

Bases Techniques de l'Échographie

4/7

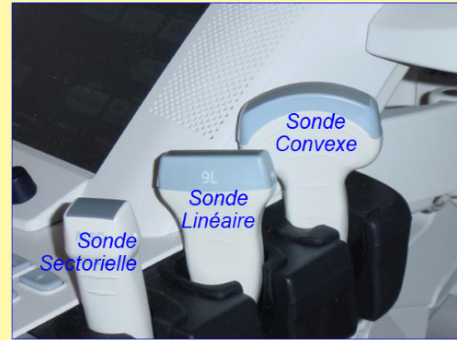
Michel Dauzat, Antonia Pérez-Martin, Iris Schuster-Beck, Gudrun Böge, Jean-Pierre Laroche

(avec de nombreux emprunts aux autres enseignants du Diplôme Inter-Universitaire d'Echographie)

Service d'Exploration & Médecine Vasculaire
CHU de Nîmes
EA 2992 - Université Montpellier 1
Site de Nîmes

Nîmes - Novembre 2014

Le mode de balayage échographique

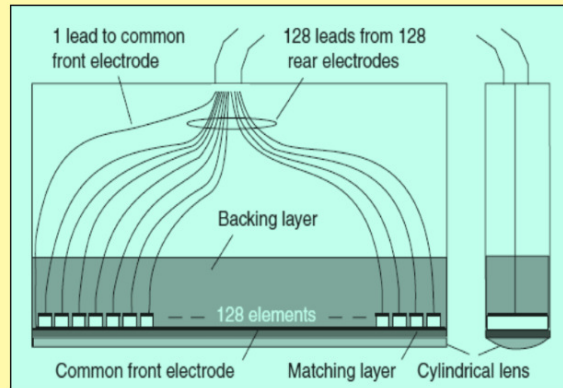


La grande majorité des sondes d'usage clinique courant repose désormais sur un balayage électronique, par commutation successive des groupes de transducteurs, permettant de construire des coupes rectangulaires (sondes linéaires) ou en secteur de cercle (sonde sectorielle)

Aujourd'hui, la majorité des sondes échographiques repose sur le balayage électronique, c'est-à-dire que le déplacement de la ligne d'exploration n'est pas obtenu par le déplacement mécanique du transducteur, mais par la commutation électronique de transducteurs alignés à la surface de la sonde. Cette surface est, selon le cas, rectiligne (sonde dite « linéaire ») ou convexe (sonde « convexe »). Sur les sondes sectorielles électroniques, la divergence des lignes d'exploration permet d'explorer un secteur de cercle.

Une sonde de type sectoriel peut comporter 64 transducteurs, tandis qu'une sonde linéaire peut en comporter jusqu'à près de 300. Chacun des transducteurs piézo-électrique élémentaires est donc de très petites dimensions. Ils ne fonctionnent pas isolément mais par groupes.

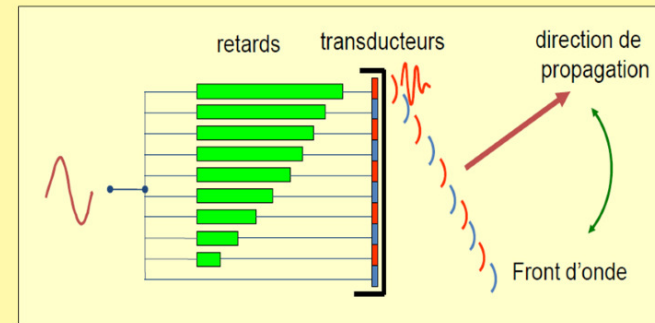
L' échotomographie



Les sondes à balayage électronique sont formées par l'alignement d'un grand nombre de transducteurs élémentaires (jusqu'à près de 300 sur des sondes « barrettes ») activés par groupes fonctionnels.

Une sonde à balayage électronique est donc comparable à l'assemblage d'un grand nombre de petites sondes juxtaposées. On retrouve, en arrière, le matériau d'amortissement, et, en avant, l'isolation électrique, la couche d'adaptation d'impédance, et la lentille acoustique, ces éléments étant communs à l'ensemble des transducteurs élémentaires. Par contre, chacun de ces transducteurs dispose de ses propres électrodes.

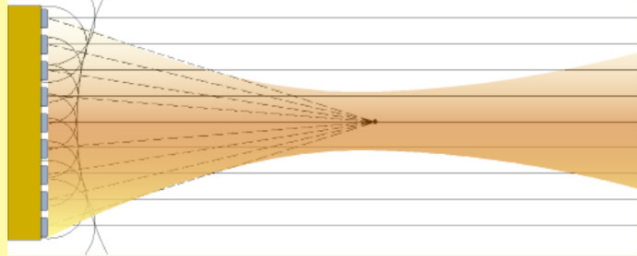
Le mode de balayage échographique



Le balayage électronique fait appel à des groupes de transducteurs, excités successivement, de sorte à orienter l'onde résultante dans une direction précise.

Ces transducteurs élémentaires sont "excités" par une impulsion électrique, à laquelle ils répondent par une déformation, générant une impulsion acoustique. Ils fonctionnent par groupes, mais ne sont pas excités de façon simultanée. Un discret décalage du temps d'excitation permet de générer un faisceau ultrasonore dont on peut contrôler l'orientation et la focalisation.

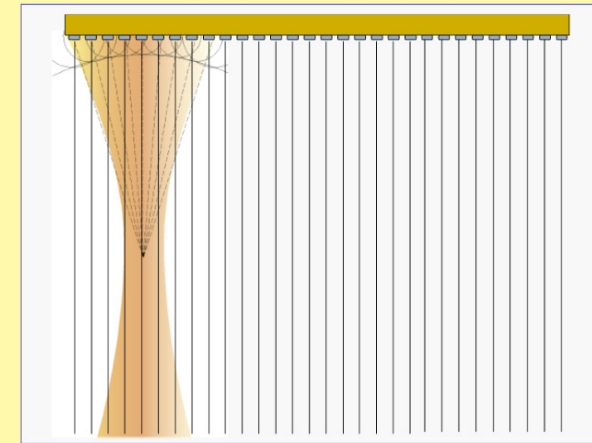
Le balayage échographique



Les sondes « électroniques » de type « barrette » sont formées par l'alignement d'un grand nombre de transducteurs élémentaires, activés par groupes pour la construction de chaque ligne d'exploration.
En déphasant l'excitation des transducteurs au sein d'un groupe, on peut focaliser le faisceau d'ultrasons.

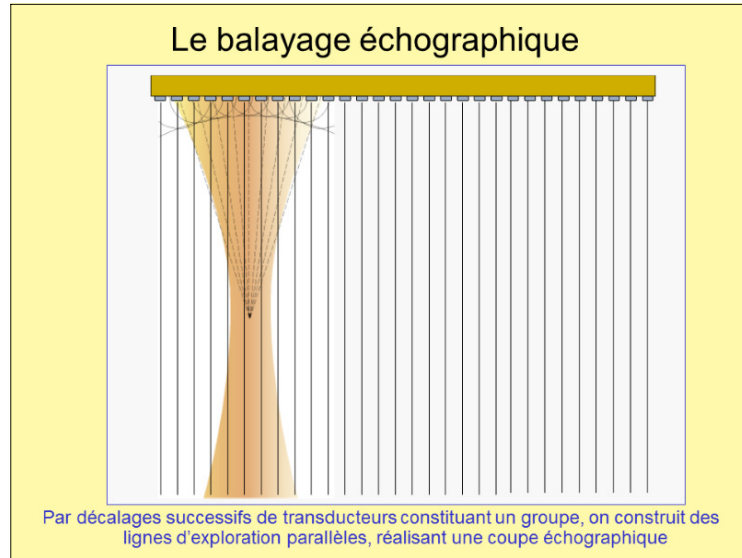
Ainsi, une ligne d'exploration n'est pas construite par l'activation d'un seul transducteur, mais d'un groupe de transducteurs (8, 16, voire 32). Ceci permet de "mimer" un transducteur de plus large dimension, et donc de mieux contrôler la géométrie du faisceau d'ultrasons ainsi généré. En effet, en activant en premier lieu les transducteurs situés aux extrémités du groupe, puis ceux qui se rapprochent du centre, et en dernier les transducteurs centraux, on parvient à donner au faisceau d'ultrasons une convergence ou "focalisation", exactement comme en optique à l'aide d'une lentille convexe. C'est ce que l'on appelle la « focalisation électronique ».

Le balayage échographique

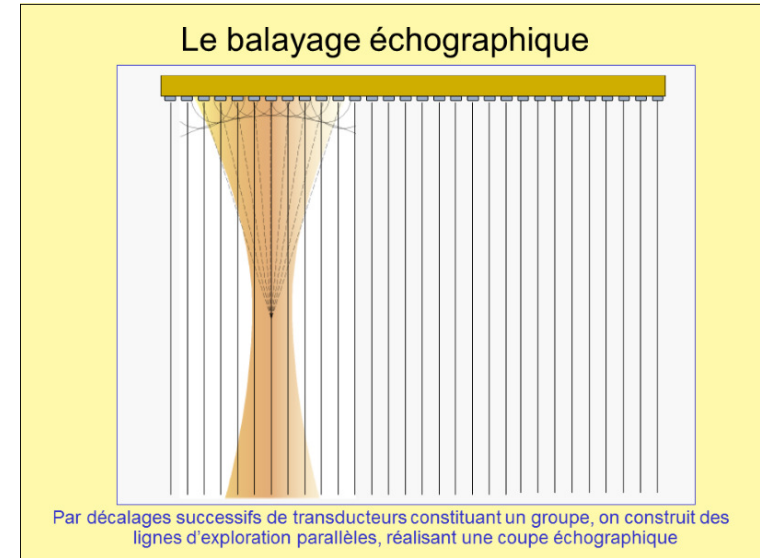


Par décalages successifs de transducteurs constituant un groupe, on construit des lignes d'exploration parallèles, réalisant une coupe échographique

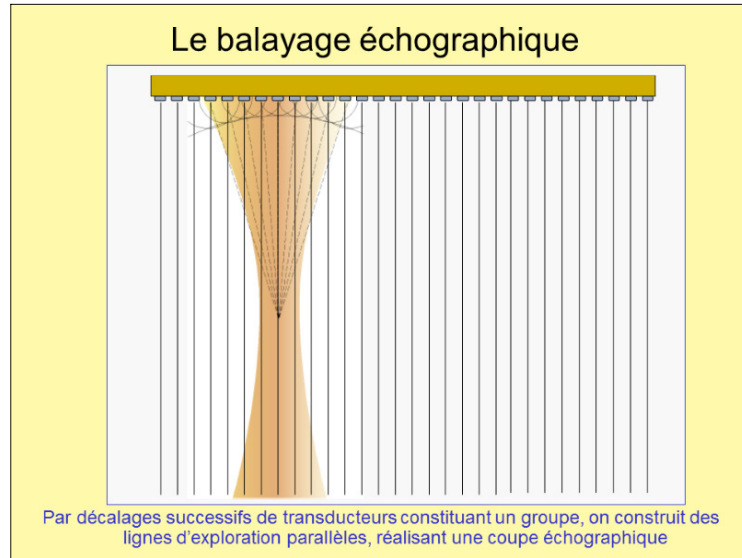
Le faisceau ainsi généré peut être déplacé dans le plan de coupe échotomographique, tout simplement en décalant les transducteurs formant le groupe activé : par exemple, en activant d'abord les transducteurs n° 1 à 9



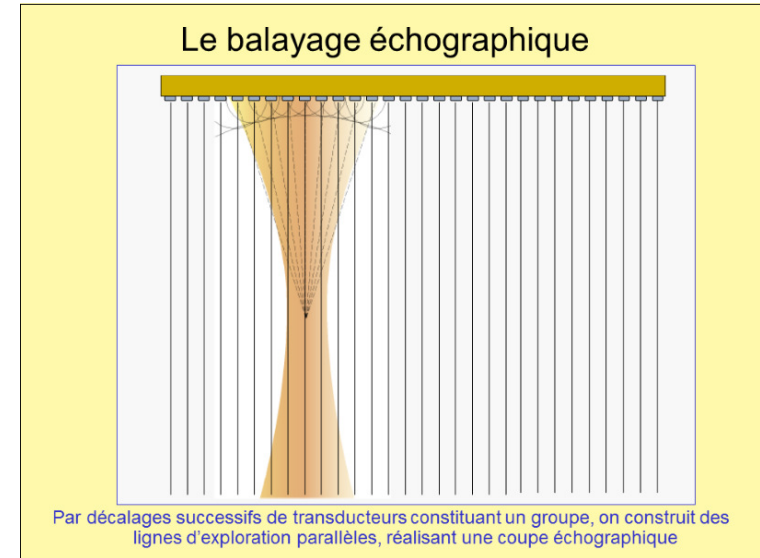
Puis 2 à 10



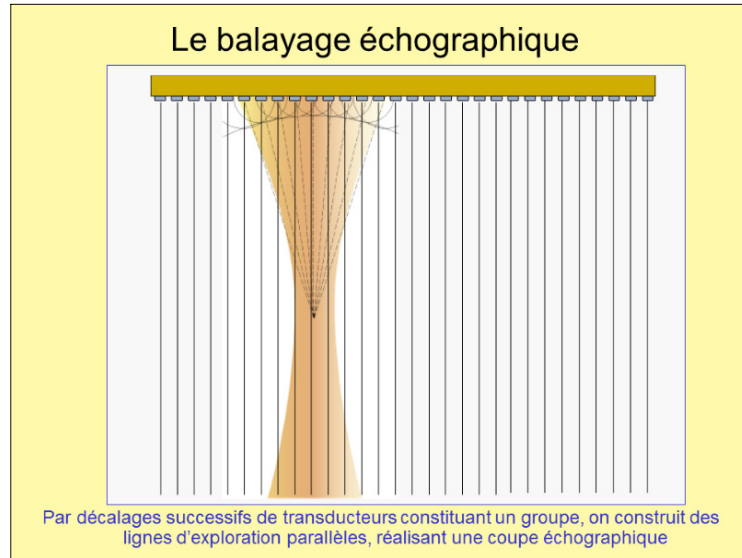
Puis 3 à 11



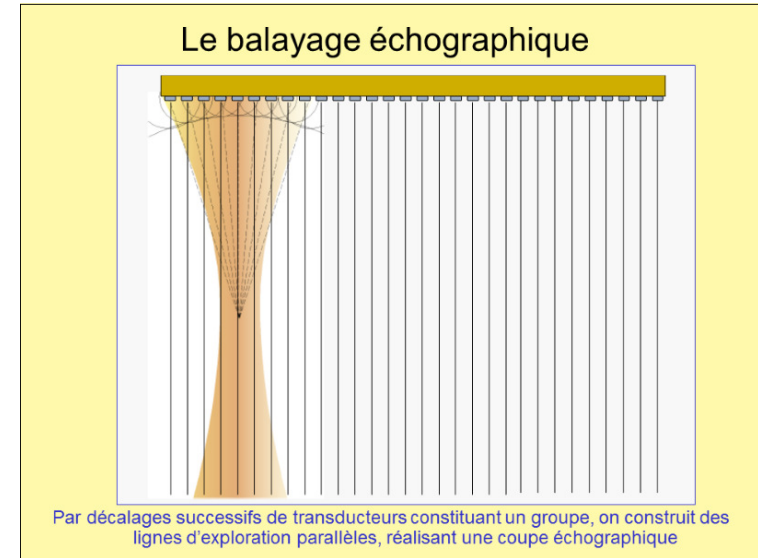
Et ainsi de suite...



Selon le cas, le groupe peut être formé d'un plus ou moins grand nombre de transducteurs élémentaires.

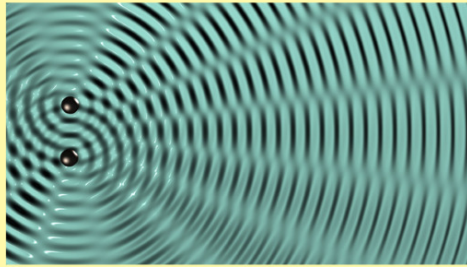


Au total, cela permet de construire un grand nombre de lignes parallèles d'exploration. Si, par exemple, la sonde comporte 292 éléments, et que ceux-ci sont activés par groupes de 32, il est possible de construire une image formée de $292-32+1 = 261$ lignes. Si la longueur totale de la sonde est de 39 mm, il en résulte que l'image est faite de lignes parallèles distantes de 0,15 mm.



On obtient de cette façon un balayage "électronique" dans un plan, à une cadence qui peut être compatible avec une exploration "en temps réel".

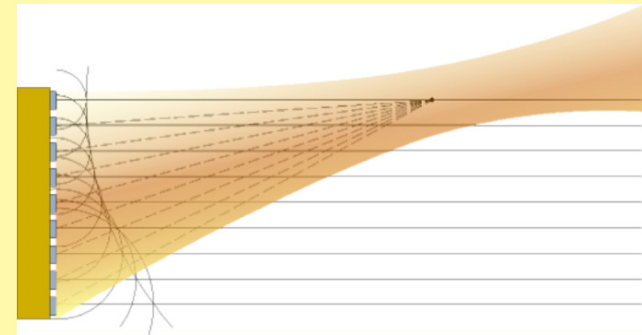
Le balayage échographique



Chacun des transducteurs élémentaires génère une onde circulaire. En un point donné du plan de propagation, les ondes émises par les différents transducteurs s'additionnent ou se soustraient donc (interférences). Le contrôle électronique permet de déterminer le moment d'excitation de chaque transducteur de sorte à obtenir que l'énergie acoustique soit maximale en un point précis

Le faisceau peut donc "balayer" le plan de coupe, ce qui permet de construire une image sectorielle. Si l'on considère en effet que chacun des transducteurs élémentaires génère une onde circulaire, le contrôle électronique du moment précis de l'excitation de chaque transducteur permet de faire en sorte que l'énergie acoustique soit maximale en un point donné, qui peut se trouver face à la sonde ou dans une direction oblique. La répartition de l'énergie acoustique forme ainsi un « faisceau » ultrasonore dont on peut contrôler la direction.

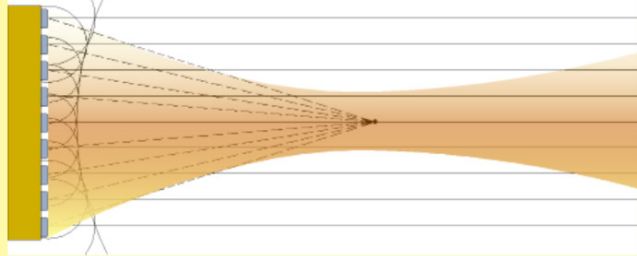
Le balayage échographique



Les sondes « électroniques » de type « barrette » sont formées par l'alignement d'un grand nombre de transducteurs élémentaires. Ceux-ci sont activés par groupes pour la construction de chaque ligne d'exploration. En décalant l'excitation des transducteurs au sein d'un groupe, on peut focaliser le faisceau d'ultrasons généré, mais aussi l'orienter dans le plan de façon variable

De même, en jouant sur le délai d'émission des impulsions au sein du groupe de transducteurs, il est possible de donner au faisceau d'ultrasons généré une inclinaison par rapport à la surface de la sonde. Cette inclinaison peut être modifiée d'un tir à l'autre, de sorte que le faisceau peut ainsi parcourir ("balayer") un secteur de cercle : c'est le balayage sectoriel électronique.

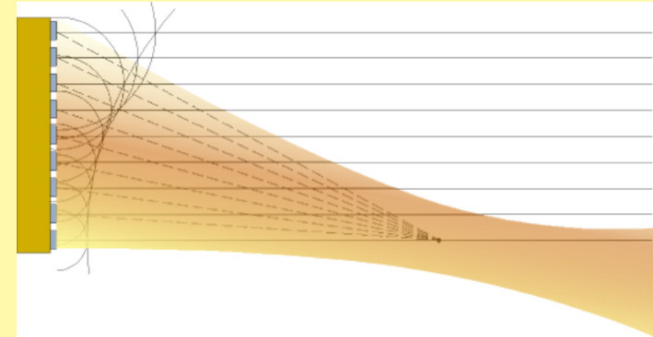
Le balayage échographique



Il « suffit » de modifier la répartition des retards entre groupes de transducteurs lors des tirs successifs pour modifier l'orientation du faisceau en fonction de la géométrie d' image voulue

Le faisceau peut ainsi "balayer" le plan de coupe, ce qui permet de construire une image sectorielle.

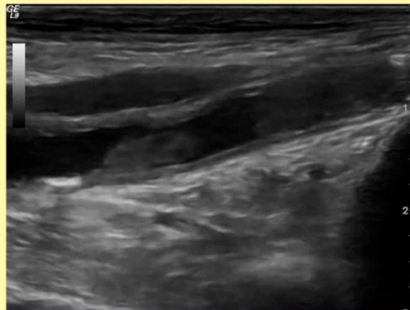
Le balayage échographique



Il « suffit » de modifier la répartition des retards entre groupes de transducteurs lors des tirs successifs pour modifier l'orientation du faisceau en fonction de la géométrie d' image voulue

C'est le principe de fonctionnement des sondes électroniques sectorielles dites « phased array », ce terme évoquant le déphasage des impulsions adressées aux différents transducteurs élémentaires pour permettre ce balayage.

Le mode de balayage échographique

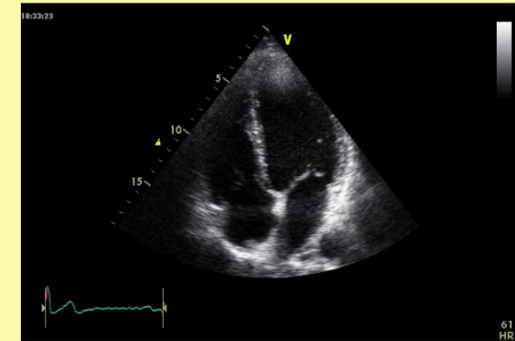


Balayage linéaire électronique :

Organes superficiels, muscles et tendons, vaisseaux du cou et des membres, c'est-à-dire lorsque l'accès (« fenêtre acoustique) aux organes examinés n'est pas restreint par un obstacle (os ou air)

Voici un exemple de sonde à balayage linéaire avec l'image obtenue. Il s'agit d'une image rectangulaire, constituée de lignes parallèles les unes aux autres. De telles sondes sont utilisées lorsque l'accès aux organes examinés n'est pas restreint par des obstacles acoustiques (air ou os). Tel est le cas, d'une façon générale, des artères et veines périphériques et des tissus superficiels (muscles, tendons, thyroïde, seins...).

Le mode de balayage échographique

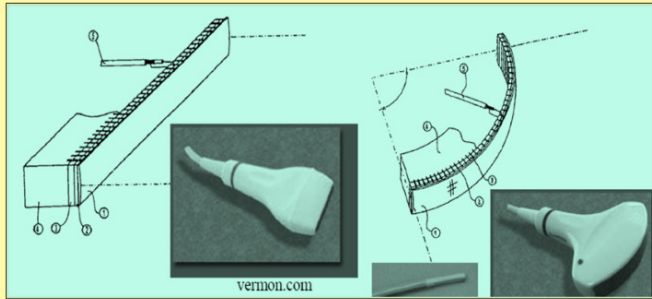


Balayage sectoriel électronique

Cœur, Cerveau (Doppler trans-crânien) : organes dont l'accès est restreint par des obstacles acoustiques (côtes, air alvéolaire, os du crâne)

Voici un exemple de sonde à balayage sectoriel électronique. Ce type de sonde est utilisé lorsque les obstacles acoustiques ne ménagent que d'étroites "fenêtres". C'est le cas pour l'exploration du cœur (échocardiographie) où les fenêtres acoustiques disponibles, entre les côtes sur le bord gauche du sternum, sont très limitées, ainsi que pour l'examen Doppler transcrânien des artères cérébrales.

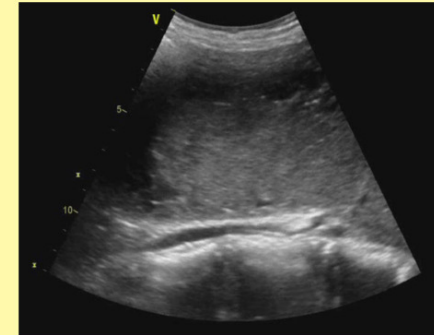
Le mode de Balayage



Le Balayage électronique sur sonde Convexe

Les sondes dites « convexes » sont des barrettes dont la surface est incurvée de sorte que les lignes d'explorations sont, comme sur une sonde sectorielle, divergentes, mais la surface de contact à la peau est plus large.

Le mode de balayage échographique

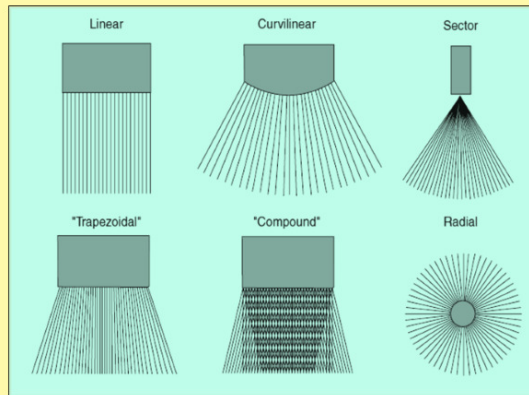


Balayage convexe électronique :

Obstétrique, Abdomen : accès acoustique correct, mais
champ exploré plus large en profondeur

Voici donc un exemple de sonde électronique convexe. Ce type de sonde est utilisé lorsque les fenêtres acoustiques disponibles sont relativement larges, mais que l'on souhaite disposer d'un champ de vision plus large encore en profondeur. Ces sondes sont donc préconisées pour l'exploration de l'abdomen et pour l'obstétrique. Les sondes d'exploration endo-cavitaire font aussi, le plus souvent, appel au mode de balayage échographique convexe.

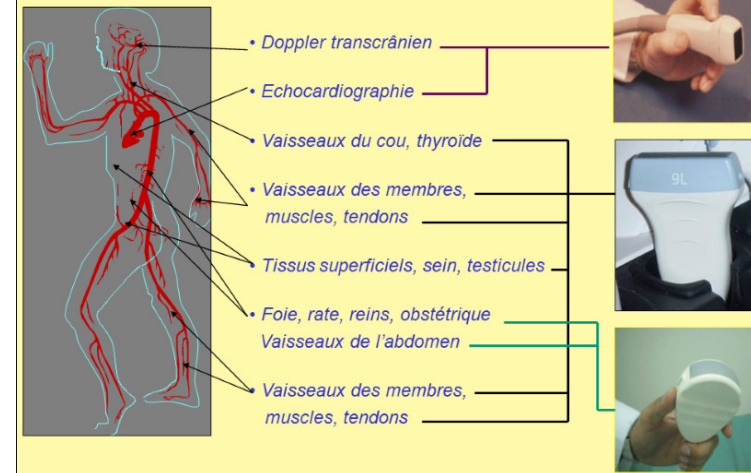
Le mode de balayage échographique



D'autres modalités de balayage sont possibles pour améliorer l'image (balayage composé) ou des applications spécialisées (sondes endo-cavitaires)

Outre les trois principales modalités de balayage (linéaire, sectoriel, convexe), on trouve aussi des sondes à balayage circulaire (pour l'exploration endo-cavitaire ou endo-vasculaire). En outre, les sondes linéaires peuvent mettre à profit les possibilités d'inclinaison du faisceau ultrasonore pour construire des images trapézoïdales (donc explorant un champ plus large en profondeur qu'en surface, comme les sondes convexes), ou un balayage composite : l'image présentée sur l'écran est alors, en réalité, composée de plusieurs images construites sous des incidences différentes, ce qui permet une meilleure définition des interfaces disposées plus ou moins perpendiculairement à la surface de la sonde, comme les parois latérales d'un kyste ou d'un vaisseau.

Champ d'application des sondes

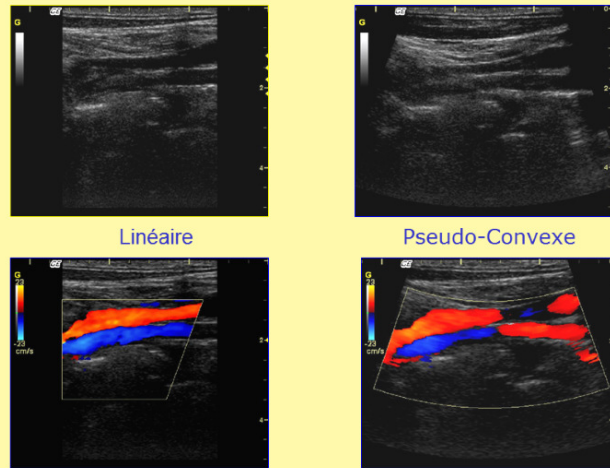


Les sondes sectorielles sont utilisées en échocardiographie et pour l'examen Doppler transcrânien, car ces applications cliniques ne sont possibles qu'à travers des fenêtres acoustiques restreintes (espaces intercostaux, écaïlle temporale).

Les sondes linéaires sont utilisées pour tous les organes superficiels auxquels l'accès n'est pas gêné par de l'air ou des os : muscles et tendons, thyroïde, sein... ainsi que les vaisseaux du cou et des membres.

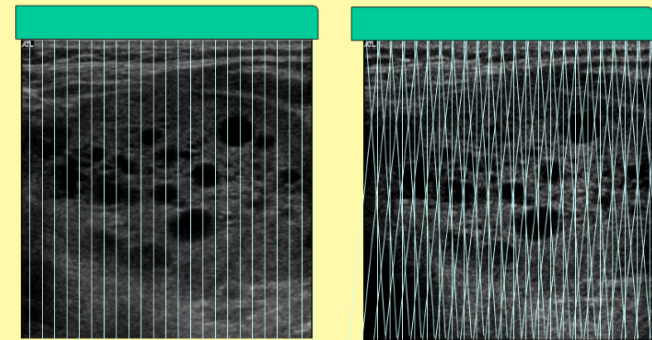
Les sondes convexes sont utilisées pour l'échographie abdominale et l'obstétrique.

Incidence Echographique & mode de Balayage



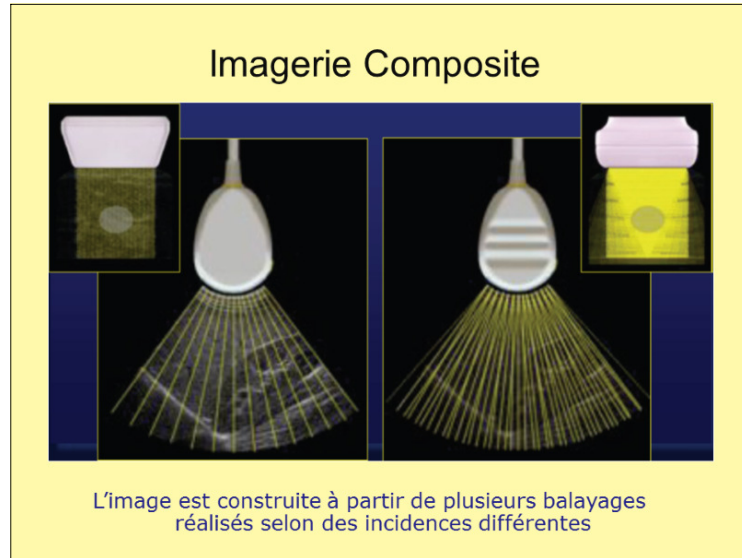
Le contrôle du faisceau ultrasonore par ces techniques de déphasage d'excitation des transducteurs élémentaires permet de générer, à partir d'une sonde linéaire, un balayage trapézoïdal, étendant ainsi le champ exploré en profondeur. En général, l'utilisateur doit choisir entre le balayage trapézoïdal ou le balayage incliné (d'un côté ou de l'autre) et le balayage composé. Ce dernier est le plus souvent proposé par défaut, en raison de l'amélioration considérable de qualité d'image qu'il fournit, au prix d'une légère diminution de la cadence réelle d'imagerie.

Balayage composé (« SonoCT »)

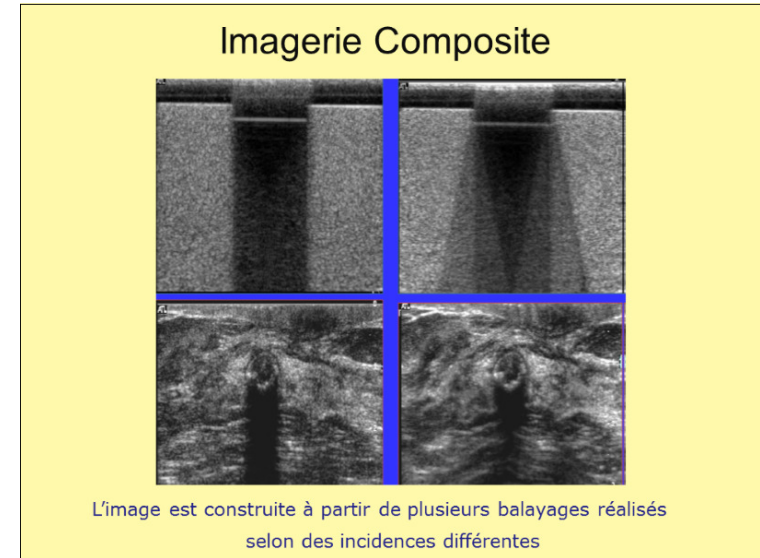


L'image est construite à partir de plusieurs balayages réalisés selon des incidences différentes

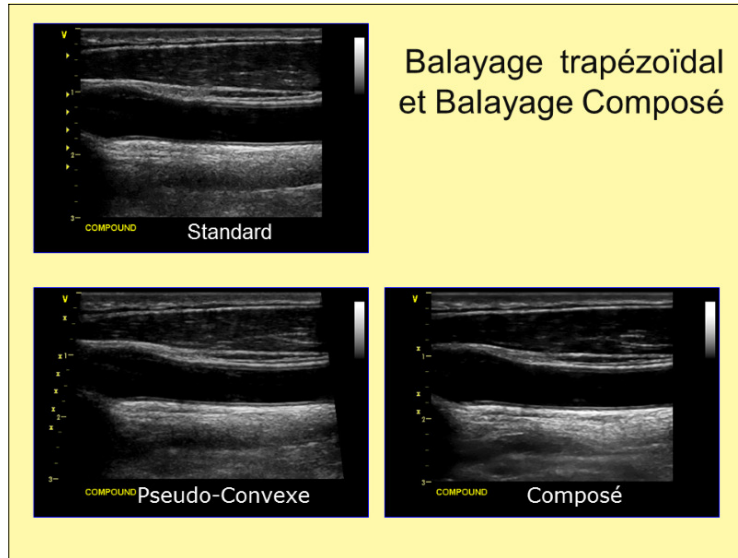
La plupart des appareils échographiques récent intègre en effet le "balayage composé", qui permet de construire une image (en mode linéaire ou convexe) selon plusieurs incidences, ce qui offre une meilleure qualité de définition des bords latéraux des structures sphériques ou cylindriques. L'image telle qu'elle apparaît sur l'écran est donc composée de plusieurs images, de sorte que la cadence réelle d'imagerie est légèrement réduite, sans que cela apparaisse pénalisant pour l'observateur.



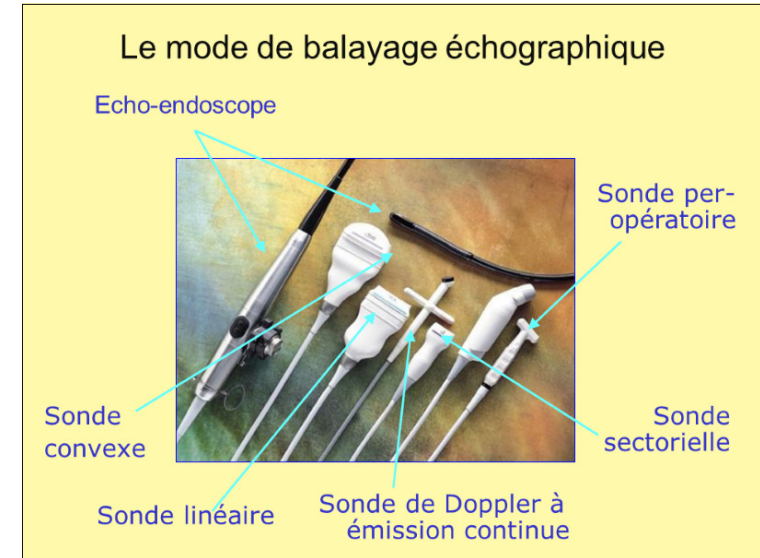
Cette technique est désormais mise en oeuvre aussi sur les sondes convexes.



En voici une illustration sur fantôme, montrant bien les différentes incidences, et sur une image échographique réelle, montrant la réduction de l'ombre acoustique en arrière d'une structure atténuante.

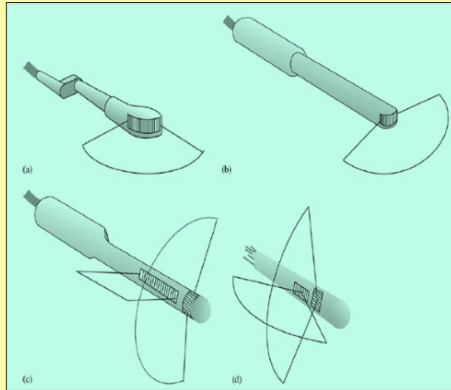


Sur une sonde donnée, l'utilisateur peut quitter le mode de balayage composé pour activé le mode incliné ou trapézoïdal.



Il existe des sondes montées sur un endoscope, pour l'exploration cardiaque par voie endo-oesophagienne, pour l'exploration de l'appareil digestif (œsophage, estomac, duodénum et sphincter d'Oddi) et pour l'exploration endo-bronchique. Il existe aussi des sondes en forme de cathéter, d'abord mécaniques rotatives, puis, désormais, électroniques, pour l'examen endovasculaire (essentiellement pour les artères coronaires), des sondes d'usage peropératoire, des sondes endo-rectales ou endo-vaginales...

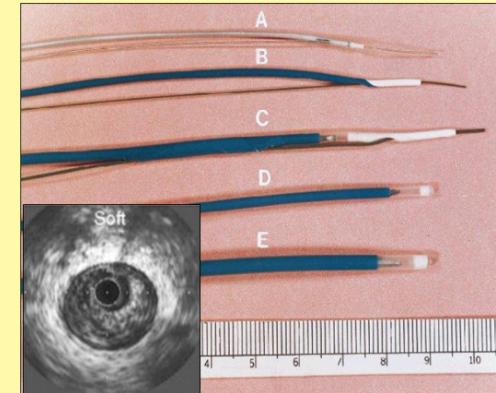
Le mode de balayage échographique



Les sondes endo-cavitaires peuvent associer plusieurs modes de balayage. Ex: sondes « biplans »

Les sondes endo-rectales et endo-vaginales peuvent du reste associer plusieurs modes de balayage : linéaire dans un plan et dans le plan perpendiculaire, linéaire dans un plan et convexe dans l'autre...

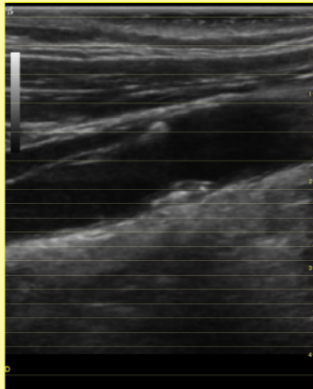
Le mode de balayage échographique



Les sondes endo-vasculaires, de haute fréquence (autour de 30 MHz) étaient initialement mécaniques (rotatives) mais sont désormais aussi électroniques

Les sondes endovasculaires étaient jusqu'à présent mécaniques, un élément transducteur étant placé à l'extrémité d'un guide souple rotatif au sein d'une gaine. Les sondes récentes sont électroniques, donc sans élément mobile. Leur fréquence est de l'ordre de 30 MHz.

Filtres de réduction du bruit d'interférence



Plaquette carotidienne
Haute Fréquence + XBeam + SRI

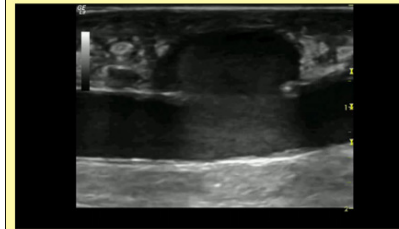
Un filtrage spatial permet d'affecter un niveau de gris homogène à toutes les zones de l'image comportant un signal aléatoire, donc correspondant au bruit d'interférence dû à des diffuseurs multiples. C'est le cas du filtre « SRI » (*speckle reduction imaging*)

L'image échographique bénéficie aussi de techniques d'amélioration de qualité par filtrage et traitement d'image. Certaines techniques, largement répandues, ont pour fonction :

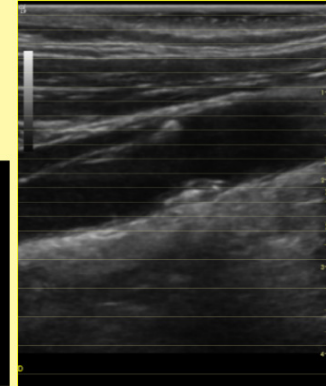
- d'adapter l'échelle de gris en répartissant les niveaux d'échogénicité constatés sur l'ensemble de l'échelle de gris disponible
- de renforcer les contours
- de « lisser » l'image par calculant la moyenne des pixels voisins, dans l'axe longitudinal ou transversal
- d'appliquer des techniques d'analyse et traitement automatique d'image pour identifier le bruit d'interférences produit par les multiples diffusions issues des cellules des parenchymes et affecter aux régions correspondantes un niveau de gris uniforme.
- L'image ci-dessus présente un exemple de ce type de traitement d'image sur une petite plaque carotidienne.

Balayage composé et réduction du bruit d'interférence

Un filtrage spatial permet d'affecter un niveau de gris homogène à toutes les zones de l'image comportant un signal aléatoire, donc correspondant au bruit d'interférence dû à des diffuseurs multiples. C'est le cas du filtre « SRI » (*speckle reduction imaging*)



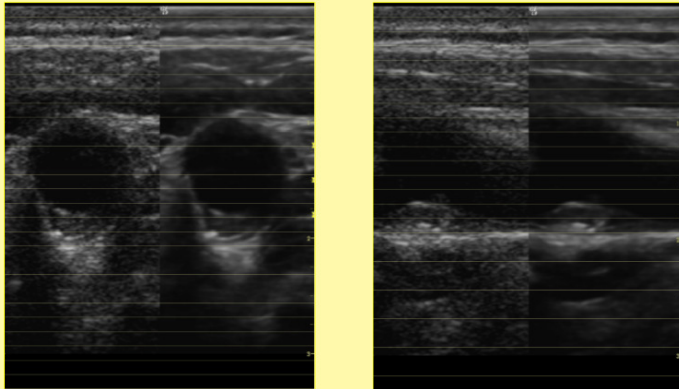
Faux anévrisme sur le drainage d'une
fistule artério-veineuse



Plaquette carotidienne

En voici deux autres exemples, sur un faux-anévrisme le long du drainage d'une fistule artério-veineuse, et sur une plaque carotidienne mixte.

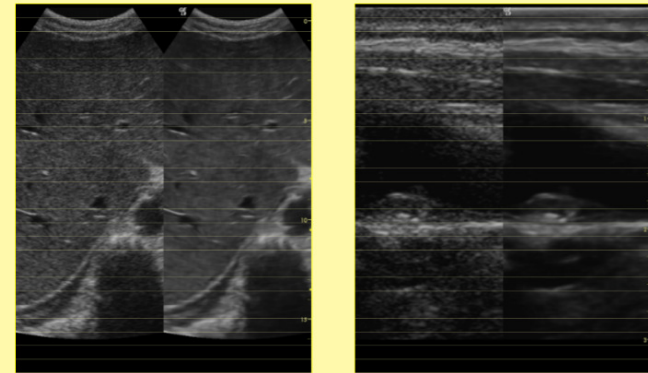
Filtres de réduction du bruit d'interférence



*Plaque hétérogène non sténosante du bulbe carotidien
Haute Fréquence + XBeam + SRI*

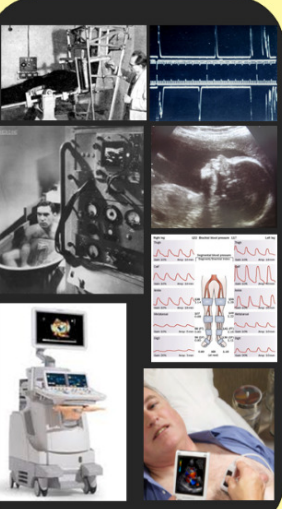
Les différentes techniques peuvent être combinées, comme le balayage composite et le traitement d'image. C'est ce que montrent ces images comparatives en coupe transversale et longitudinale d'une plaque carotidienne.

Filtres de réduction du bruit d'interférence



Mode SRI (Speckle Reduction Imaging)

En voici deux autres exemples, sur le parenchyme hépatique sain, à gauche, et sur une plaque carotidienne, à droite.



Bases Techniques de l'Échographie

5/7

**Michel Dauzat, Antonia Pérez-
Martin, Iris Schuster-Beck,
Gudrun Böge,
Jean-Pierre Laroche**

*(avec de nombreux emprunts aux
autres enseignants du Diplôme Inter-
Universitaire d'Echographie)*

Service d'Exploration & Médecine Vasculaire
CHU de Nîmes
EA 2992 - Université Montpellier 1
Site de Nîmes

Nîmes - Novembre 2014