

Ultrasons (Bases physiques) échographie

I. Intérêt de la question

- Connaître les bases physiques des ultrasons ainsi que leurs indications .
- Optimiser l'utilisation d'échographie dans ses diverses applications

II – définition

- Technique d'imagerie utilisant le phénomène de réflexion des ondes ultrasonores.
- Un faisceau ultrasonore, émis par une sonde pénètre dans l'organisme où il subit de nombreuses réflexions.
- Ces ondes réfléchies sont recueillies par cette même sonde puis numérisées, traitées et adressées sur un moniteur.

III-Les ondes ultrasonores ondes acoustiques

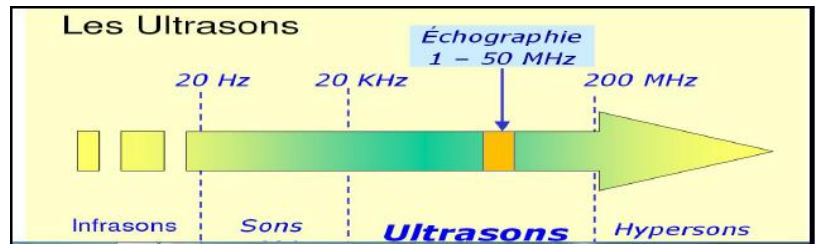
- Classification selon la fréquence:

Infra-sons : $f < 20 \text{ Hz}$

Sons audibles : $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ KHz}$

Ultrasons : $20 \text{ KHz} < f < 200 \text{ MHz}$

Hyper-sons : $f > 200 \text{ MHz}$



1.Nature des ultrasons :

- Les ultrasons sont des **ondes acoustiques** (ou ondes sonores, ou ondes de pression) dont la fréquence de vibration est comprise entre **20 kHz**, la limite supérieure des fréquences audibles, et **200 MHz**.
- Elles se propagent dans un milieu **élastique** : *variation de pression* qui se déplace.
- Il s'agit de la **propagation d'une énergie mécanique** dans un **milieu matériel** : ce déplacement ne peut se faire dans le vide (à la différence des ondes électro-magnétiques).

2- Caractéristiques et paramètres :

Plusieurs paramètres sont nécessaires pour caractériser cette onde ultra-sonore.

Célérité de l'onde acoustique « C » : La **vitesse de propagation** (ou célérité) d'une onde de pression, c , dépend des propriétés mécaniques, densité et élasticité, du milieu de propagation:

$$C = \sqrt{E/P}$$

Où **E**: est le module d'élasticité et **P**: la masse volumique du milieu.

Impédance acoustique « Z » : L'impédance acoustique permet de caractériser la façon avec laquelle une onde de pression se propage dans un milieu.

-L'impédance acoustique est caractéristique de chaque tissu.

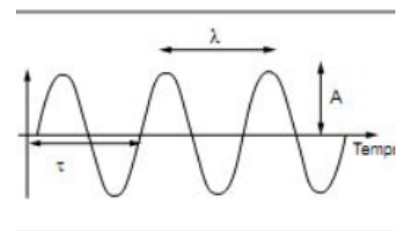
Fréquence « f » : la fréquence (F) correspond au **nombre de cycles** (alternance de compressions et raréfactions) par seconde; son unité est le **hertz (Hz)**.

-la fréquence des ondes ultrasonores est située au-delà de la gamme audible, c'est-à-dire au-delà de 20 000 Hz (20 kHz).

Longueur d'onde « λ » : C'est la **distance** séparant dans un milieu: deux points ayant au même instant une pression dans le même sens et de même amplitude sur le trajet d'un faisceau dans un milieu donné :

$$\lambda = c/f$$

$$\text{si } \lambda \nearrow \text{ donc } f \searrow$$



Pression et intensité :

-la pression acoustique varie selon la fréquence (f).

-l'intensité US : L'énergie qui traverse perpendiculairement une unité de surface pendant une unité de temps.

IV –Production des US

Découvert par les **frères Pierre et Jacques CURIES en 1880** . Ce phénomène fondamental de transduction électromécanique, se définit ainsi:

« **Un potentiel électrique oscillant fait alternativement se contracter et se dilater un cristal en produisant des vibrations ultrasonores** »

« La réflexion de cette onde US sur le cristal (nature du cristal : quartz) produit à l'inverse un **courant électrique mesurable.** »

1- Effet piézoélectrique :

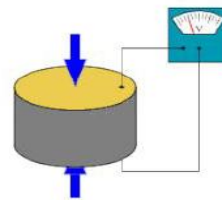
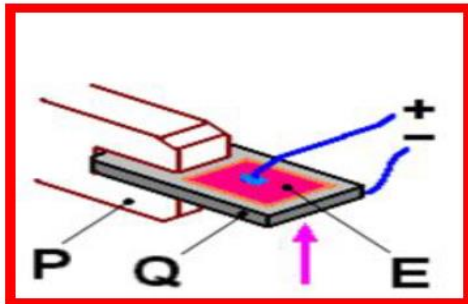
l'application d'une différence de potentiel alternative entre les faces d'un cristal (céramique à effet piézoélectrique) provoque une **variation d'épaisseur** de celui-ci.

L'oscillation du cristal entraîne la vibration du milieu de propagation et l'émission des ondes ultrasonores.

2- Sonde émettrice - réceptrice :

- le cristal est contenu dans la sonde constitue le maillon essentiel de la chaîne échographique et conditionne la qualité de l'image.

- Une des faces du cristal est immobilisé par un bloc d'amortisseur destinée à diminuer la résonance du cristal à chaque stimulation électrique.



SCHEMA
CONSTITUANT
LE TRANSDUCTEUR

E= électrodes (excitation électrique)
Q= quartz : matériau corps élastique= cristal
P= plaque portant le matériau

-Le cristal est un disque dont **l'épaisseur est un multiple** de la demi longueur d'onde « λ »

-Chaque cristal émet une petite **bande de fréquence** ; la fréquence dominante sur laquelle est accordé le cristal est « la fréquence nominative de la sonde ».

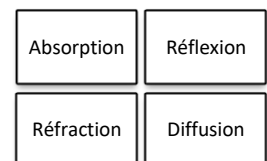
- L'ébranlement du cristal frappé par une onde sonore engendre une DDP entre les faces de la céramique **proportionnelle** à l'énergie acoustique reçue ; la détection de cet ébranlement constitue la **RÉCEPTION**

Interactions avec la matière :

-Une onde ultrasonore, qui se propage dans un milieu matériel, voit **son énergie diminuer progressivement**.

-C'est ce qu'on appelle **l'atténuation** de l'onde.

-Cette atténuation a pour origine les interactions entre l'onde et le milieu de propagation.



Réflexion et réfraction: Base de la formation des échos

V-FORMATION DES ECHOS

1-RÉFLEXION :ET REFRACTION

-La réflexion se produit lorsqu'une onde ultrasonore de longueur d'onde λ rencontre une grande interface S par rapport à la longueur d'onde séparant deux milieux d'impédances acoustiques différentes, Z_1 et Z_2 .

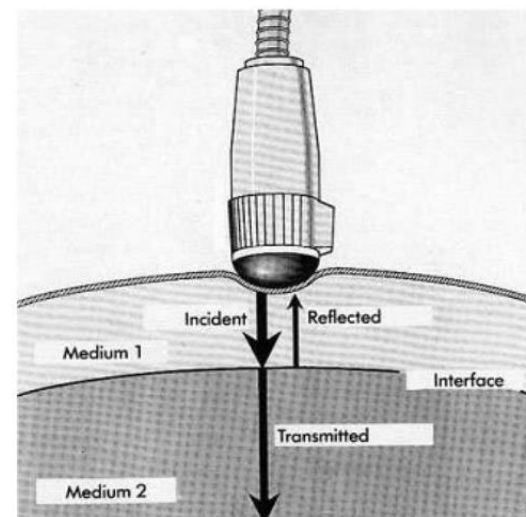


Schéma expliquant la réflexion
de l'onde US

-Une fraction de l'énergie contenue dans l'onde incidente est réfléchiée par l'interface dans une direction symétrique de la direction incidente par rapport à l'interface.

-La différence entre énergies incidente et réfléchiée est transmise sous forme d'une onde réfractée

Réflexion d'une onde ultrasonore

incidente i à une interface S , séparant deux milieux 1 et 2 r est l'onde réfléchiée ;

t est l'onde transmise.

-Plusieurs conditions sont nécessaires pour l'enregistrement des échos:

A- **le milieu de propagation** des us doit comporter des variations de Z suffisantes pour qu'il y ait formation d'échos.

B- **l'énergie du signal** doit être suffisante pour parvenir à la sonde.

C- **la réflexion des us** envers la sonde doit se faire sur une direction perpendiculaire à l'axe du faisceau si non le signal réfléchi est atténué

2- **IMPEDANCE** -La réflexion sonore se produit lorsque les conditions de propagation entre 2 ACOUSTIQUE « Z »:

milieux changent brutalement: $Z = \rho \times V$

V : vitesse de propagation cm/sec

ρ = densité du milieu:

-pourcentage de réflexion $R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \times 100$

Diffusion:

-Lorsque l'onde ultrasonore rencontre une cible de **petite dimension** par rapport à sa longueur d'onde et non plus une

interface de grande taille, on observe, au lieu d'une réflexion et d'une transmission partielles, **une diffusion multidirectionnelle**.

-elle se produit lors de l'interaction entre une onde de longueur d'onde λ et un petit obstacle de dimension $a < \lambda$.

-Du fait de la présence même de l'obstacle sur le trajet de l'onde incidente, celui-ci vibre et réémet dans **toutes les directions** de l'espace une fraction de l'énergie contenue dans l'onde incidente.

Absorption:

-l'absorption par les tissus traversés d'une partie de l'énergie contenue dans l'onde incidente, c'est la dégradation de l'énergie mécanique contenue dans l'onde us en **énergie thermique** qui est alors dissipée dans le milieu.

-Elle a deux origines: la viscosité des tissus

les réactions chimiques d'équilibre présentes dans l'organisme

AU TOTAL

la **réflexion** et la **diffusion** sont des mécanismes d'interaction nécessaires à la formation du signal échographique

-la **réflexion**: donnant **contour** des organes.

-la **diffusion** donne l'image de la

-L'**absorption**, en revanche, ne échographique, et participe même à sa

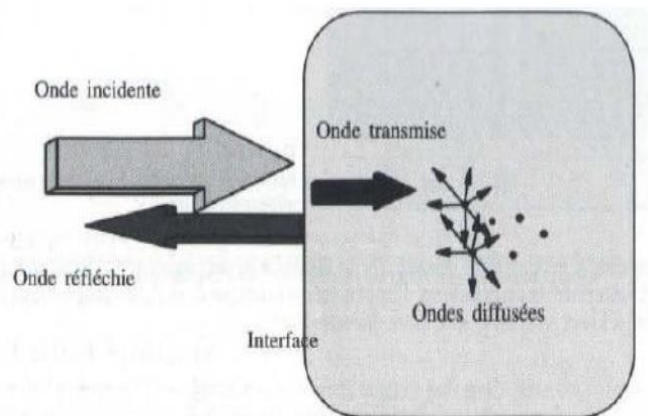
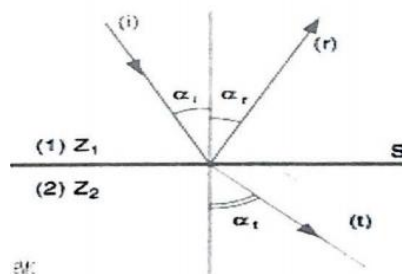


Figure 1-3.

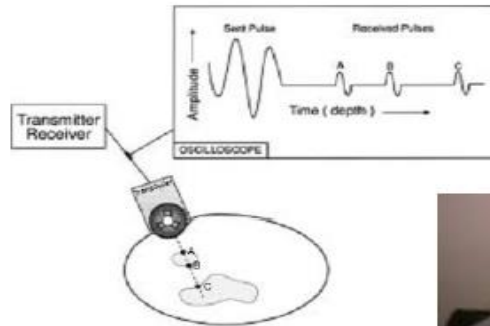
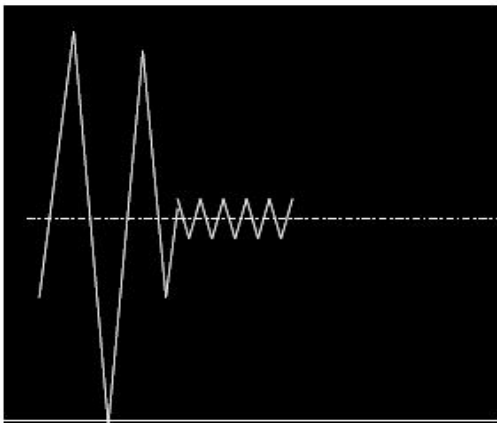
L'interaction entre le faisceau ultrasonore incident et les tissus biologiques donne naissance à des ondes réfléchies et diffusées.



structure interne de ceux-ci. contribue absolument pas au signal **dégradation**.

VI-METHODES ECHOGRAPHIQUES EN EXPLORATION MEDICALE

1-mode « A » amplitude:



-Visualisation 1D de l'amplitude du signal recueilli par la sonde en fonction de la profondeur
Le mode « a » tend à disparaître, il permet de détecter la nature liquidienne de certains structures(les processus tumoraux intra crâniens chez les nouveau-né) il est aussi utilisé en Ophtalmologie.

2-MODE « B » brillance:

Le mode le plus couramment utilisé. La déflexion est transformée en point lumineux de brillance proportionnelle a la hauteur du pic (échelle de gris) les points d'intensité variable allant du blanc au noir en passant par le gris.



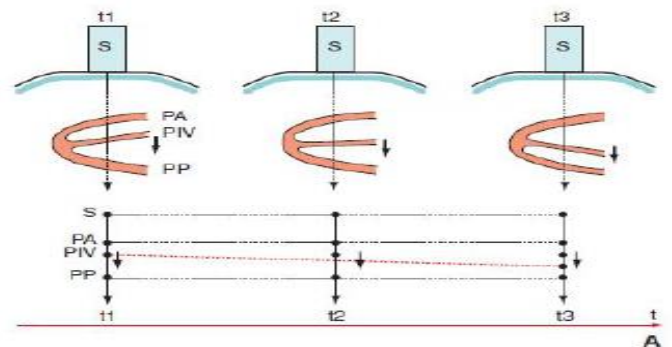
-Type I: stations

Balayage de contact avec déplacement manuel de la sonde ne permet de visualiser qu'un seul plan sur lequel est posé à la sonde.

la sommation des images linéaire de plusieurs plans donne une véritable tomographie ultra sonore.

-Type II: temps réel

Avec déplacement automatique de la sonde qui effectue un déplacement de balayage perpendiculaire et rapide, l'image est permanente et dynamique.



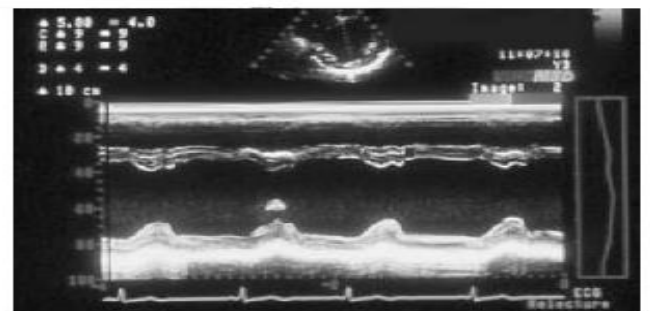
3-Mode temps-mouvement ou « TM »:

-Le mode TM le plus souvent Utilisé en cardiologie permet de suivre le mouvement des structures mobiles selon la direction d'exploration.

-Il utilise un seul transducteur, soit celui d'une mono sonde, soit un des transducteurs d'une sonde d'appareil temps réel.

-Le mode échographique B ainsi obtenu dans l'axe du faisceau est visualisé en fonction du temps.

-L'avantage du mode TM est qu'il permet de mieux apprécier les structures en mouvement et de calculer notamment des vitesses de déplacement



Mode
TM

L'échographie doppler

-L'échographie Doppler est un examen médical échographique en deux dimensions non invasif qui permet d'explorer les **flux sanguins** intracardiaques et intravasculaires. Elle est basée sur un phénomène physique des ultrasons, l'effet Doppler.

Principe

- L'onde réfléchie n'a pas la même fréquence incidente
- Elle augmente si de la sonde
- Elle diminue si sonde

Doppler :
fondamentale :

$$\Delta F = \frac{2F_0 v \cos(\theta)}{c}$$

ΔF : différence de fréquence
 F_0 : fréquence de l'onde incidente
 v : vitesse de l'interface
 θ : angle entre l'onde incidente et la trajectoire de l'interface
 c : vitesse du son

par une interface **mobile**
fréquence que l'onde

l'interface se rapproche

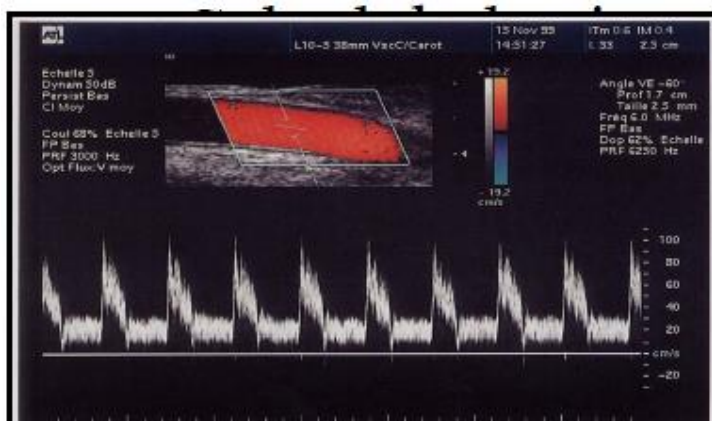
l'interface s'éloigne de la

Equation

Doppler couleur et pulsé

Code EN COULEUR et EN TEMPS REEL

- existe du mouvement SUR TOUTE UNE RÉGION 2D
- L'échelle couleur rend compte de la vitesse et de son sens
- Calcul de la vitesse très différent du mode pulsé

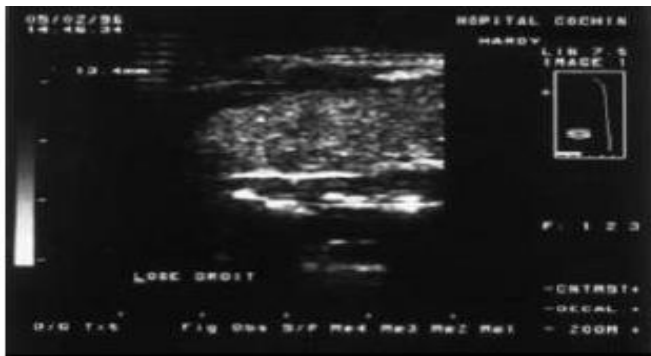


Doppler Energie

- Codage en couleur de l'énergie du signal Doppler au lieu du décalage de fréquence
- Energie du signal: Proportionnelle au nombre de GR en mouvement

Avantage

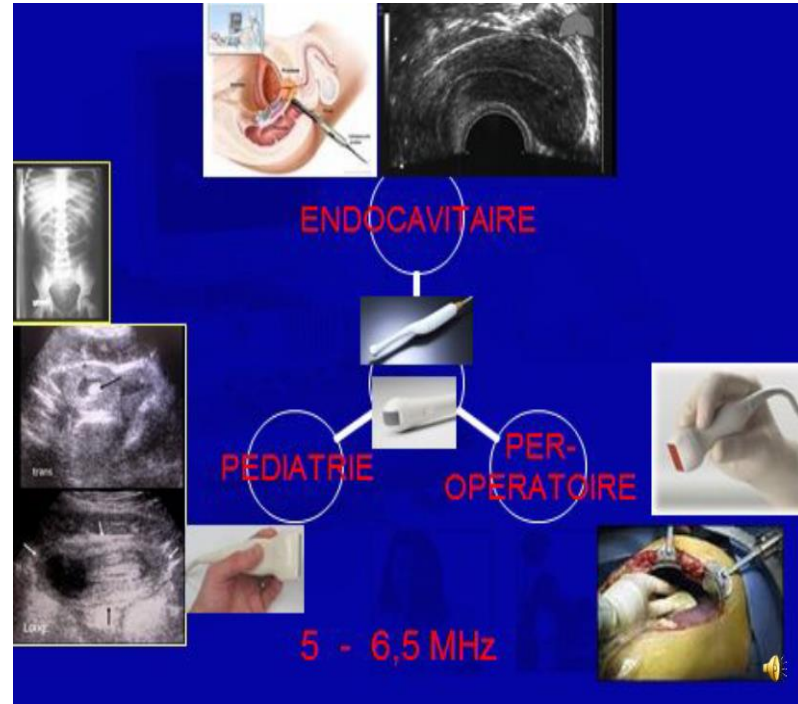
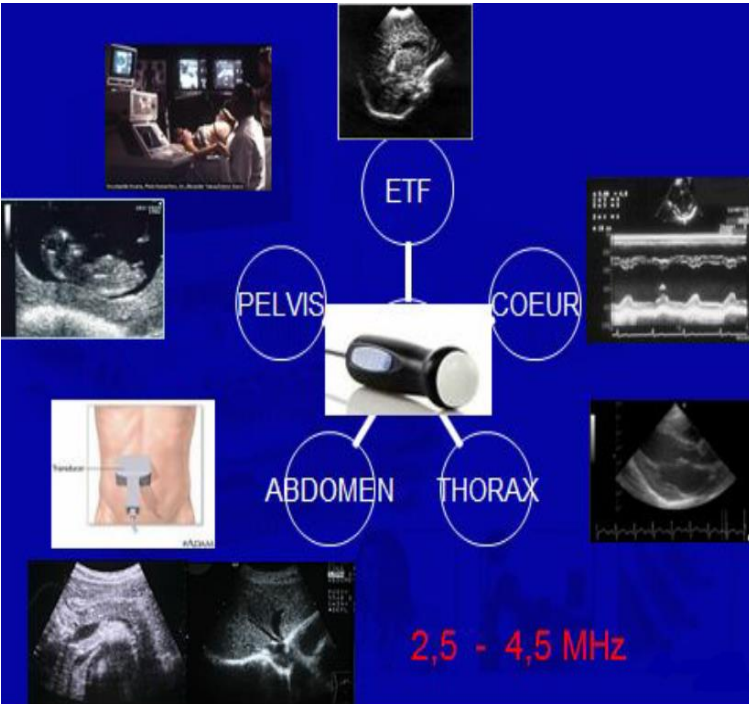
- Indépendance de l'angle
- Amélioration de la visualisation des petits vaisseaux parenchymateux
- Meilleure sensibilité aux flux lents



Balayage linéaire



Balayage sectoriel



VII-DIFFERENTS TYPES DE SONDES

SELON LE MODE DE BALYAGE

1-SONDE LINEAIRE:

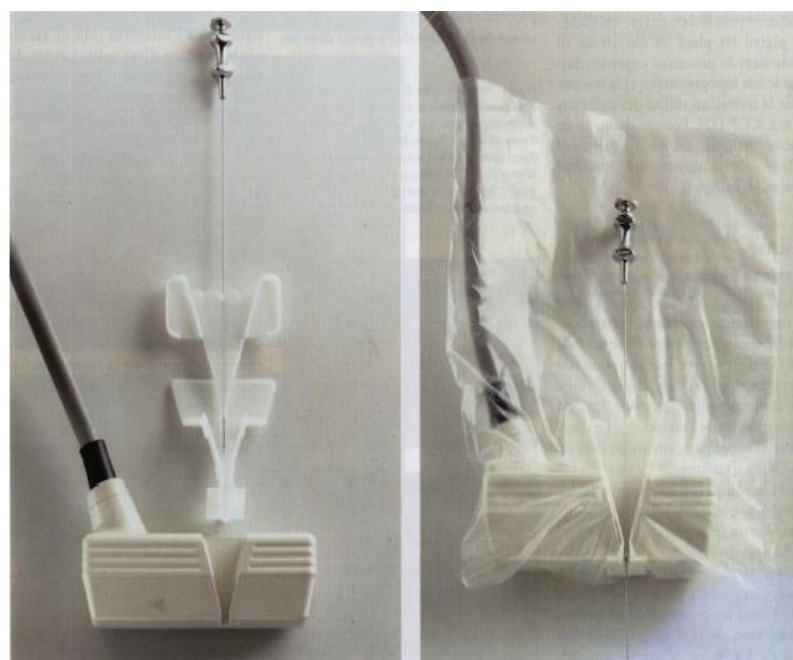
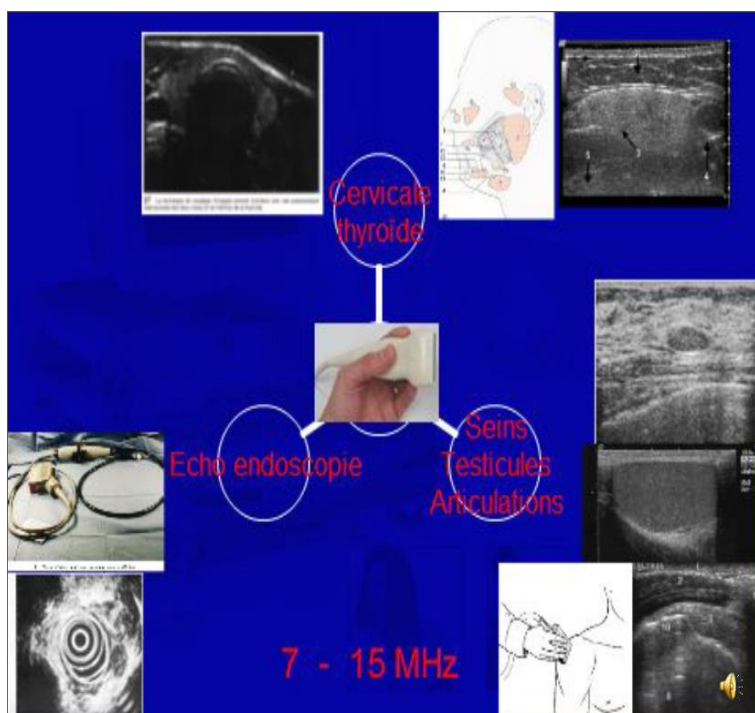
Sonde rectangulaire comportant plusieurs céramiques à effets piézoélectrique disposés parallèlement leurs stimulation est alternative.

2-SONDE SECTORIELLE:

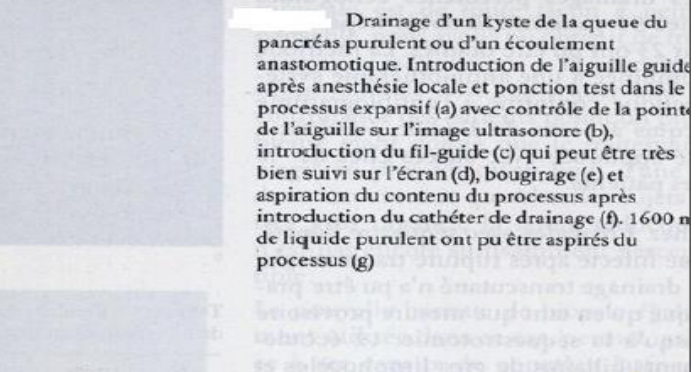
Donne des images en secteur de cercle et permet de varier l'angle de balayage.



Sonde pour ponction écho-guidée



Écho interventionnelle. Ponction drainage



VIII-Applications médicales d'échographie

Echo trans fontanellaire

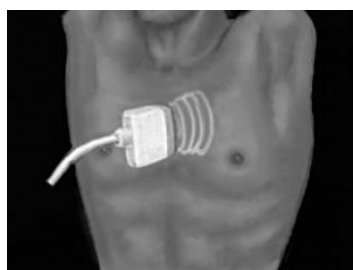
- L'échographie transfontanellaire (ETF) permet l'exploration morphologique et vasculaire du contenu intracrânien tant que la fontanelle antérieure est perméable chez le nourrisson.
- C'est la méthode de choix pour faire le premier bilan cérébral et le suivi chez le prématuré.



kyste arachnoïdien

échographie thoracique

- examen de référence dans l'exploration du coeur et de ses vaisseaux, elle permet également d'apprécier de petits épanchements pleuraux



Échographie abdominale :

-meilleur examen pour détecter des calculs dans la vésicule biliaire. Le foie, la rate, les reins et les uretères sont en général très bien explorés

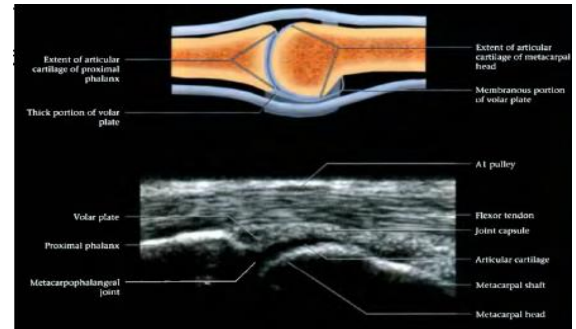
Échographie pelvienne :

-indiquée en première intention en gynécologie (exploration de l'utérus, des trompes et des ovaires) et surtout en obstétrique, elle permet également d'étudier la prostate et la vessie et est utilisée dans la détection des hernies inguinales.



Echographie des parties molles sous-cutanées et du système musculosquelettique:

-oriente le diagnostic d'une tuméfaction cliniquement palpable (adénopathie, lipome, kyste...) aussi il peut mettre en évidence des collections liquidiennes (hématomes, kystes, épanchement articulaire ...)



Échographie mammaire:

-L'échographie mammaire est un moyen majeur d'imagerie mammaire puisqu'elle joue le rôle principal dans les procédures de biopsie mammaire et est un auxiliaire utile pour l'examen des patientes à risque souvent couplée à la mammographie, elle permet notamment de déterminer la nature d'une lésion.



Echographie scrotale

-Explore les bourses et les testicules pour confronter la pathologie médicochirurgicales et traumatique .



Echographie scrotale : volumineuse formation isoéchogène au parenchyme testiculaire, fine capsule hypoéchogène. Calcifications.

Echographie par voie endovaginale (EDV):

-Approche de seconde intention mais son utilisation tend à devenir systématique dans les premier et deuxième trimestres car il fournit un apport diagnostique considérable .

-Effectué a vessie vide, avec une sonde sectorielle a haute fréquence (5 à 10 MHz multifréquence de préférence), il permet une imagerie de haute définition.

Echographie endorectale:

-L'échographie endorectale est un examen qui permet de visualiser la paroi du rectum grâce à l'introduction d'une sonde échographique.

- Une échographie endorectale est un examen qui permet :
 - d'évaluer l'extension de la tumeur dans la paroi du rectum ;
 - d'évaluer si des ganglions autour du rectum sont atteints ;
 - de préciser la localisation et la taille de la tumeur ;
 - d'évaluer la distance entre la partie inférieure de la tumeur et l'anus .



Sonde endorectale dans le cadre d'une

ponction prostatique échoguidée

Echographie 3D/4D:

-L'imagerie échographique 3D est une imagerie mode B qui nécessite, dans un premier temps, l'acquisition du signal Sonde endorectale dans le cadre d'une ponction prostatique échoguidée échographique, ligne par ligne, provenant de tout un volume tissulaire et, dans un deuxième temps, la reconstruction et la présentation des coupes échographiques appartenant à ce volume, à partir des données obtenues.



-La 4D utilisée notamment en obstétrique permet aux parents de voir les mouvements de l'enfant, les mimiques et les gestes qu'il peut effectuer dans le ventre maternel (sucrer son pouce, ouvrir les yeux, attraper son pied...) Elle permet de se rendre compte du comportement du bébé et de ses émotions in utero.

Echographie de contraste

-Le principe de l'échographie repose sur le suivi du rehaussement observé après administration de produits de contraste ultrasonore (PCUS), qui sont des microbulles de quelques micromètres de diamètre.

-Des nouvelles études se développent, montrant son intérêt croissant en pathologie rénale, pancréatique, cardiaque, transcrânienne, prostatique, ainsi que dans le diagnostic du reflux vésico-urétéral chez l'enfant.

L'élastographie par ultrasons

-Le principe théorique des techniques d'imagerie par élastographie s'appuie sur l'analyse des caractéristiques différenciées des tissus à l'aide du module de **rigidité/élasticité**.

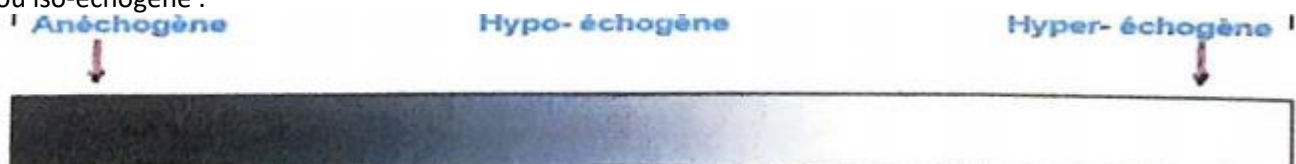
-L'élastographie peut compléter l'examen échographique classique en améliorant la précision du **dépistage** ou du diagnostic des tumeurs du sein ou de la prostate.

IX-SEMILOGIE ECHOGRAPHIQUE

Échostructure

-dans l'organisme, il existe des milieux qui atténuent faiblement le faisceau et ne le réfléchissent pas (milieu liquidien) ; il apparaît donc une image noire, vide d'échos, anéchogène ou transonore.

-D'autres milieux au contraire, atténuent le faisceau de manière importante et donnent lieu à des réflexions ; il apparaît donc une image contenant des échos disséminés allant du gris au blanc = hypo-échogène ; hyper-échogène ou iso-échogène .



1-liquide:

-Si homogène sans particules en suspension:

Il ne provoque aucune réflexion et apparaissent sous forme d'une zone dite anechogène.

Avec renforcement postérieur

-avec des particules en suspension:

Qui provoquent des réflexions sous forme de zone faiblement échogène dont la répartition(homogène , hétérogène en position déclive)et l'intensité(plus au moins échogène) des échos dépend de la (nature +importance des particules).

2-TISSUS MOUS:

Echogene: multiples échos dont le nombre et l'intensité (+/-Echogene) ainsi que la répartition (homogène ou hétérogène) dépend de la structure tissulaire.

3-STRUCTURES DENSES:

Calculs, calcifications, pièces du squelette=>formation d'échos intense(hyper échogènes)avec cône d'ombre postérieur.

4-GAZ:

Arrêtent la propagation échogène pourvu postérieur



ECHOGRAPHE

des us=>image fortement d'ombre acoustique



SEMANTIQUE

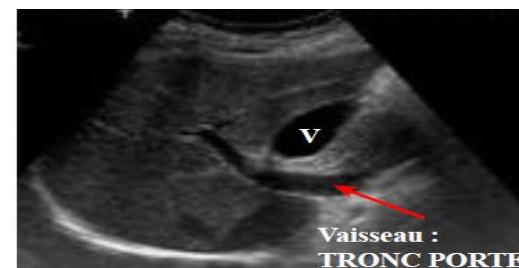
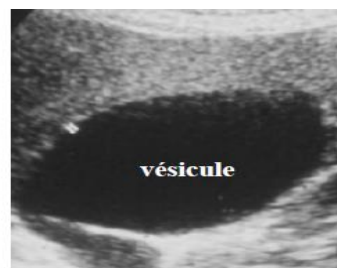
Langage échographique:

Termes utilisés pour définir les caractéristiques ultrasonores de l'image obtenue par le **procédé piézoélectrique**

- Interface, Paroi
- Ombre acoustique
- Renforcement postérieur
- Echo-structure

INTERFACE

C'est une zone de séparation entre deux milieux d'impédance acoustique **différente** (c'est une limite). Elle est échogène
Ex : Foie/Diaphragme



PAROI

La paroi est une structure réfléchissante entre deux milieux de **même impédance**
Ex : Paroi vésiculaire, vésicale, vasculaire

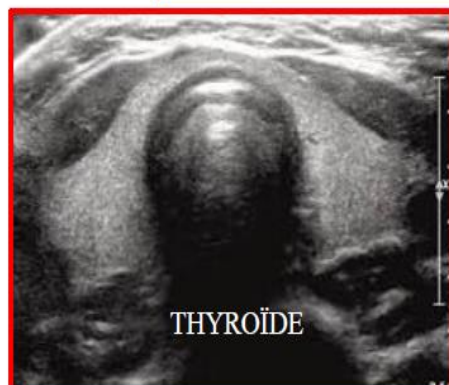
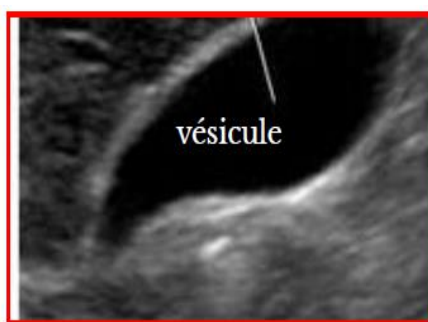
**PAROI ANTERIEURE
EPAISSEUR NORMALE
<3 à mm**

OMBRE ACOUSTIQUE

L'ombre acoustique est due à une réflexion totale des US par les substances suivantes :



**Ombre Acoustique (flèche rouge)
Calcul vésiculaire (flèche jaune)**



EMBRYON
↓
FOETUS



AIR/ OS/ CALCIFICATIONS



Hyperéchogènes avec ombre acoustique caractérisant leur nature.



XI-CONCLUSION

- L'échographie est un examen non-invasif, indolore, sans rayons X , D'accès rapide.
- Elle n'a aucune contre-indication ni précaution particulière.
- Elle donne des images en temps réel, ce qui permet de guider certaines interventions(biopsies à l'aiguille).
- C'est un examen qui dépend également du matériel ,du manipulateur et du patient .