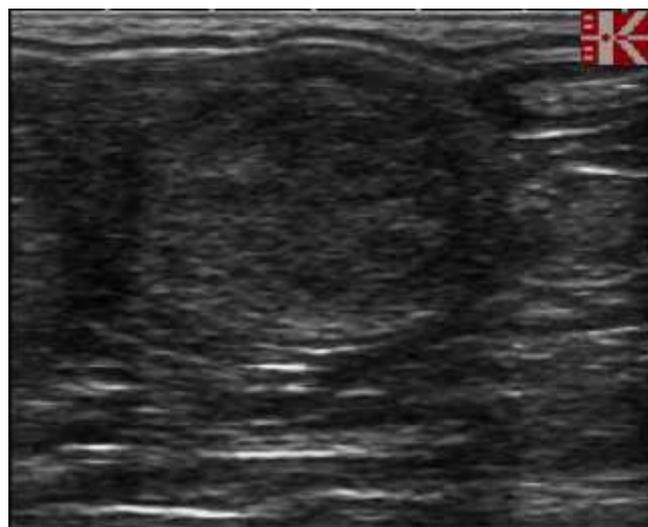


Figure 24 : Coupe echographique transversale d'une corne uterine d'une jument en dioestrus
[

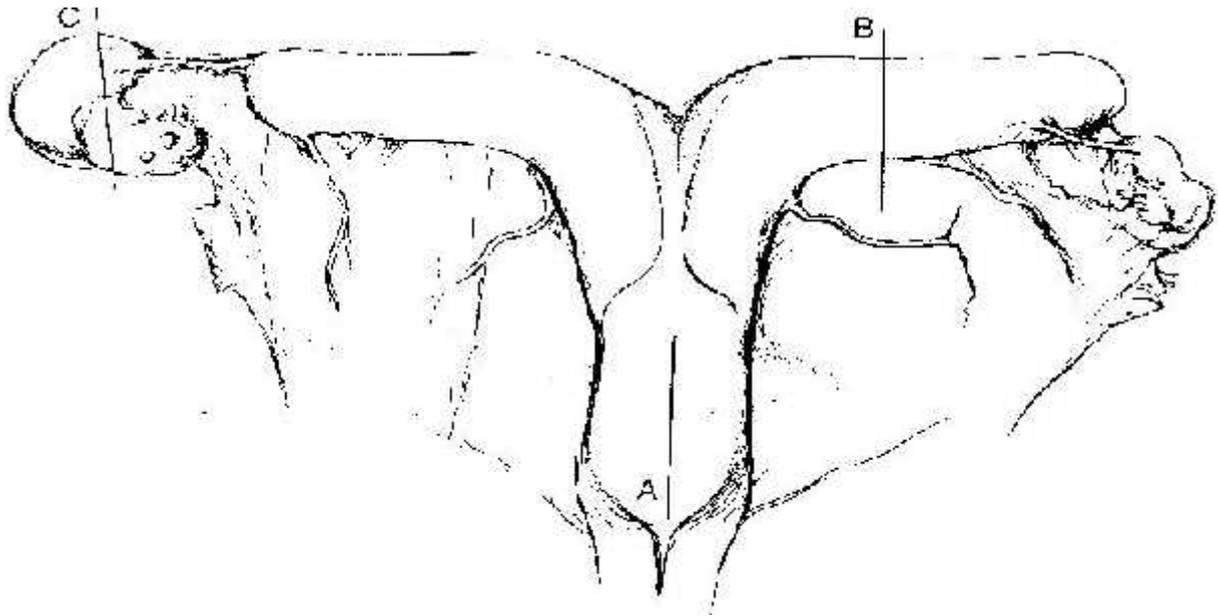


Figure 25 : Diagramme d'orientation habituelle de la sonde lineaire lors de l'examen échographique de l'appareil genital de la jument par voie transrectale [Sertich, 1998]

Les lignes noires représentent l'orientation de la sonde. Lorsque la sonde est positionnée sur le col et le corps de l'utérus (A), une image longitudinale est produite. La corne utérine est généralement vue en section transversale (B), ce qui permet de visualiser le fluide endometrial éventuel. Les coupes de l'ovaire montrent les follicules et les corps jaunes coupés dans différents plans (C)

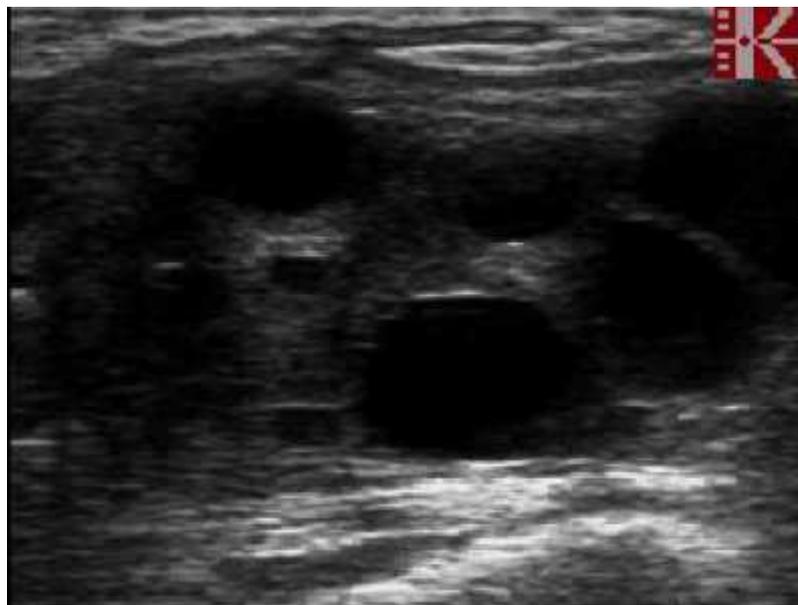


Figure 26 : Image échographique d'une coupe d'ovaire de jument en oestrus
Les structures rondes anéchogènes (noires) sont des follicules, entre eux se situe le stroma ovarien (gris clair)

Lorsque la sonde est parvenue à l'ovaire, l'opérateur effectue un balayage de toute la structure afin de voir ses différents composants (follicules, corps jaune éventuel, stroma ovarien...).

Le stroma ovarien est uniformément échogène (gris clair). Les follicules sont remplis de liquide, de forme relativement ronde et apparaissent anéchogènes à l'échographie (noir) (cf. fig. 26). Les corps jaunes ont un aspect échographique variable que nous détaillerons par la suite : ils sont d'un gris plus ou moins hétérogène [Blanchard *et al.*, 1998].

F. Images échographiques des ovaires de la jument

1. Les follicules

Les follicules ovariens de la jument sont d'excellents objets pour l'échographie puisqu'ils sont de grande taille par rapport à ceux des autres espèces, remplis de liquide et facilement accessibles par voie transrectale. L'échographie est donc une méthode rapide et non invasive pour mesurer et compter les follicules ovariens de la jument. Elle permet de mesurer les follicules de plus de 2 mm de diamètre. Cependant, les erreurs sont inévitables et même un follicule de grande taille peut parfois être omis. L'examen échographique des follicules a de nombreuses applications chez la jument [Ginther, 1986] :

- détermination de l'entrée en saison de reproduction,
- estimation du moment du cycle oestral,
- prédiction de l'imminence de l'ovulation,
- détection de la présence de deux follicules préovulatoires sur un même ovaire, difficiles à discerner à la palpation,
- détection d'une non ovulation ou d'oestrus non ovulatoire,
- suivi des petits follicules pour juger d'une stérilité ou d'une sénescence,
- évaluation de la possibilité de réponse à un traitement de stimulation folliculaire,
- observation du résultat des traitements stimulateurs qui ont été faits.

La paroi du follicule, bien que très fine, peut parfois être visualisée grâce aux artefacts : les ultrasons arrivant perpendiculairement à une surface

sphérique sont renvoyées de façon plus intense que les ultrasons d'incidence oblique (cf. fig. 27). Deux points très échogènes, un dorsal et un ventral correspondant à des artefacts de paroi sont visibles, le reste de la surface ne l'est pas (cf. fig. 28).

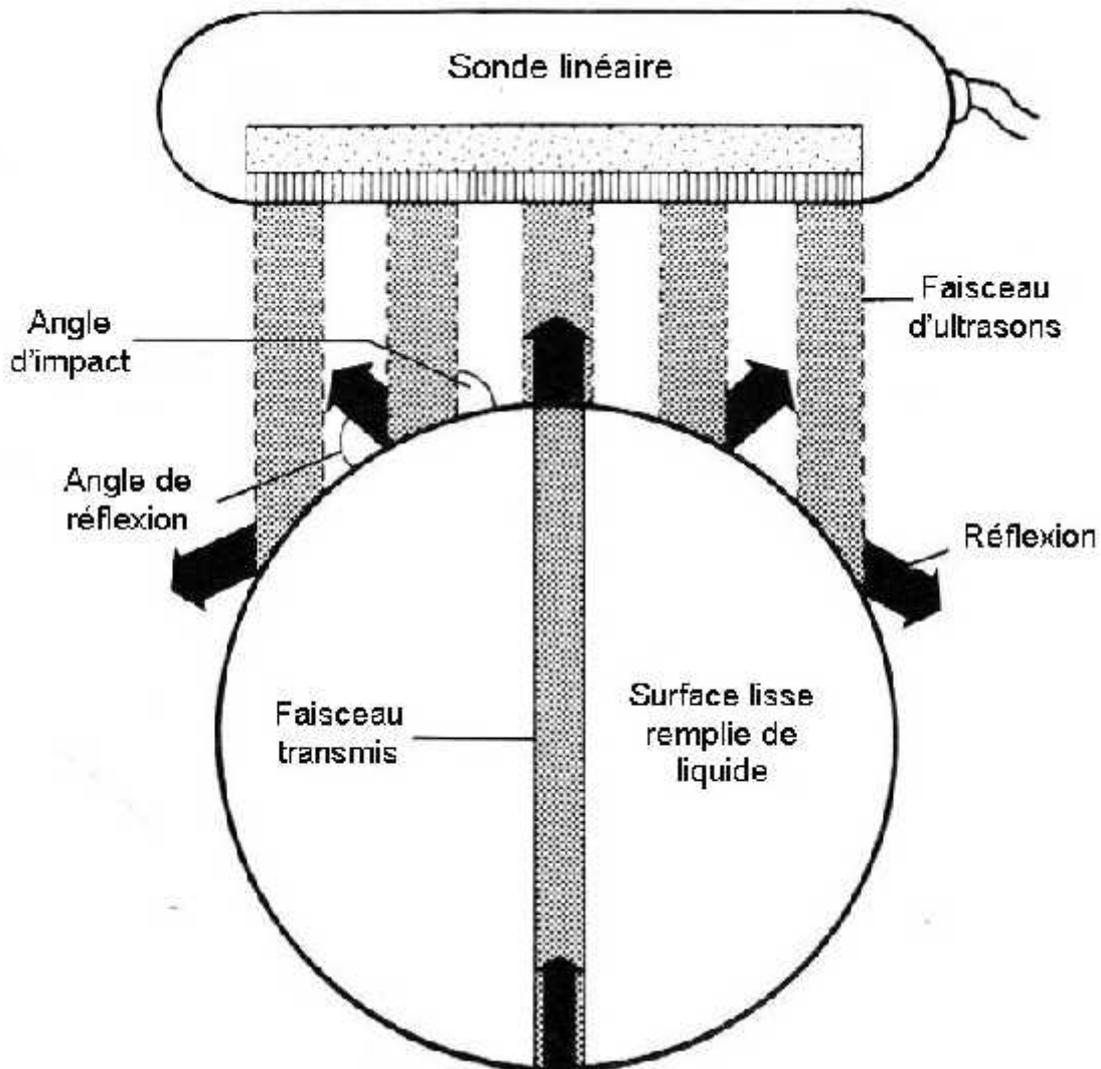


Figure 27 : Relation entre l'angle d'impact d'un ultrason et la réflexion spéculaire [Ginther, 1986].

Les échos qui arrivent perpendiculairement à la surface sphérique (follicule) sont reçus de façon plus intense que les autres : leur image à l'écran est plus échogène

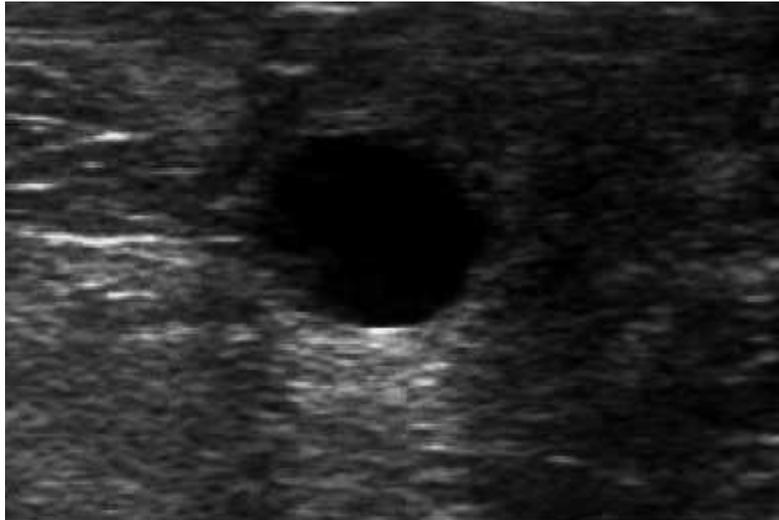


Figure 28 : Image d'un follicule ovarien de 20 mm montrant un écho spéculaire en bas de l'image [Image personnelle]

a. Suivi de la folliculogénèse par échographie

Un follicule en croissance grandit à raison de 3 mm par jour en moyenne alors qu'il régresse deux fois moins vite [Daels and Hugues, 1993a].

1. Profils du nombre de follicules de différentes tailles entre deux ovulations:

Les follicules de 2 à 5 mm commencent à croître juste après ovulation. À partir du milieu du cycle oestral, le nombre de follicules d'un diamètre supérieur à 20 mm augmente tandis que le nombre de follicules de 2 à 5 mm diminue. Le nombre de follicules de grande taille (>16 mm) diminue avant ovulation (cf. fig. 29) (Pierson et Ginther, cités par Ginther, 1986). La connaissance

de cette dynamique folliculaire permet de déterminer le moment du cycle de la jument (oestrus ou dioestrus) par le suivi échographique de la taille des follicules d'une jument pendant plusieurs jours.

De même, elle permet de déterminer si la jument est entrée ou non en période de reproduction [Palmer, 1987 ; Ginther, 1986].

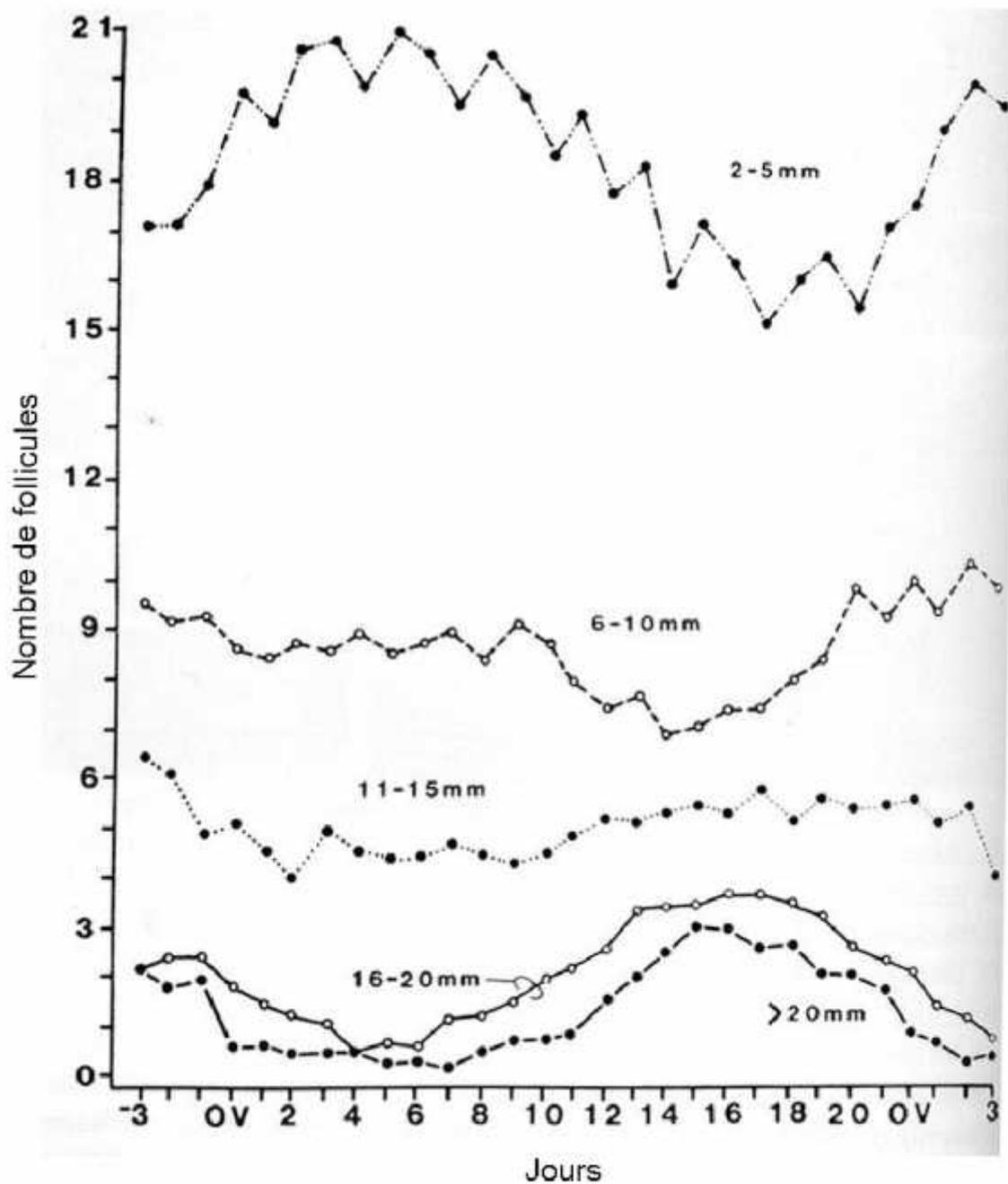


Figure 29 : Profil du nombre de follicules de différentes tailles entre deux ovulations chez la jument[Ginther, 1986]

2. Effets du mois sur la taille des follicules observés

par échographie. En saison de reproduction, l'activité folliculaire est supérieure en première partie de saison (de mai à juillet) à ce qu'elle est en fin de saison (d'août à octobre). Le nombre de follicules de différentes tailles sur chaque ovaire est plus important en début qu'en fin de saison de reproduction [Ginther, 1992 ; Blanchard *et al.*, 1998]. En fin de période ovulatoire, le dernier follicule a une croissance importante et n'ovulera pas : la jument entre en période d'anoestrus [Ginther, 1992].

Hors saison de reproduction, la période de recession (mi-octobre à fin décembre) est

caractérisée par la non-ovulation des follicules de gros diamètre et leur luteinisation.

Le diamètre maximal du plus gros follicule présent diminue progressivement. Seuls des follicules de moins de 30 mm de diamètre sont présents. La phase inactive (janvier et février) est caractérisée par la présence majoritaire de follicules de moins de 20 mm de diamètre (70%) et de quelques follicules de diamètre compris entre 20 et 30 mm (30%). Enfin, la période de resurgence (mars à début mai) est caractérisée par une augmentation du nombre des follicules de plus de 30 mm associée à une diminution du nombre des follicules de moins de 30 mm (*cf.* fig. 30) [Ginther, 1992].

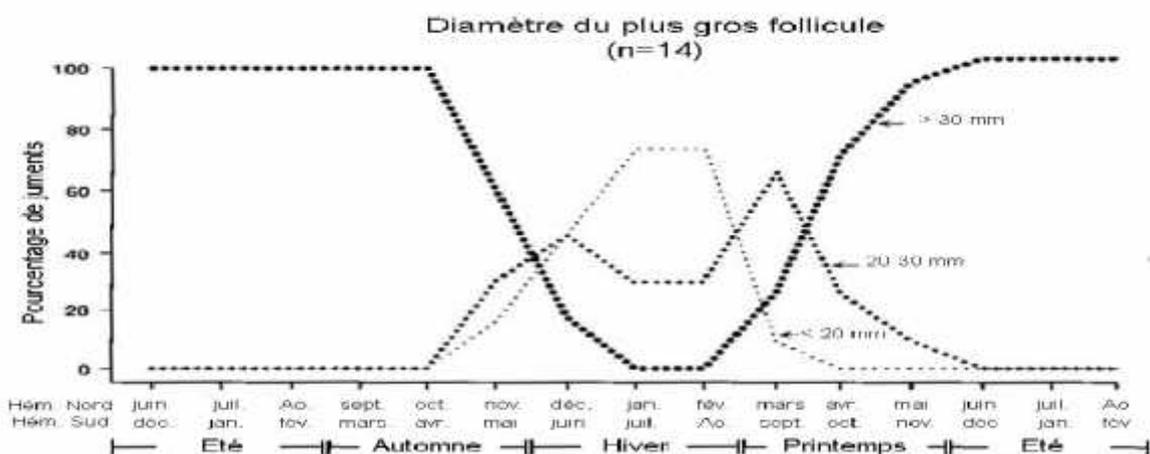


Figure 30 : Evolution de la population folliculaire au cours de l'année : pourcentage de juments (sur un effectif de 14 juments) pour lesquelles le diamètre du plus gros follicule était supérieur à 30 mm, de 20 à 30 mm ou inférieur à 20 mm en fonction des mois de l'année [Ginther, 1992]

b. La prédiction de l'imminence de l'ovulation

1. Evolution echographique des diametres moyens du

plus gros follicule et du deuxieme plus gros follicule entre deux ovulations
Ces follicules augmentent de diametre en milieu de cycle, au moment ou tous les follicules de grand diametre croissent. Six jours avant ovulation, au moment de la selection, le diametre du deuxieme plus gros follicule decroit tandis que celui du plus gros follicule continue sa croissance (cf. fig. 31). Ce phenomene peut etre utilise pour tenter de mieux predire l'imminence de l'ovulation et donc, le moment optimal de la saillie [Ginther, 1992].

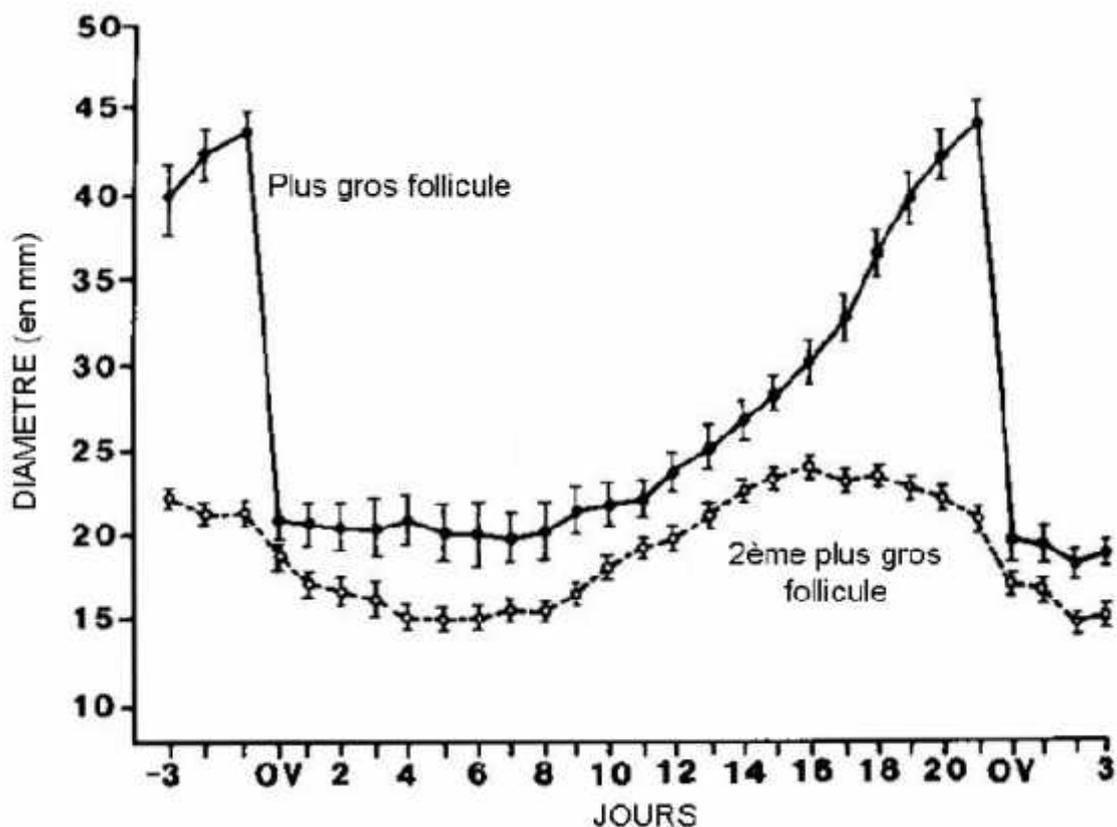


Figure 31 : Diametres moyens mesures par echographie transrectale du plus gros follicule et du deuxieme plus gros follicule entre deux ovulations [Ginther, 1986]

2. Effets du mois sur le diametre du follicule

preovulatoire Le diametre du plus gros follicule le jour precedant l'ovulation est plus important lors de la premiere ovulation que lors des ovulations ulterieures de la saison. L'evolution du diametre du follicule preovulatoire au

cours de la saison est presentee en figure 32 [Ginther, 1990 ; Ginther, 1992 ; Daels et Hugues, 1993a ; Blanchard *et al.*, 1998]. En fin de saison de reproduction, il n'est pas rare de voir ovuler des follicules de moins de 35 mm de diametre [Daels et Hugues, 1993a].

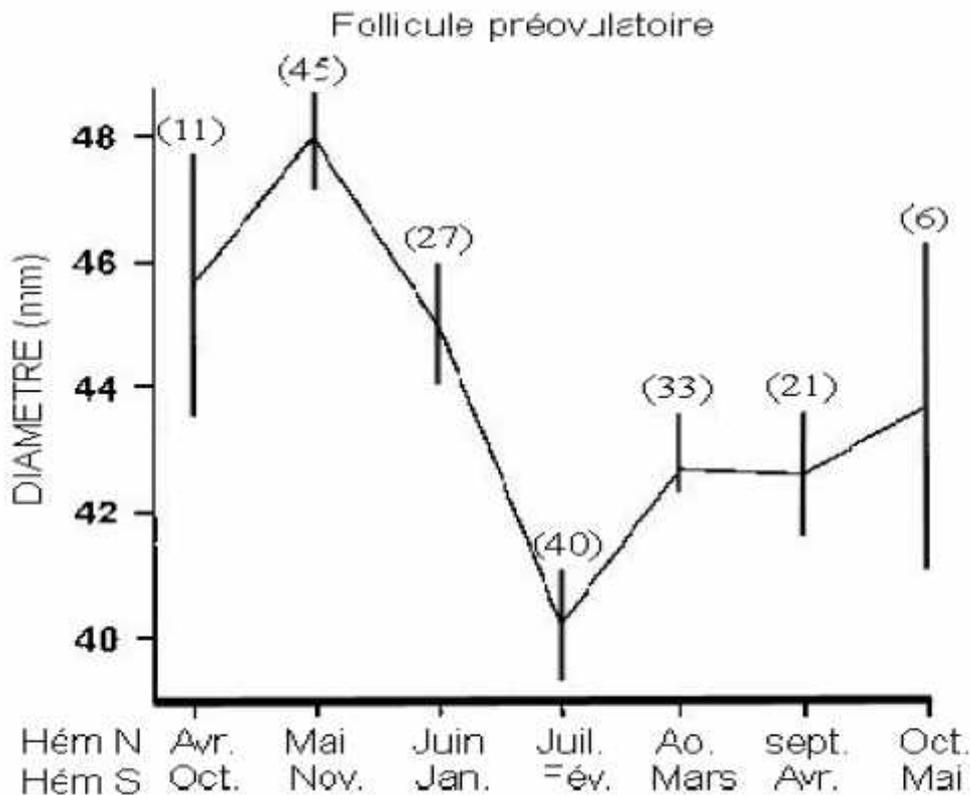


Figure 32 : Moyennes (sem) des diametres des follicules preovulatoires le jour precedant l'ovulation d'avril a octobre. [Ginther et Pierson, 1989].

Le nombre d'observations est note entre parentheses en haut de chaque barre representant l'erreur standard de la moyenne.

Les diametres sont significativement plus grands au mois de mai qu'aux mois de juin, juillet, aout et septembre.

3. Observation echographique des follicules

preovulatoires Nous avons vu precedemment que des changements affectaient le follicule preovulatoire (taille, forme, epaisseur de paroi folliculaire). Ces changements ne sont pas constamment observes et ne permettent pas de predire le moment de l'ovulation a 48 heures pres. Mais la conjonction des differents elements observables a l'echographie permet de

mieux prédire la survenue de l'ovulation que la simple palpation [Ginther, 1986 ; Boivin et Leport, 1977 ; Gastal *et al.*, 1998].

La taille du follicule preovulatoire est en moyenne de 45 mm. Cependant, cette taille est plus faible pour les doubles follicules preovulatoires unilatéraux (35 mm en moyenne) ou bilatéraux (40 mm en moyenne) [Ginther, 1986 ; Pierson, 1993 ; Blanchard *et al.*, 1998] (*cf.* fig. 33).

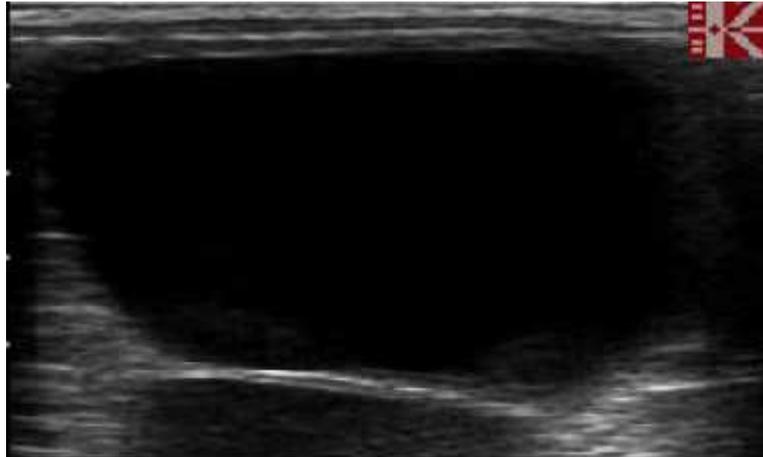


Figure 33 : Image échographique d'un follicule preovulatoire (J-1) de 55 mm de diamètre (moyenne de la hauteur et de la largeur).

La taille du follicule preovulatoire apparaît comme étant tout aussi utile à la prédiction du moment de l'ovulation que les autres critères [Ginther, 1986]

Le changement de forme du follicule preovulatoire affecte 85% des follicules dans les 12 heures précédant l'ovulation (*cf.* fig. 34). Cependant, certaines études ont montré un changement de forme jusqu'à trois jours avant ovulation [Gastal *et al.*, 1998].

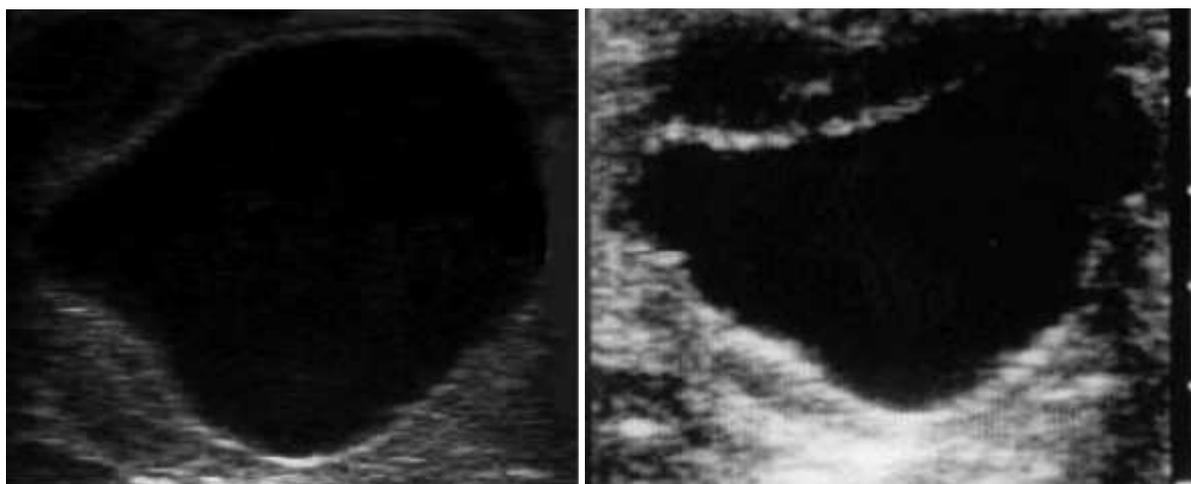


Figure 34 : Images échographiques de deux follicules preovulatoires en forme de poire

Image de gauche : follicule de 49 mm de diamètre la veille du constat de l'ovulation

Image de droite : follicule de 45 mm de diamètre 5 heures avant constat de l'ovulation

[Professeur Tainturier, ENVN]

Enfin, l'épaisseur de la paroi folliculaire augmente de J-6 à J-2 alors que le follicule continue de croître en diamètre jusqu'à J-1 [Ginther, 1986]. On dit que le follicule est «*borde*» lorsque sa paroi apparaît épaisse et bien délimitée (cf. fig. 35). Ce signe n'est cependant pas constant, ni précis pour prédire le moment de l'ovulation [Gastal *et al.*, 1998 ; Ginther, 1986].

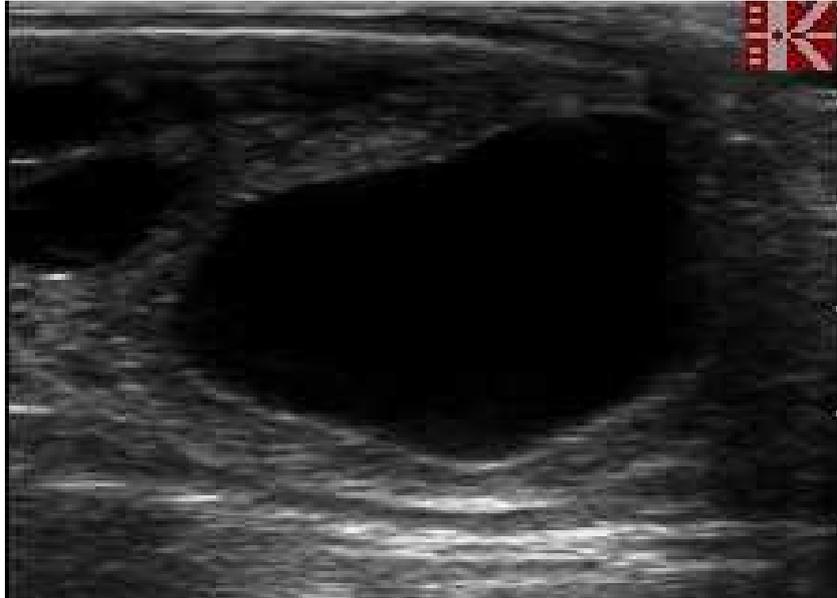


Figure 35 : Image échographique d'un follicule préovulatoire (J-1) de 36 mm de diamètre dit «*borde*»

c.L'ovulation

L'ovulation d'un follicule est un phénomène rarement observé puisqu'il se produit en 5 secondes à 7 minutes (en moyenne 2 minutes) [Tibary *et al.*, 1994a]. Le follicule qui ovule passe d'une apparence échographique majoritairement anéchogène à une échogénicité homogène, avec un centre anéchogène représentant le liquide folliculaire qui disparaît [Blanchard *et al.*, 1998]. En quelques minutes, le follicule prend l'apparence échographique d'un corps jaune (cf. fig. 36) [Ginther, 1986].

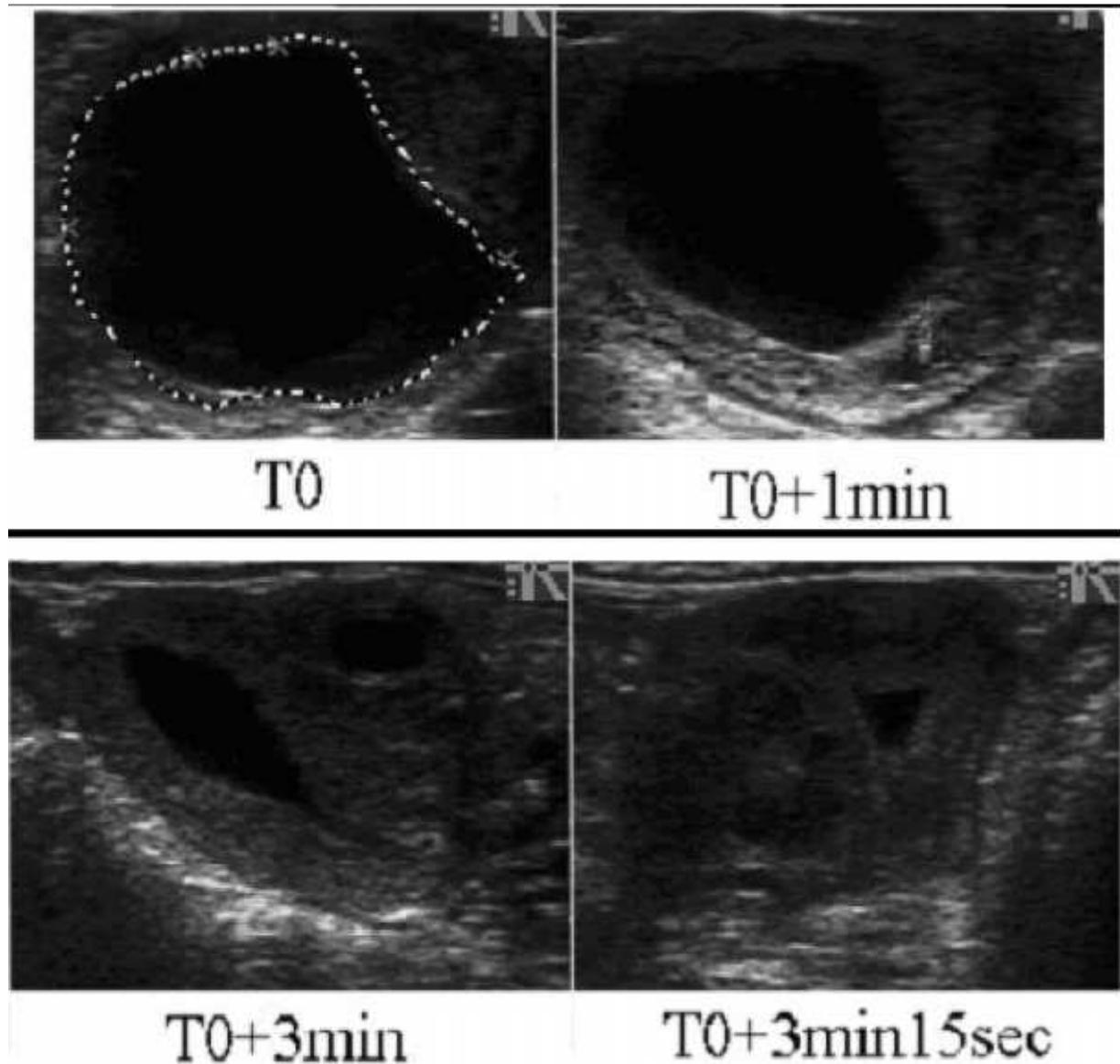


Figure 36 :Images échographiques d'une ovulation d'un follicule de 42 mm de diamètre. En 4 minutes, le follicule a pris l'aspect échographique d'un corps jaune [Images personnelles]

2. Le corps jaune

a. Apparences échographiques des corps jaunes chez la jument

Il existe chez la jument, deux types morphologiques de corps jaunes murs : l'un « plein » et l'autre « cavitaire » qui succèdent tous les deux au stade de corps jaune hémorragique postovulatoire (premier jour du cycle, voir

partie 1). Ces trois types de corps jaunes ont une apparence échographique différente (cf. fig. 37) [Ginther, 1986].

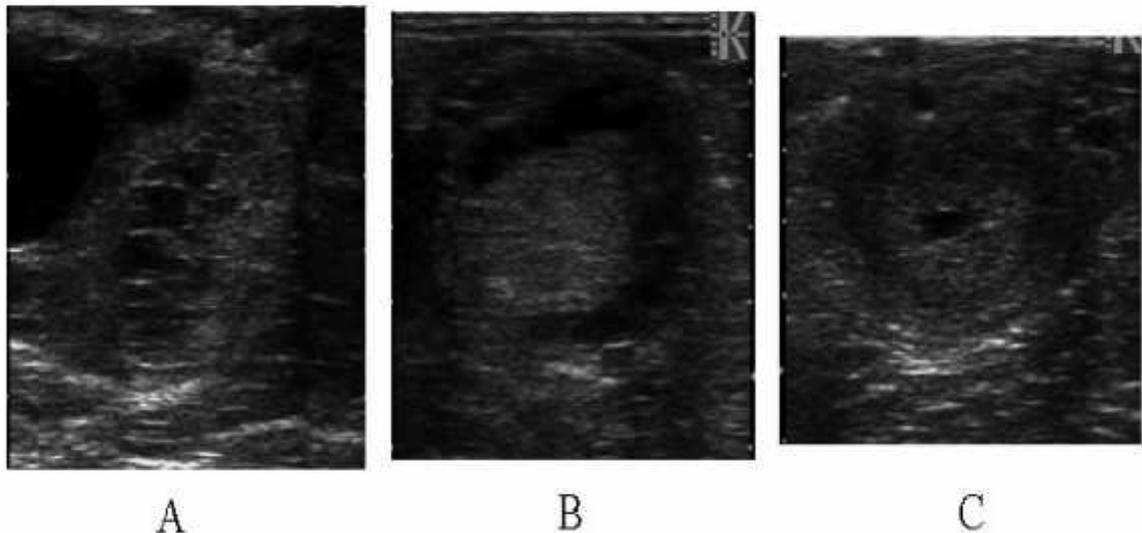


Figure 37 : Images échographiques d'un corps jaune hémorragique (A), d'un corps jaune plein (B) et d'un corps jaune cavitaire (C)

Le corps jaune hémorragique est hétérogène car constitué à 55% de tissu lutéal (échogène) et de 45% de sang (noir)

Le corps jaune plein est homogène et constitué uniquement de tissu lutéal (échogène)

Le corps jaune cavitaire est homogène (échogène) avec une cavité liquidienne (anéchoïque) en son centre

b. Applications de la détection des corps jaunes par échographie

*** Détermination de l'entrée de la jument en saison de reproduction**

La taille du plus gros follicule le jour de la disparition du corps jaune à l'échographie peut être utilisée pour faire la distinction entre une jument cyclée avec un corps jaune non détectable à l'échographie et une jument entrée en saison anovulatoire (cf. fig. 38). Ainsi, lorsque le plus gros follicule est inférieur ou égal à 20 mm et qu'aucun corps jaune n'est visualisé à l'échographie, la jument est considérée comme anovulatoire. En effet, le plus gros follicule était toujours d'un diamètre supérieur à 20 mm le jour de la disparition du corps jaune à l'échographie sur les 59 juments cyclées d'une étude de Ginther (1986). Lorsque la taille du plus gros follicule augmente, cette approche devient moins fiable pour faire la distinction entre les deux états. Par ailleurs, le nombre de jours séparant la disparition du corps jaune à l'échographie de l'ovulation diminue quand la taille du plus gros follicule présent ce jour augmente. En revanche, si l'ovulation ne

survient pas dans le nombre de jours envisagés, la jument est en phase anovulatoire. Une autre méthode consiste à reexaminer la jument 10 jours après. Si elle est cyclée, un corps jaune sera observé. L'intervalle minimal entre une ovulation et la disparition du corps jaune était de 10 jours dans cette étude (cf. fig. 38) [Ginther, 1986 ; Blanchard *et al.*, 1998].

	Diamètre (mm) du plus gros follicule le jour de la disparition du corps jaune à l'échographie							
	≤20	21-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	≥50
Nb. de juments	0	7	8	18	10	9	6	1
% par groupe	0%	12%	14%	30%	17%	15%	10%	2%
% accumulé	0%	12%	26%	56%	73%	80%	98%	100%
Nb. de jours précédant l'ovulation								
Moyenne	--	8	7	5	4	3	3	2
Ecart	--	7-10	6-10	1-9	1-7	1-7	1-5	--

Figure 38 : Tailles du plus gros follicule présent le jour de la disparition du corps jaune à l'échographie pendant le cycle oestral [Ginther, 1986]

* Détection des corps jaunes persistants

La persistance luteale chez la jument est aussi appelée pseudogestation. Elle est caractérisée par une persistance morphologique et fonctionnelle d'un corps jaune, une absence d'oestrus pendant deux mois environ, un utérus turgescent, un col rigide et ferme, des muqueuses vaginales et cervicales sèches associées à une croissance folliculaire importante [Niswender et Nett, 1993 ; Ginther, 1986].

La plupart du temps, la persistance luteale est associée à une mortalité embryonnaire précoce [Niswender et Nett, 1993 ; Ginther, 1986]. Cependant, elle peut être rencontrée chez des juments non mises à la reproduction [Niswender et Nett, 1993]. La détection d'une persistance luteale peut facilement être réalisée par échographie. La présence d'un corps jaune mur

persistant, associe a une absence de vesicule embryonnaire et a un nombre eleve de follicules en croissance est alors observee. L'echographie est alors diagnostique et permet par la suite d'objectiver la regression luteale induite par les prostaglandines administrees pour traitement [Ginther, 1986].

* **Estimation du jour du cycle**

Ginther (1986) a montre que l'echogenicite du tissu luteal peut etre utilisee pour estimer l'age du corps jaune visualise. Ainsi, l'echogenicite est elevee durant la phase precoce de developpement du corps jaune (premiers jours suivant l'ovulation) et en phase de regression(derniers jours de presence du corps jaune). Les premiers jours peuvent etre distingues des derniers par la taille du corps jaune. Ces constats ne sont cependant pas toujours applicables. En effet, dans une etude de Pierson et Ginther en 1985, sur 55 corps jaunes etudies, 12% n'etaient pas hyperechogenes en phase precoce de developpement et 36% n'etaient pas hyperechogenes en phase de regression.

Par ailleurs, l'etude de la morphologie des differents corps jaunes de la jument [Pierson et Ginther, 1985] indique que 50% des corps jaunes developpent une cavite hemorragique. Le rapport de la taille de cette cavite a celle du tissu luteal ainsi que l'organisation tissulaire de la cavite peuvent etre utilises pour dater le corps jaune. En effet, la cavite hemorragique se developpe pendant les premiers jours, puis le tissu qui la compose s'organise, et la cavite regresse. L'aspect echographique du corps jaune est donc une aide pour l'estimation du jour du cycle mais ne permet pas a elle seule un diagnostic precis [Ginther, 1986].

3. Les images anormales

L'echographie est un moyen simple et tres utile pour detecter les anomalies ovariennes de la jument. Elle permet non seulement la detection mais le plus souvent elle permet d'etablir un diagnostic de la nature de l'anomalie [McKinnon *et al.*, 1993].

a.Follicules anovulatoires hémorragiques

Les follicules anovulatoires hemorragiques sont le resultat d'une croissance anormalement importante d'un follicule preovulatoire (jusqu'a 70-100 mm) :

celui-ci n'ovule pas et se remplit de sang puis regresse lentement [McKinnon *et al.*, 1993]. L'hématome qui en résulte peut occasionnellement devenir extrêmement important (10 à 30 cm) [Blanchard *et al.*, 1998]. L'image échographique de cette anomalie est à différencier de celle d'un corps jaune hémorragique. Le sang présent au sein du follicule hémorragique est échogène alors que la cavité d'un corps jaune hémorragique est généralement non échogène. De plus, la taille de ces deux éléments diffère : la cavité hémorragique du corps jaune ne dépasse que rarement 35 mm de diamètre alors que le follicule hémorragique est souvent de grande taille [McKinnon *et al.*, 1993] (*cf.* fig. 39). Rarement, une paroi mince complète ou partielle de tissu luteal se développe autour du follicule hémorragique, sans conséquence pour le cycle suivant [McKinnon *et al.*, 1993 ; Ginther, 1986].

Ces follicules anovulatoires hémorragiques pourraient être les « follicules d'automne » décrits par Burkhardt en 1948 comme étant des très gros follicules persistant en octobre ou novembre.

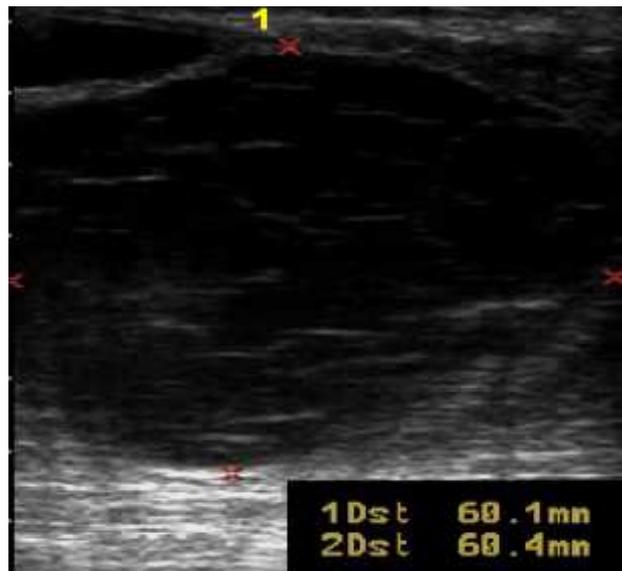


Figure 39 : Image échographique d'un follicule anovulatoire hémorragique de 60 mm de diamètre

On voit les images échogènes des bandes de fibrine formées au sein du caillot de sang.

b. Follicules anovulatoires lutéinisés

Si les périodes d'oestrus anovulatoires sont fréquentes durant l'anoestrus saisonnier, elles sont rares en saison ovulatoire. Hughes *et al.* ont trouvé par

palpation transrectale, une incidence du nombre de follicules anovulatoires de 3,1% chez les Pur-Sang et les Quarter Horse [Hugues *et al.*, 1972]. Ces follicules sont parfois attribués à la sénilité [McKinnon *et al.*, 1993].

En saison de reproduction, des follicules anovulatoires lutéinisés se rencontrent parfois en juin, en juillet mais également tout au long de la saison [Bruyas *et al.*, 1998b].

L'aspect échographique d'un follicule anovulatoire lutéinisé est celui d'un corps jaune atypique avec un contour souvent irrégulier et une paroi folliculaire indicative de la présence d'un tissu lutéal [McKinnon *et al.*, 1993] (*cf.* fig. 40). Cette image est donc à différencier de celle d'un corps jaune normal cavitaire de quelques jours. Pour cela, il est nécessaire de faire un suivi quotidien. En effet, avec un écart de 2-3 jours entre les échographies, le risque de ne pas pouvoir faire cette différence existe (l'examineur ne peut pas dire si la jument a ovulé ou non du follicule qu'il suivait) [Bruyas *et al.*, 1998b]. Il semble toutefois que lors des premiers jours de formation du follicule lutéinisé, son contenu est mobilisable lorsque l'ovaire est agité sous la sonde de l'échographe, alors que le contenu d'un corps jaune cavitaire n'est mobilisable que durant les premières heures [Ginther, 1986].

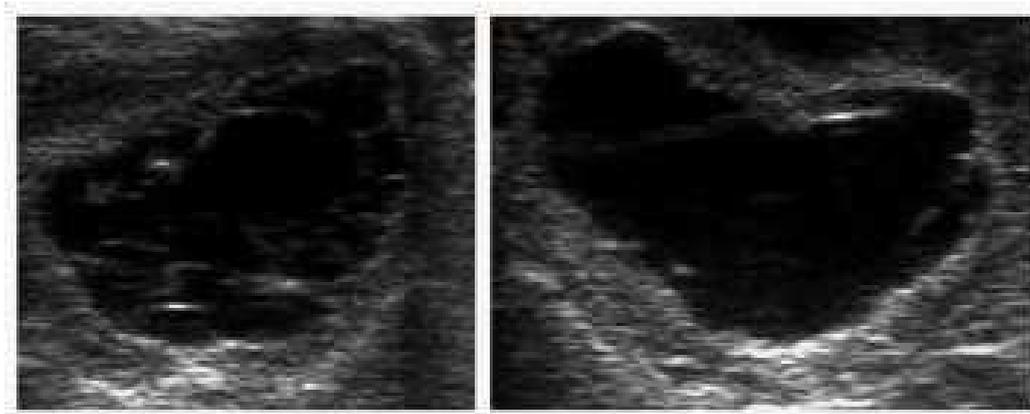


Figure 40 : Images échographiques de deux follicules anovulatoires lutéinisés
Les deux follicules ont un contour très irrégulier avec une paroi épaisse indicative du tissu lutéal.

L'image de gauche montre un follicule 35 mm de diamètre et celle de droite un follicule de 37 mm de diamètre

c. Ovulations multiples

Dans la majorite des cas, une seule ovulation se produit au cours d'un cycle oestral chez la jument. C'est pourquoi, les ovulations multiples sont considerees anormales [McKinnon *et al.*, 1993].

Dans 10 a 25 % des cycles, deux follicules croissent en meme temps sur un meme ovaire ou sur deux ovaires differents, et ovulent soit de maniere synchrone (a moins de 24 heures d'intervalle), soit a quelques jours d'intervalle (en moyenne 2 jours) [Bruyas *et al.*, 1998b ; Ginther, 1992]. Il semble qu'il y ait une predisposition de certaines juments a avoir des ovulations multiples.

Ainsi, la probabilite de survenue d'une ovulation multiple au cours d'un cycle donne sur une jument etait deux fois plus grande si une ovulation multiple avait eu lieu au cycle precedent [Ginther *et al.*, 1982].

La presence de plusieurs follicules preovulatoires ou l'existence de multiples ovulations est particulierement difficile a determiner par la simple palpation des ovaires. L'examen echographique est beaucoup plus performant que la palpation dans ce domaine, surtout lors d'ovulations multiples sur un meme ovaire (*cf.* fig. 41) [Ginther, 1986].

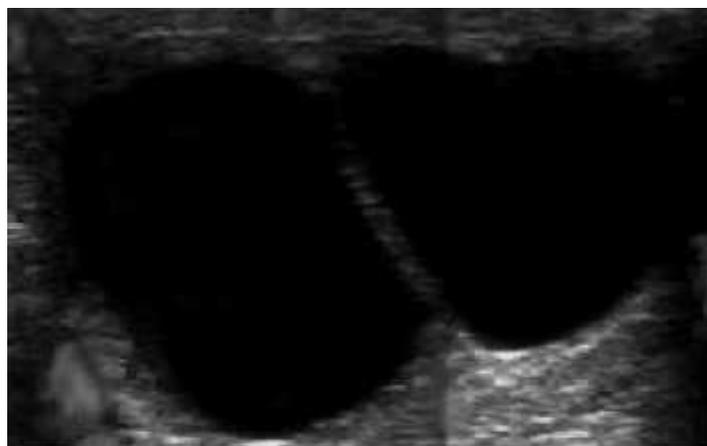


Figure 41 : Image echographique de deux follicules preovulatoires sur un meme ovaire. Les diametres de ces follicules sont de 42 mm (a gauche) et de 32 mm (a droite).

Ces images ont ete prises deux jours avant constat de l'ovulation.

A la simple palpation, la distinction des deux follicules etait impossible du fait de leur etroite proximite.

Le diagnostic et le suivi echographique de ces ovulations multiples sont importants car, dans ce cas, les follicules peuvent ovuler avec une taille inferieure a 35 mm (*cf.* fig. 42) et ovulent en moyenne a une taille inferieure a celle des follicules menant a une simple ovulation. Ainsi, il convient de

tenir compte du développement éventuel de plusieurs follicules preovulatoires pour déterminer le moment de l'insemination ou de la saillie, qui sera alors avancée [Bruyas *et al.*, 1997 ; Ginther, 1986].

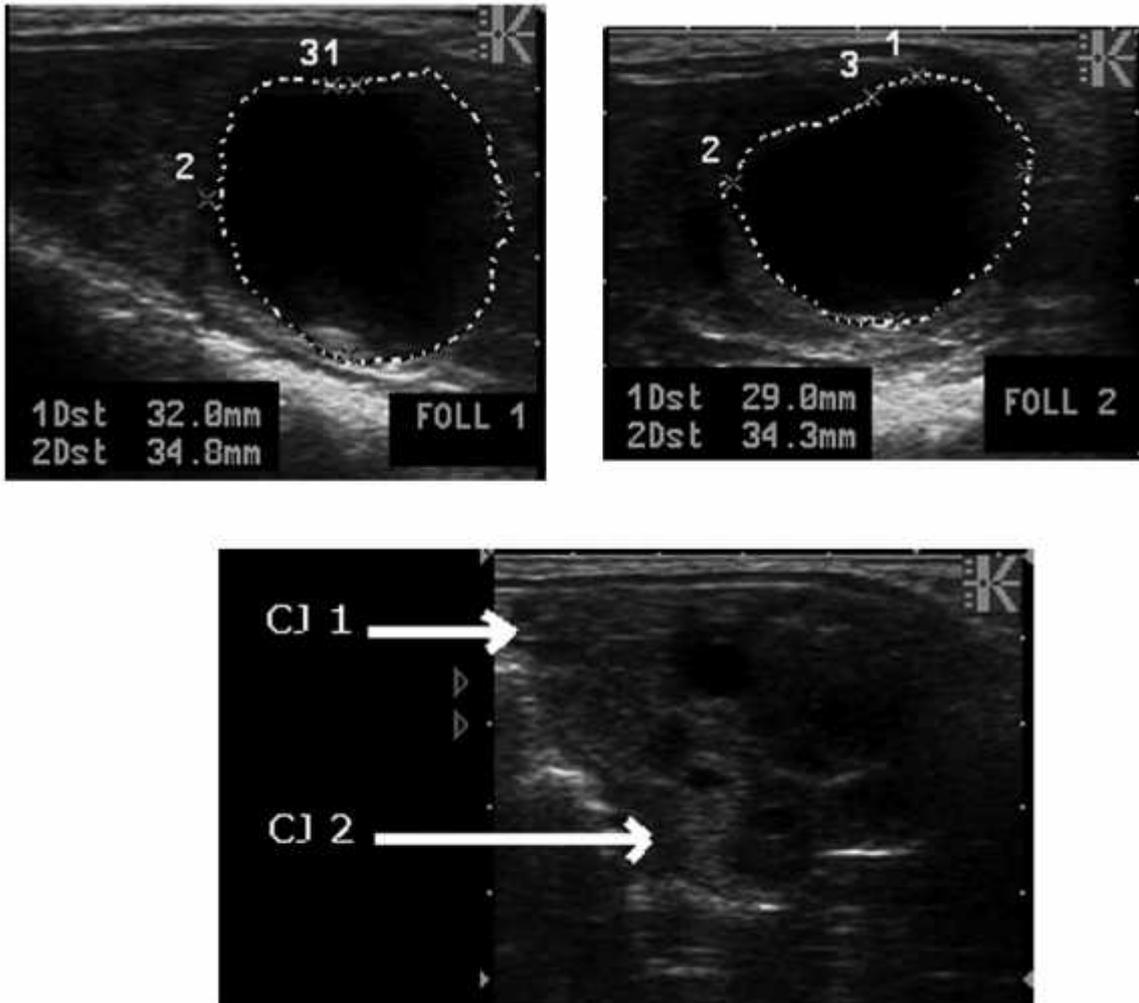


Figure 42 : Images échographiques de deux follicules preovulatoires (J-1) situés sur un même ovaire (deux images du haut) et image échographique des deux corps jaunes (flèches) provenant de la double ovulation de ces follicules le jour du constat de l'ovulation (J0) (image du bas)

Le follicule situé sur l'image de gauche a un diamètre moyen de 33 mm.

Le follicule situé sur l'image de droite a un diamètre moyen de 32 mm.

Par ailleurs, il est important de savoir si une jument a présenté deux ovulations synchrones ou non lors du même œstrus, car si elle a été mise à la reproduction, il faudra rechercher avec beaucoup de minutie la présence éventuelle de jumeaux. Selon une étude de Newcombe (1995), 47 % des juments ayant présenté une ovulation multiple étaient gravides de jumeaux. Les jumeaux peuvent être de tailles identiques si la double ovulation était synchrone ou de tailles différentes si la double ovulation était asynchrone.

[Bruyas *et al.*, 1997]. Ainsi, lors d'ovulation asynchrone suivie de gemellite, onze jours après la première ovulation, une seule vésicule embryonnaire est visible à l'échographie, la seconde vésicule apparaît avec autant de décalage que celui entre les deux (ou trois) ovulations [Ginther, 1992].

Enfin, on estime que 20 à 30 % des avortements non infectieux de la jument sont dus à une gestation gémellaire. Il est donc nécessaire de faire un suivi méticuleux des multiples follicules préovulatoires afin de pouvoir intervenir précocement sur ces juments à risque [Meyers, 1993].

L'échographie est donc un outil indispensable qui permet de prévoir les risques de gemellite, et de rester vigilant lors du diagnostic de gestation.

d. Les tumeurs ovariennes

Les tumeurs ovariennes sont relativement fréquentes chez la jument en comparaison avec les autres espèces domestiques. Leur incidence serait de 5,6% parmi les autres types tumoraux chez la jument. Les deux tumeurs ovariennes les plus fréquemment rencontrées chez la jument sont les tumeurs des cellules de la granulosa et les tératomes [McKinnon *et al.*, 1993].

1. Les tumeurs des cellules de la granulosa

Elles sont généralement de grande taille, unilatérales, bénignes, à croissance lente et produisent des stéroïdes à l'origine d'un changement de comportement et d'une mauvaise performance reproductive de la jument [McKinnon *et al.*, 1993 ; McCue, 2000].

Leur aspect échographique est celui d'une structure multikystique (*cf.* fig. 43) ou criblée [Hinrichs et Hunt, 1990 ; White et Allen, 1985]. Cependant, les tumeurs des cellules de la granulosa peuvent avoir l'aspect échographique d'une masse solide ou d'un unique grand kyste [Blanchard *et al.*, 1998 ; Bruyas *et al.*, 1998b].

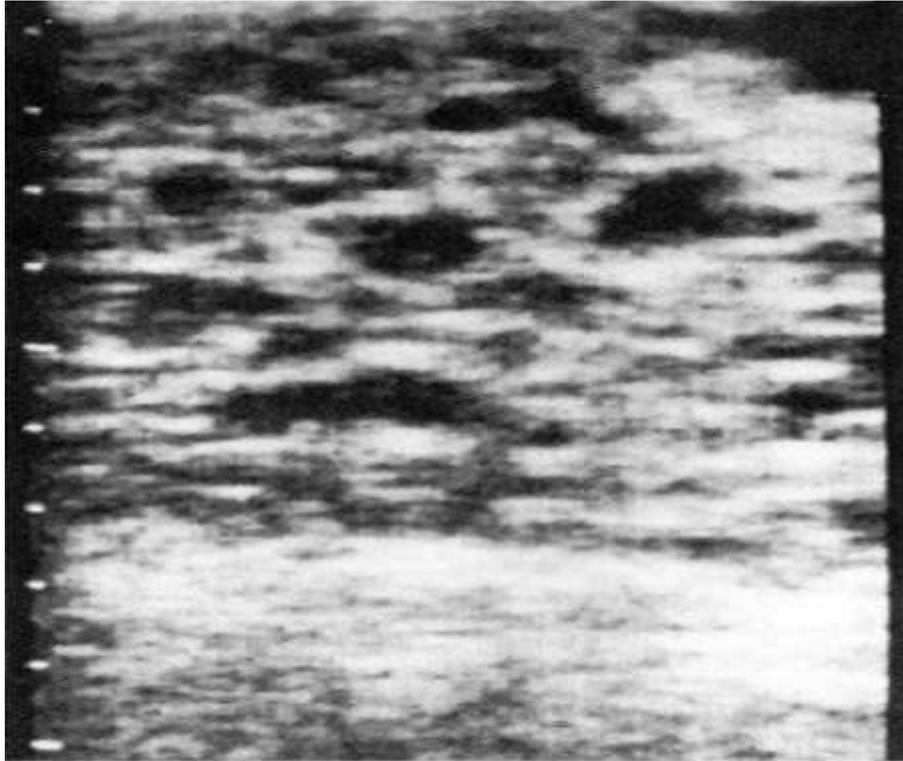


Figure 43 : Image échographique d'une tumeur des cellules de la granulosa [McKinnon *et al.*, 1993]

2. Les teratomes ovariens

Ces tumeurs sont généralement bénignes et non sécrétrices. Elles proviennent de la différenciation des cellules germinales et sont généralement constituées d'un tissu quelconque, qui peut néanmoins contenir du cartilage, de la peau, de l'os, du poil, des nerfs, des glandes sébacées et même des dents. Ces tumeurs peuvent être solides ou bien kystiques. Elles n'interfèrent généralement pas avec la fertilité de la jument et sont plus fréquemment des découvertes de routine lors de palpation transrectale. Cependant, il arrive que leur taille fasse qu'elles compriment d'autres organes et engendrent alors l'expression de symptômes généraux. Leur aspect échographique est fonction du type cellulaire qui les compose [McKinnon *et al.*, 1993 ; McCue, 2000 ; Bosu et Smith, 1993].

Ainsi, l'échographie permet de faire la distinction entre une structure tumorale et une structure de grande taille non néoplasique comme un follicule anovulatoire hémorragique. Cependant, le diagnostic de certitude, notamment en ce qui concerne le type tumoral, repose sur l'analyse histologique de l'ovaire affecté [McKinnon *et al.*, 1993 ; Bruyas *et al.*, 1998b].

e. Les kystes

1. Les kystes periovariens

Des kystes de petite taille (en moyenne quelques millimètres) sont assez fréquemment observés dans la région de la fosse d'ovulation, le long de la fimbria ovarica et du mesovarium. Ces kystes n'ont pas d'influence sur les performances reproductrices de la jument [Hugues, 1993 ; Blanchard *et al.*, 1998]. Ils ne sont pas toujours observables à l'échographie. Seuls ceux dont la taille dépasse 2 mm sont visibles.

Les kystes infundibulaires sont rares mais ils peuvent être confondus à l'échographie avec un follicule de gros diamètre. En effet, étant remplis de liquide, ils présentent la même image échographique que les follicules (*cf.* fig. 44). La palpation transrectale permet alors de montrer que la structure visualisée à l'échographie n'est pas incluse dans l'ovaire [Ginther, 1986].

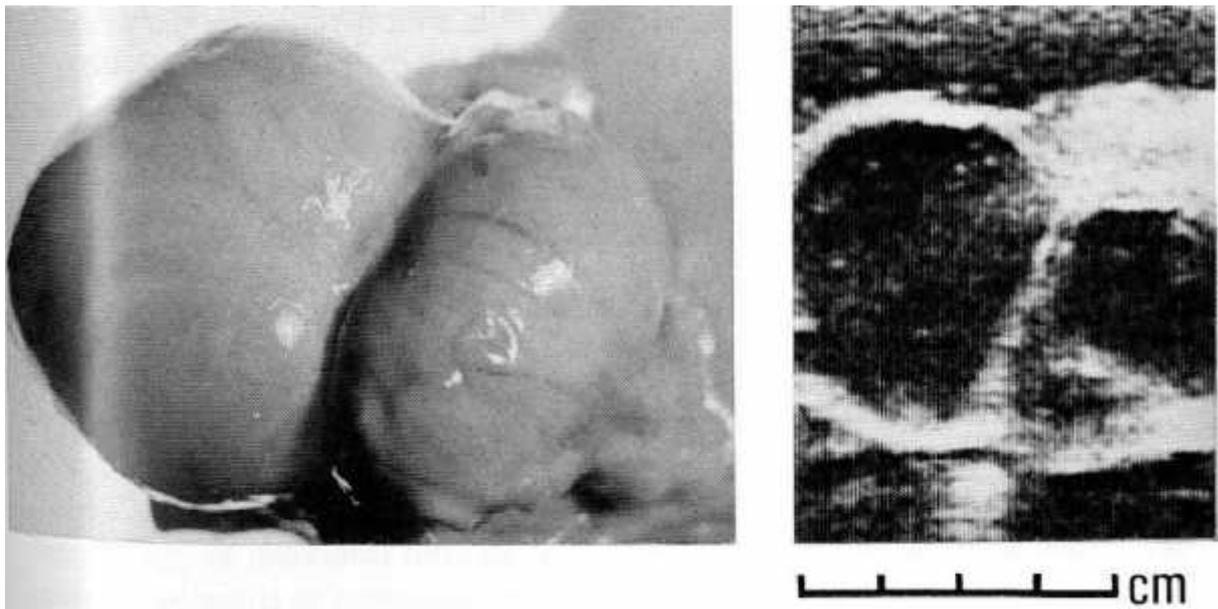


Figure 44 :Kyste periovarien infundibulaire visualise sur une photographie de piece anatomique decoupee (a gauche) et sur une image echographique prise dans de l'eau (a droite) [Ginther, 1986]

L'orientation de la photographie et celle de l'image échographique sont identiques.

Le kyste est la structure à gauche des images : portion dilatée de l'infundibulum. La structure de droite est l'ovaire.

2. Les kystes ovariens

Des kystes d'inclusion nommés « kystes de la fosse » sont trouvés dans le tissu ovarien autour de la fosse d'ovulation (*cf.* fig. 45). Ils proviennent de

l'épithélium de surface. Ces kystes peuvent être présents en grand nombre chez des vieilles juments et empêchent alors la libération de l'ovocyte, rendant l'ovaire non fonctionnel [Hugues, 1993]. À l'échographie, l'ovaire atteint est un peu plus volumineux que l'autre, et contient de nombreuses petites vésicules d'échogénicité liquidienne. Ces structures peu évolutives se distinguent des follicules par leur taille, leur nombre, leur forme et leur évolution lente ou absente, indépendante du cycle [Bruyas *et al.*, 1998b ; Kahn, 1994].

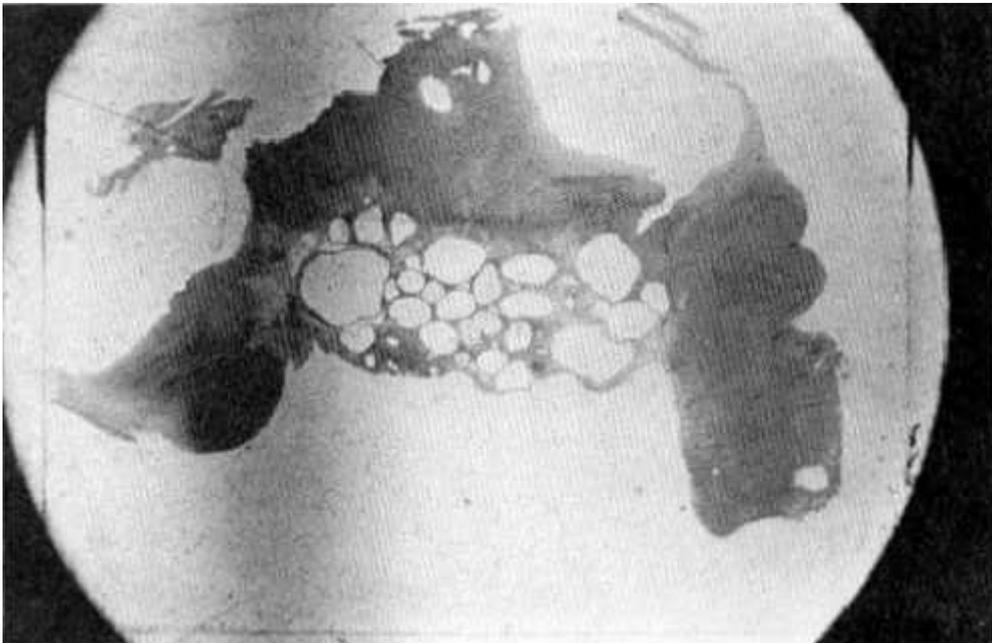


Figure 45 : Photographie d'une coupe histologique d'ovaire montrant des kystes d'inclusions dans le tissu ovarien autour de la fosse d'ovulation. [Hugues, 1993]

Rencontres sur des vieilles juments, ils peuvent empêcher la libération de l'ovocyte par obstruction.

L'échographie ovarienne a donc pris une place importante dans la gestion de la reproduction équine, depuis son apparition en France, dans les années 1980. L'émergence de l'échographie Doppler, utilisant elle aussi le principe des ultrasons ajoute des informations concernant le flux sanguin à l'échographie classique. La technologie du Doppler a eu un impact croissant en médecine et sciences humaines ces 20 dernières années, mais elle

demeure tres peu utilisee en reproduction dans le monde veterinaire [Ginther et Matthew, 2004]. Elle est pourtant susceptible de completer de facon interessante l'examen de l'appareil genital par echographie simple.

Ainsi, nous allons presenter le principe de l'echographie Doppler puis faire une synthese des donnees existantes sur l'echographie Doppler ovarienne dans les differentes especes.

Conclusion

Conclusion

L'ovulation, répondant au pic ovulatoire de LH secrété par l'hypophyse, est un phénomène complexe impliquant un grand nombre de compartiments cellulaires : reprise de laïose de l'ovocyte, expansion du cumulus, rupture du pôle apical du follicule et restructuration tissulaire associée à la différenciation cellulaire nécessaire à la formation du corps jaune. Face à la complexité du phénomène ponctuel qu'est l'ovulation, il existe de grandes variations selon l'espèce, l'influence de facteurs physiologiques endogènes mais aussi de facteurs environnementaux.

La maîtrise du moment de l'ovulation est d'une importance croissante en élevage pour plusieurs espèces. Il est utile de contrôler l'ovulation, notamment chez les vaches modernes chez lesquelles les ovulations sont de plus en plus étalées, lors d'insémination avec de la semence dont la durée de vie est faible, telle que la semence sexée, en plein développement. Chez la jument, la problématique est de contrôler le moment de l'ovulation en vue d'une saillie par un étalon hébergé à de grandes distances ou de réussir une super ovulation efficace. Chez la chienne, il s'agit de raccourcir l'interoestrus et prévoir le moment de l'insémination artificielle. Enfin chez la chèvre, l'objectif est d'optimiser la super ovulation et de limiter l'immunisation pour pouvoir répéter les traitements.

Ainsi, les travaux de recherche récents permettent de mieux comprendre la physiologie de l'ovulation et de découvrir de nouveaux facteurs exploitables en thérapeutique. Les recherches sur kiss peptin représentent actuellement une voie très prometteuse.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ACOSTA TJ and MIYAMOTO A. 2004. Vascular control of ovarian function : ovulation, corpus luteum formation and regression. *Anim Reprod Sci.* **82-83**, 127-140
- ACOSTA TJ, HAYASHI KG, OHTANI M and MIYAMOTO A. 2003. Local changes in blood flow within the preovulatory follicle wall and early corpus luteum in cows. *Reprod.* **125**, 759-767
- ACOSTA TJ, BEG MA and GINTHER OJ. 2004a. Aberrant blood flow area and plasma gonadotropin concentrations during the development of dominant-sized transitional anovulatory follicles in mares. *Biol Reprod.* **71**, 637-642
- ACOSTA TJ, GASTAL EL, GASTAL MO, BEG MA and GINTHER OJ. 2004b. Differential blood flow changes between the future dominant and subordinate follicles precede diameter changes during follicle selection in mares. *Biol Reprod.* **71**, 502-507
- ACOSTA TJ, HAYASHI KG, MATSUI M and MIYAMOTO A. 2005. Changes in follicular vascularity during the first follicular wave in lactating cows. *J Reprod Dev.* **51**, 273-280
- ALEEM FA and PREDANIC M. 1996. Transvaginal color Doppler determination of the ovarian and uterine blood flow characteristics in polycystic ovary disease. *Fertil Steril.* **65**, 510-516
- ALEXANDER SL and IRVINE CHG. 1993. FSH and LH. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 45-56
- ALLEN WR and COOPER MJ. 1993. Prostaglandins. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 69-80
- AUGUSTIN HG. 2000. Vascular morphogenesis in the ovary. *Bailliere's Clin Obstet Gynaecol.* **14**, 867-882
- BARONE R. 1978. Anatomie comparee des mammiferes domestiques, *tome 3 : splanchnologie(fascicule 2 : appareil uro-*

genital, foetus et ses annexes, peritoine et topographie abdominale), Paris : Vigot, 879p

- BARRIER-BATTUT I. 2004. Prelevement de semence et IA equine. *In : Gynecologir equine Tome 2*. Polycopie. Ecoles Nationales Veterinaires de Nantes, Toulouse et Alfort. 2004
- BLANCHARD TL, VARNER DD and SCHUMACHER J. 1998. *Manual of equine reproduction*. St Louis : Mosby, 209p
- BOIVIN R and LEPORT M. 1977. Etude du fonctionnement ovarien chez la jument. Essai de diagnostic de l'ovulation. *Prat Vet Equine*. **9**, 85-89
- BOLLWEIN H, MAYER F, WEBER R and STOLLA R. 2002a. Luteal blood flow during estrous cycle in mares. *Theriogenology*. **65**, 2043-2051
- BOLLWEIN H, WEBER F, KOLBERG B and STOLLA R. 2002b. Uterine and ovarian blood flow during the estrous cycle in mare. *Theriogenology*. **65**, 2129-2138
- BOLLWEIN H, SOWADE C and STOLLA R. 2003. The effect of semen extender, seminal plasma and raw semen on uterine and ovarian blood flow in mares. *Theriogenology*. **60**, 607-616
- BOLLWEIN H, KOLBERG B and STOLLA R. 2004a. The effect of exogenous estradiol benzoate and altrenogest on uterine and ovarian blood flow during the estrous cycle in mares. *Theriogenology*. **61**, 1137-1146
- BOLLWEIN H, WEBER F, STEFFEN S and STOLLA R. 2004b. The effect of acetylsalicylic acid and captopril on uterine and ovarian blood flow during the estrous cycle in mares. *Theriogenology*. **61**, 301-309
- BOURNE TH, HAGSTROM H, HAHLIN M, JOSEFSSON B, GRANBERG S, HELLBERG P *et al.* 1996. Ultrasound studies of vascular and morphological changes in the human corpus luteum during the menstrual cycle. *Fertil Steril*. **65**, 753-758
- BOURNE TH, JURKOVIC J, WATERSTONE J, CAMPBELLS and COLLINS WP. 1991. Intrafollicular blood flow during human ovulation. *Ultrasound Obstet Gynecol*. **1**, 53-59

- BRANNSTROM M, HAGSTROM HG, JOSEFSSON B, HELLBERG P, GRANBERG S, COLLINS WP et al. 1998. Preovulatory changes of blood flow in different regions of the human follicle. *Fertil Steril.* **69**, 435-442
- BRUYAS JF, BARRIER-BATTUT I, FIENI F and TAINURIER D. 1998b l'échographie transrectale en gynécologie équine : suivi ovarien et diagnostic de gestation chez la jument. *In : Compte rendu des Journées Nationales des GTV.* Tours, 27-29 mai 1998, 425-437
- BRUYAS JF, BATTUT I, FIENI F and TAINURIER D. 1997. Gestation gemellaire chez la jument : une cause majeure d'avortement. *Point Vet.* **28**, 1261-1271
- BURKHARDT J. 1948. Some clinical problems of horse breeding. *Vet Rec.* **60**, 243-248
- CAMPBELL S, BOURNE TH, WATERSTONE J, REYNOLDS KM, CRAYFORD TJ,
- JURKOVIC D *et al.* 1993. Transvaginal color blood flow imaging of the periovulatory follicle. *Fertil Steril.* **60**, 433-438
- COLLINS W, JURKOVIC D, BOURNE T, KURJAK A and CAMPBELL S. 1991. Ovarian morphology, endocrine function and intra-follicular blood flow during peri-ovulatory period. *Hum Reprod.* **6**, 319-324
- DAELS PF and HUGHES JP. 1993a. The normal estrous cycle. *In : MCKINNON A and VOSS JL, editors. Equine reproduction.* Philadelphia : Williams & Wilkins, 121-132
- DAELS PF and HUGHES JP. 1993b. The abnormal estrous cycle. *In : MCKINNON A and VOSS JL, editors. Equine reproduction.* Philadelphia : Williams & Wilkins, 144-160
- DAL J, BIROL V, CALISKAN E, OZKAN S and YUCESoy I. 2005. Power Doppler ultrasound studies of ovarian, uterine and endometrial blood flow in regularly menstruating women with respect to luteal phase defects. *Fertil Steril.* **84**, 224-227
- DICKEY R. 1997. Doppler ultrasound investigation of uterine and ovarian blood flow in infertility and early pregnancy. *Hum Reprod.* **3**, 467-503

- DRIANCOURT MA and LEVASSEUR MC. 2001. Cycles estriens et cycles menstruels. In : THIBAUT C and LEVASSEUR MC, editors. *La reproduction chez les Mammifères et l'Homme* INRA, Paris : Marketing, 573-587.
- DRIANCOURT MA and PALMER E. 1984. Time of follicular recruitment in cyclic pony mares. *Theriogenology*. **21**, 591-600
- FINDLAY JK. 1986. Angiogenesis in reproductive tissues. *J Endocr.* **111**, 357-366
- GASTAL EL, GASTAL MO and GINTHER OJ. 1998. The suitability of echotexture characteristics of the follicular wall for identifying the optimal breeding day in mares. *Theriogenology*. **50**, 1025-1038
- GINTHER OJ. 1986. *Ultrasonic imaging and reproductive events in the mare*. 2nd ed. Cross Plains, Wisconsin : Equiservices, 378p.
- GINTHER OJ. 1990. Folliculogenesis during the transitional period and early ovulatory season in mares. *J Reprod Fertil.* **90**, 311-320
- GINTHER OJ. 1992. *Reproductive biology of the mare : basic and applied aspects*. 2nd ed. Cross Plains, Wisconsin : Equiservices, 642p
- GINTHER OJ and PIERSON RA. 1989. Regular and irregular characteristics of ovulation and the interovulatory interval in mares. *J Equine Vet.* **9**, 4-12
- GINTHER OJ and MATTHEW D. 2004. Doppler ultrasound in equine reproduction : principles, techniques and potential. *J Eq Vet Sci.* **24**, 516-526
- HAZZARD TM and STOUFFER RL. 2000. Angiogenesis in ovarian follicular and luteal development. *Bailliere's Clin Obstet Gynaecol.* **14**, 883-900
- HINRICHS K and HUNT PR. 1990. Ultrasound as an aid to diagnosis of granulosa cell tumour in the mare. *Equine Vet J.* **22**, 99-103
- HOFFERER S, DUCHAMP G and PALMER E. 1990. Les vagues de croissance folliculaire : explorations par échographie et études expérimentales chez la jument. *Contracept Fertil Sex.* **18**, 711-720

- HUGUES JP. 1993. Developmental anomalies of the female reproductive tract. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 408-414
- HUGUES JP, STAFENBELT GH and KENNEDY PC. 1972. Clinical and endocrine aspects of the estrous cycle of the mare. *Proc Ann Conv Amer Assoc Equine Pract.*, San Francisco. **18**, 119-151
- IRVINE CHG and ALEXANDER SL. 1993. GnRH. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 37-44
- KIDRON D, BERNHEIM J, AVIRAM R, COHEN I, FISHMAN A, BEYTH Y et al. 1999.
- Resistance to blood flow in ovarian tumors : correlation between resistance index and histological pattern of vascularisation. *Ultrasound Obstet Gynecol.* **13**, 425-430
- KOSTER K, POULSEN NAUTRUP C and GUNZEL-APEL AR. 2001. A Doppler ultrasonographic study of cyclic changes of ovarian perfusion in the Beagle bitch. *Reprod.* **122**, 453-461
- MACCHIARELLI G, NOTTOLA SA, VIZZA E, CORRER S and MOTTA PM. 1995. Changes of ovarian microvasculature in hCG stimulated rabbits. A scanning electron microscopic study of corrosion casts. *Ital J Anat Embryol.* **100**, Suppl. 1, 469-477
- MAI W. 1994. *L'échographie en médecine vétérinaire canine et feline : bases physiques et applications*. Polycopie. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Unite Pédagogique de Radiologie. 97p.
- MCCUE P. 2000. Diagnosis of ovarian abnormalities. *In* : BALL BA. *Recent advances in equine reproduction*. [en-ligne], Ithaca, New York, USA: International Veterinary Information Service[www.ivis.org/advances/Reproduction_Ball/ovarian_abnormalities_mccue/chapter_frm.asp] (consultee le 30 avril 2005).
- MCKINNON AO, VOSS JL, SQUIRES EL and CARNEVALE EM. 1993. Diagnostic ultrasonography. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 266-302

- NISWENDER D, REIMERS TJ, DIEKMAN MA and NETT TM. 1976. Blood flow : a mediator of ovarian fonction. *Biol Reprod.* **14**, 64-81
- NUSSDORFER GG, ROSSI GP, MALENDOWICZ LK and MAZZOCCHI G. 1999. Autocrineparacrine endothelin system in physiology and pathology of steroid-secreting tissues. *American Society for Pharmacology and Experimental Therapeutics.* **51**, 403-437
- OJHA K, SLADKEVICIUS P, SCARAMUZZI R, COLLIER T, CAMPBELL S and NARGUND G. 2003. Side of ovulation and its effects on uterine and ovarian stromal blood flow and reproductive hormones. *Fertil Steril.* **79**, 367-373
- PIERSON RA. 1993. Folliculogenesis and ovulation. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 161-171
- POURCELOT L. 1975. Application clinique de l'examen Doppler transcutane. *In* : PERONNEAU P, editor. *Velocimetrie ultrasonore*. Paris : INSERM, 213-240
- R Development Core Team. 2004. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, [URL <http://www.Rproject.org>].
- REDMER DA and REYNOLDS LP. 1996. Angiogenesis in the ovary. *Rewiews of Reproduction.* **1**, 182-192
- REEF VB. 1998a. Physics and instrumentation. *In* : *Equine diagnostic ultrasound*. Philadelphia : WB Saunders, 1-23
- REEF VB. 1998b. Artifacts. *In* : *Equine diagnostic ultrasound*. Philadelphia : WB Saunders, 24-38
- REYNOLDS LP and REDMER DA. 1998. Expression of the angiogenic factors, basic fibroblast growth and vascular endothelial growth factor, in the ovary. *J Anim Sci.* **76**, 1671-1681
- SCHOLTES MC, WLADIMIROFF JW, VAN RIJEN HJ and HOP WC. 1989. Uterine and ovarian flow velovity waveforms in the normal menstrual cycle : a transvaginal Doppler study. *Fertil Steril.* **52**, 981-985

- SERTICH PL. 1998. Ultrasonography of the genital tract of the mare. *In* : REEF VB. *Equine diagnostic ultrasound*. Philadelphia : WB Saunders, 405-424
- SINGH J, ADAMS GP and PIERSON RA. 2003. Promise of new imaging technologies for assessing ovarian function. *Anim Reprod Sci.* **78**, 371-399
- SLADKEVICIUS P, VALENTIN L and MARSAL K. 1993. Blood flow velocity in the uterine and ovarian arteries during the normal menstrual cycle. *Ultrasound Obstet Gynecol.* **3**, 199-208
- SQUIRES EL. 1993a. Progesterone. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 57-64
- SQUIRES EL. 1993b. Puberty. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 114-120
- VAN BLERKOM J, ANTCZAK M and SCHRADER R. 1997. The developmental potential of the human oocyte is related to the dissolved oxygen content of follicular fluid : association with vascular endothelial growth factor levels in perfollicular blood flow characteristics. *Hum Reprod***12**, 1047-1055
- VLAISAVLJEVIC V, RELJIC M, GAVRIC LOVREC V, ZAZULA D and SERGENT N. 2003. Measurement of perfollicular blood flow of the dominant preovulatory follicle using threedimensional power Doppler. *Ultrasound Obstet Gynecol.* **22**, 520-526
- VOSS JL. 1993. Human chorionic gonadotropin. *In* : MCKINNON A and VOSS JL, editors. *Equine reproduction*. Philadelphia : Williams & Wilkins, 325-328
- WATSON ED and AL-ZI'ABI MO. 2002. Characterization of morphology and angiogenesis in follicles of mares during spring transition and the breeding season. *Reprod.* **124**, 227-234
- WEINER Z, THALER I, BECK D, ROTTEM S, DEUTSCH M and BRANDES JM. 1992.

- WHITE RA and ALLEN WR. 1985. Use of ultrasound echography for the differential diagnosis of granulosa cell tumour in a mare. *Equine Vet J.* **17**, 401-402
- YU NG E, TANG OS, CHAN CCW and HO PC. 2005. Ovarian stromal blood flow in the prediction of ovarian response during in vitro fertilization treatment. *Hum Reprod.* **24** « a paraitre »