

CHAPITRE I

Le principe de l'échographie

Plusieurs étapes ont marqué l'évolution de l'échographie (Alais et al., 1979). Vers 1960, les premiers appareils apparaissent pour l'exploration du corps humain. Une amélioration importante de la qualité de l'image est obtenue vers 1980 par concentration du faisceau ultrasonore sur sa cible. Au cours des années 1980 à 1995, les progrès réalisés en technologie des sondes, en électronique et en informatique ont nettement amélioré la qualité de l'imagerie et diminué le poids des appareils. De plus, la miniaturisation des cristaux a permis de proposer des sondes de tailles et de formes adaptées à la plupart des situations. Cependant, quelles que soient les améliorations, une partie des contraintes d'utilisation résultent des phénomènes physiques mis en jeu. C'est pourquoi ce premier chapitre est consacré au principe de l'échographie et aux avantages, limites et artefacts de cette technique.

A - L'onde sonore et la production des ultrasons

(Carniel, 1987 ; Pearson et al., 1988 ; Herring, Gretchen Bjornson, 1985 ; Bouton et al., 1984 ; Goddard, 1995 ; Carter, 1995, et)

1. L'onde sonore

L'onde sonore est un phénomène vibratoire et possède comme l'onde lumineuse 3 caractéristiques :

- la vitesse de propagation,
- la fréquence de vibration,
- l'intensité.

Contrairement à l'onde lumineuse, l'onde sonore ne se propage pas dans le vide mais dans les milieux solides, liquides et gazeux. La vitesse de propagation de l'onde est proportionnelle à la densité du milieu traversé. Le Tableau 1 donne quelques exemples de vitesse de propagation de l'onde sonore.

Tableau 1 :

Vitesse de propagation des ondes sonores et densité pour différents milieux

	VITESSE DE PROPAGATION mètres/seconde	DENSITÉ g/cm ³
Air	331	0,0012
Eau	1 497	0,997
Tissu hépatique	1 570	1,055
Tissu musculaire	1 568	1,058
Tissu osseux	3 360	1,85

(d'après Moretti, 1982)

L'aptitude d'un milieu à propager les ultrasons est caractérisée par son impédance qui est le produit de la vitesse par la densité du milieu (Tableau 1) ; l'impédance de l'air est plus de mille fois plus faible que celle d'un tissu comme la peau ce qui explique la nécessité d'enduire la sonde d'un gel de contact.

La fréquence de vibration qui représente le nombre d'oscillations par seconde est exprimée en Hertz (Hz). Les ultrasons se situent dans la gamme comprise entre 18 KHz et 150 MHz. En médecine vétérinaire, la gamme des fréquences employées pour les explorations est comprise entre 3,5 et 10,0 MHz.

L'intensité des ultrasons utilisée pour les observations est faible, elle est comprise entre 0,001 et 0,1 Watt/cm². Cette intensité est plus de 100 fois inférieure aux intensités nécessaires en chirurgie, elle est donc sans danger pour l'animal.

Compte tenu de ces intensités et des tissus explorés, la distance de pénétration des ultrasons varie de 4 cm pour une fréquence de 10 MHz à 30 cm pour une fréquence de 1 MHz. Les ultrasons à hautes fréquences ont donc une moins bonne pénétration que ceux à basses fréquences.

Plus la fréquence est élevée, meilleure est la résolution ainsi que la qualité de l'image obtenue. La résolution correspond à la distance minimum séparant 2 points proches

l'un de l'autre, alignés en profondeur ou latéralement qui permet de voir 2 taches distinctes sur l'écran. La résolution axiale est d'environ 0,9 cm pour une fréquence de 3,5 MHz et 0,4 cm pour 7,5 MHz (Legrand et Carlier, 1981).

En conséquence, pour l'exploration d'organes situés à une dizaine de centimètres de profondeur, il est nécessaire d'utiliser des sondes de fréquences moyennes car cela constitue le bon compromis entre résolution et pénétration. Les fréquences de 3,5 et de 5 MHz sont très souvent utilisées chez la truie pour l'exploration de l'appareil génital.

2. La production des ultrasons

La sonde ou transducteur est à la fois émettrice et réceptrice des ondes sonores. Cette double propriété est fondée sur l'effet piézo-électrique mis en évidence par G. Lippmann et par les frères J. et P. Curie. Lorsque les cristaux de quartz ou de céramique contenus dans la sonde sont stimulés électriquement, ils transforment le signal électrique en signal acoustique. L'épaisseur et la surface du cristal conditionnent respectivement la fréquence et le diamètre du faisceau d'ultrasons. Inversement, les échos captés par la sonde exercent une pression sur la face externe du cristal et induisent par effet piézo-électrique, une différence de charge électrique avec la face interne. Cette différence de potentiel est proportionnelle à l'énergie de l'écho et sera analysée ainsi par

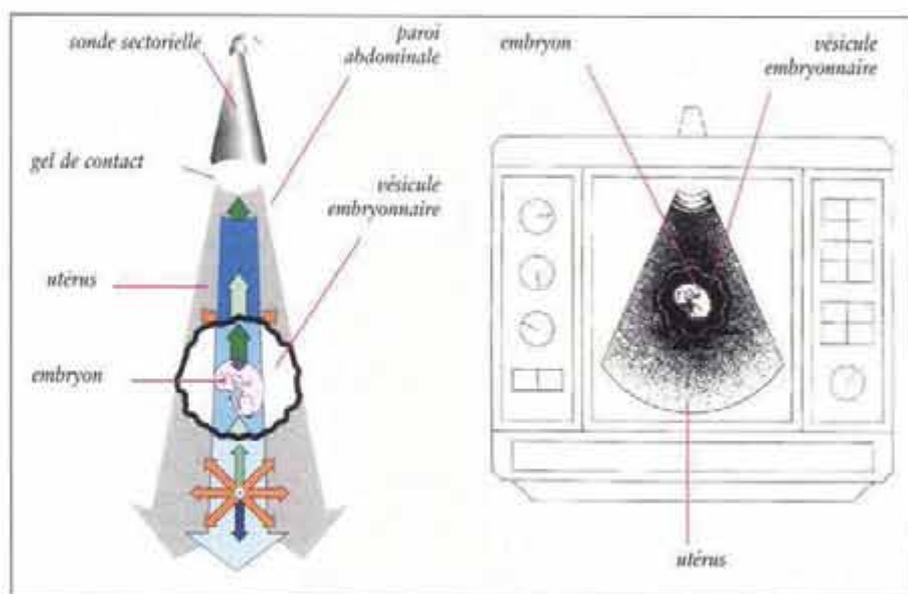


Figure 1 : Principe de la formation des images échographiques - exemple de l'utérus d'une truie gravide. L'exemple présente pour une sonde sectorielle, trois faisceaux d'ultrasons. La formation des échos a été illustrée uniquement pour le faisceau central. Ce faisceau (en bleu) émis par la sonde pénètre dans les tissus. Au cours de son trajet, il perd de l'énergie (de bleu foncé à bleu clair). Seuls les échos dirigés dans l'axe du faisceau (en vert) sont captés par la sonde, les autres (en orange) sont perdus. Les échos ont plus ou moins d'énergie (de vert foncé à vert clair) selon l'impédance du milieu traversé. Ils apparaîtront sur l'écran de l'échographe sous forme de taches plus ou moins blanches ou grises ou noires et plus ou moins grandes.

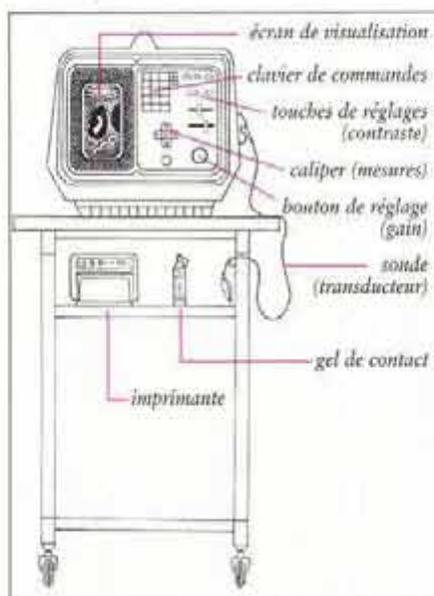


Figure 2 : Principaux composants d'un échographe

l'appareil. Un cristal sera donc, émetteur pendant un temps très court de l'ordre de la microseconde et récepteur pendant un temps plus long, voisin d'une milliseconde.

3. La formation des échos

L'onde sonore ainsi projetée se propage dans un premier milieu, elle dissipe une partie de son énergie dans ce milieu, par absorption, puis rencontre l'interface avec un second milieu.

Une partie est alors réfléchiée et constitue le premier écho (Figure 1). L'énergie sonore réfléchiée dépendra des vitesses de propagation de l'onde sonore et des différences de densité entre les 2 milieux (Figure 1). La réflexion est importante lors d'un transit entre un tissu mou et l'os et elle est quasi totale lors du passage entre l'air et un tissu mou. Ceci explique pourquoi il faut éviter les bulles d'air entre la sonde et la peau et appliquer un gel.

Le reste de l'onde sonore est transmis dans le 2ème milieu, une partie est absorbée avant de rencontrer un nouveau milieu, l'interface génère un nouvel écho et ainsi de suite (Figure 1). Les échos rendent donc compte de la discontinuité des tissus traversés. Les différents échos sonores reviennent vers la sonde dans l'ordre de leur émission et cela quelle que soit la distance à parcourir. L'intervalle de temps entre l'onde émise et l'écho dépend de la distance entre la source et l'interface qui produit l'écho. Toutefois, pour que les échos soient captés par la sonde, il faut que l'angle entre l'onde sonore incidente et l'interface soit proche de 90°. Ainsi, plus le faisceau incident est perpendiculaire à l'interface, plus nom-



Figure 3 : Quelques appareils utilisés pour l'examen échographique chez la truie

breux sont les échos et meilleure est la qualité de l'image.

Les cristaux contenus dans la sonde vont capter ces échos successifs qui varient en intensité et permettre, après traitement de ces signaux, de visualiser les discontinuités entre les tissus et de donner une vue en coupe des organes situés sous la sonde.

L'image obtenue sur l'écran (Figure 1) est un plan de coupe qui respecte la taille et la forme des tissus observés, d'où le terme parfois utilisé d'échotomographie. La qualité de l'image dépend aussi du temps qu'il faut pour la construire et de la résolution de l'écran.

B - Les matériels

1. L'échographe

L'échographe se compose d'une sonde ou transducteur, d'un boîtier électronique, d'un clavier de commandes et d'un moniteur muni d'un écran de visualisation (Figures 2 et 3). Le poids de l'ensemble peut atteindre 60 kg et plus. Le poids des appareils couramment utilisés en élevage est compris entre 4 et 15 kg, certains sont équipés d'une batterie. La sonde comprend un ou plusieurs cristaux piézo-électriques. Le boîtier électronique est équipé d'un système d'amplification et de traitement des échos. C'est sur l'écran cathodique du moniteur qu'apparaît une vue en coupe des organes situés directement sous la sonde.

La sonde et le câble qui la relie au système de traitement et de visualisation sont les parties fragiles de cet équipement. Les appareils les plus récents sont munis de

nombreuses fonctions; cependant l'opérateur utilise surtout les réglages de gain, de contraste de luminosité et la fonction de mesure de longueur et de surface d'une partie de l'image (caliper).

Parmi les équipements complémentaires, un magnétoscope et/ou une imprimante sont très utiles, car ils permettent de conserver des images et donc de pouvoir discuter avec un spécialiste de celles qui posent un problème d'interprétation. Cependant, un magnétoscope présente l'avantage d'enregistrer toute une séquence d'images. Avec une imprimante, il est plus difficile de garder la bonne image.

2. Les différentes sondes

(Carniel, 1987 ; Goddard, 1995 ; Cartee, 1995, b)

Différents types de sondes existent ; elles diffèrent soit par la fréquence soit par la forme. Les sondes qui sont présentées à la Figure 4 sont à usage externe ou interne. Il existe des sondes spécialisées qui sont développées pour l'exploration de nombreux organes en médecine humaine. En médecine vétérinaire, des sondes linéaires et des sondes sectorielles sont le plus souvent utilisées.

Les barrettes des sondes linéaires sont de forme rectangulaire. Un dispositif électronique permet successivement à chaque cristal d'émettre des ultrasons et de recueillir des échos. L'image obtenue sur l'écran, grâce à ce balayage, est rectangulaire, elle a la largeur de la barrette et représente sans déformation les organes situés directement sous la sonde. De plus, cette image est fine et sans perte d'information, en particulier sur ses bords.

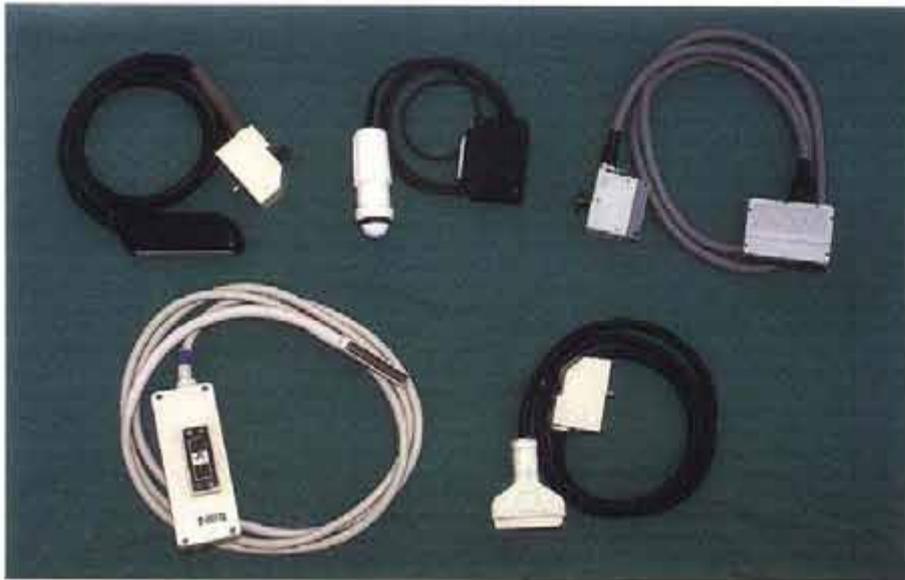


Figure 4 : Quelques sondes utilisées chez la truie principalement par voie externe
La sonde située au centre de la 1ère rangée est une sonde sectorielle de fréquence de 5 MHz, les autres sont des sondes linéaires de 5 MHz.



Figure 5 : Examen échographique effectué à l'extérieur dans un réfectoire
On notera la poche qui protège le câble de la sonde et un cache entourant l'écran pour améliorer la visualisation des images.
Cliché Jean-François Bussière (INRA-SEIA)



Figure 6 : L'équipement nécessaire à la réalisation de l'échographie chez la truie
Le matériel a été disposé sur une brouette. Sur cette dernière, à côté de la cote et de l'échographe portable, remarquez la longue gaine de polyéthylène pour protéger le câble, la paire de gants, le gel et un rouleau de papier.



Figure 7 : Introduction d'une sonde linéaire et de son câble dans une poche de protection en polyéthylène

Du gel a été au préalable introduit au fond de la poche pour assurer un bon contact avec la barrette et la poche. Cliché Jean-François Bussière (INRA-SEIA)

Les sondes sectorielles sont de forme ronde, équipées d'un ou plusieurs cristaux qui sont animés mécaniquement ou électroniquement. Le mouvement est oscillant s'il y a un seul cristal dans la sonde ou rotatif s'il y a plusieurs cristaux. Ces sondes sectorielles génèrent des images dont le champ d'exploration correspond à un secteur d'angle. L'angle d'ouverture est compris entre 30° et 110°. Cela offre l'avantage de balayer une petite surface de contact qui s'élargit en profondeur, mais présente l'inconvénient de déformer légèrement l'image. Il y a aussi une perte d'information sur les bords du faisceau ultrasonore. Avec ce type de sonde, des réglages plus fréquents sont nécessaires selon la profondeur du champ exploré.

3. L'équipement nécessaire à la réalisation de l'échographie chez la truie

L'exploration échographique chez la truie ne nécessite aucune préparation particulière. La majorité des échographies est réalisée par voie externe. Les soies sont peu gênantes pour visualiser l'appareil génital car elles sont situées souvent en avant de la zone d'exploration.

Au moment de l'examen, l'animal debout doit être calme et accessible. Si la truie est en liberté, elle est introduite dans une cage ou dans un réfectoire (Figure 5). Lorsque la truie est à l'attache, l'échographie est possible immédiatement. Si la femelle est agitée, il est bon de lui donner un peu de nourriture pour la distraire et la calmer.

Les précautions sanitaires habituelles lors d'intervention en élevage porcin doivent être prises par l'opérateur : bottes et combinaison, désinfection des mains, protection des bras et des mains par des gants. L'échographe est désinfecté. Le matériel nécessaire à la réalisation de l'échographie est installé, le plus souvent, pour des raisons de commodité, sur une brouette (Figure 6).