

# 13 - Les bases physiques et techniques du guidage en échographie interventionnelle

D. Matter

Centre Imagerie médicale - Strasbourg

## Introduction

L'échographie est aujourd'hui largement utilisée pour le guidage des procédures interventionnelles car elle présente dans ce domaine des avantages importants par rapport aux autres moyens de guidage : large diffusion des appareillages, méthode non irradiante, simple à mettre en œuvre, guidage en temps réel, mobilité des appareils.

La mise en œuvre de l'échoguidage nécessite une compréhension des bases physiques et de la technique de l'examen, pour une maîtrise de ses possibilités et de ses limites, afin d'en optimiser les indications et les résultats.

## 1° Les objectifs médicaux du guidage.

### a) Pourquoi utiliser un guidage ?

° Le but le plus évident est d'atteindre une cible identifiée par l'échographie particulièrement lorsque la méthode la plus simple c'est-à-dire la palpation manuelle, n'offre pas une efficacité ou une sécurité suffisante.

La cible doit être visible en échographie dans de bonnes conditions, c'est la première étape du choix de la méthode de guidage parmi toutes les possibilités : palpation, radioscopie, scanner, IRM, etc....

° Le deuxième intérêt est de guider un instrument à un point précis d'une lésion, en effet l'échographie permet de reconnaître la structure interne des lésions et de choisir avec précision la zone dans laquelle sont réalisés les prélèvements : bordure de la lésion incluant la capsule et le tissu sain voisin, région nécrotique ou au contraire zone vascularisée en mode doppler, portion charnue d'une tumeur partiellement kystique, thrombus endovasculaire, etc....

### b) Les instruments à guider ont plusieurs buts :

- réaliser des prélèvements pour analyses bactériologiques, chimiques, parasitologiques, cytologiques ou histologiques.
- Injecter des produits de contraste pour opacification de structures canalaire ou de cavités.
- Injecter des substances dans un but thérapeutique.
- Placer des sondes de radiofréquence, de thérapie thermique, non seulement dans une lésion mais parfois dans une région bien particulière d'une lésion.

## 2° Le cahier des charges du guidage échographique.

### a) Comment guider :

L'**instrument** doit être visible en échographie avec un contraste suffisant par rapport au tissu qui l'entoure, notamment à son extrémité,

le **tissu** dans lequel cet instrument est guidé doit être explorable en échographie (ce qui exclut les structures hyper réfléchissantes comme l'os et l'air),

Les **structures voisines** et surtout les structures à **risques** doivent être bien identifiées (vaisseaux, organes creux et notamment tube digestif contenant de l'air).

### b) Où guider :

Le tissu dans lequel est réalisé le guidage doit être accessible à l'échographie, aucun écran acoustique ne doit s'interposer entre la cible et le point d'entrée de l'instrument de ponction.

### c) Les contraintes anatomiques.

L'échographie ne peut pas être employée pour toutes les procédures de guidage car il est nécessaire de disposer d'une **fenêtre** de guidage de taille suffisante permettant de placer la sonde à proximité du point d'entrée de l'instrument. La qualité de l'image se dégrade avec l'**éloignement** de la sonde et la précision du guidage diminue d'autant.

### d) La maîtrise du risque.

L'indication de l'examen et le protocole de préparation sont de la responsabilité de l'opérateur qui doit prendre à cet égard toutes les précautions nécessitées par le cadre juridique actuel :

- nécessaire accord du patient validé oralement ou par écrit,
- protocole de préparation du patient : absence de contre-indications, étude de la coagulation sanguine, anesthésie ou sédation,
- préparation du champ opératoire, précautions d'hygiène.
- limitation du risque par rapport au bénéfice attendu : il faut éviter de prendre des risques inutiles, éviter la traversée ou la ponction accidentelle des vaisseaux, du rein, de la plèvre, du pancréas ou des structures digestives, surtout le côlon. Ce sont en effet les principaux facteurs de risque (hémorragie, infections, pancréatite), quelles que soient les qualités techniques et l'expérience de l'opérateur.

### e) Formation théorique et pratique :

L'apprentissage du geste et le contrôle de la qualité de l'acte reposent sur une formation théorique et pratique, initiale et continue, par exemple sur des organes de cadavres, sur des simulateurs virtuels, ou sur des patients sous la direction d'un opérateur expérimenté.

### f) Le lieu de l'examen

C'est une salle de radiologie conventionnelle ou d'échographie, une salle d'imagerie interventionnelle ou n'importe quelle structure médicale si l'on dispose d'un échographe mobile (service de réanimation par exemple).

### 3° Les bases physiques du guidage.

#### a) La représentation de la cible dans les trois plans de l'espace corporel.

L'opérateur emploie toutes les techniques d'imagerie à sa disposition ainsi que l'examen clinique lorsqu'il est contributif pour identifier et localiser la cible par rapport aux plans cutanés. Cette représentation tridimensionnelle peut être favorisée par le marquage de repères cutanés figurant la cible, les organes voisins, les organes critiques.

b) Une voie d'abord sûre : A partir de ces données, l'échographie doit permettre le choix d'une voie d'abord sûre, où l'aiguille sera visible sur tout son trajet, elle sera placée dans le plan d'exploration de la sonde d'échographie en totalité ou en grande partie afin d'être bien visible, la taille de la sonde, sa forme, la fréquence du faisceau et la possibilité d'une imagerie doppler sont des éléments qui doivent permettre de réunir :

- une bonne visibilité de la cible,
- une bonne visibilité de la fenêtre de guidage,
- un bon contraste de l'aiguille par rapport aux tissus dans lesquels elle progresse.

Enfin, après la ponction l'échographie permettra de surveiller la cible, le chenal de guidage, et l'apparition d'éventuelles complications comme l'hémorragie dont il faut savoir qu'elle est difficile à voir immédiatement : en effet, elle est initialement hyperéchogène, son contraste est donc moins favorable que les images de type hypoéchogène qui sont plus facilement identifiées par l'œil de l'échographiste.

En revanche, si l'hémorragie se produit dans un milieu hypoéchogène, elle sera mieux visible.

### 4° Conséquences sur le choix du matériel de guidage et de ponction.

#### a) La sonde échographique :

La **taille de la sonde** doit permettre de concilier deux impératifs opposés :

-d'un côté ne pas gêner l'opérateur lorsque la fenêtre de ponction est petite, permettre de ponctionner le plus près possible de la sonde surtout lorsque la fenêtre est de petite taille et ne permet pas d'éloigner la sonde du point d'entrée (par exemple par voie intercostale ou au niveau du cou),

-au contraire, disposer d'une grande image échographique permettant de bien situer les organes voisins, de voir la totalité du chenal et la plus grande partie de la lésion, grâce à une sonde large ou à un champ d'exploration s'ouvrant largement et rapidement (sonde convexe avec champ sectoriel). Il ne faut pas négliger le passage de l'aiguille dans les plans superficiels où des complications à type d'hématome peuvent notamment s'observer, et le guidage doit commencer dès la pénétration de la peau.

La **fréquence de la sonde** détermine la résolution de l'image en surface et la pénétration du faisceau en profondeur. Là aussi les impératifs sont opposés : il faut disposer d'une imagerie de qualité en surface surtout si la lésion est superficielle, et pouvoir suivre l'aiguille en profondeur si nécessaire. Le meilleur compromis est obtenu en disposant de plusieurs sondes, de taille, de forme et de fréquence différentes.

**L'imagerie doppler est-elle utile ?**

Sans nul doute car elle permet d'évaluer l'importance de la vascularisation au niveau de la cible mais aussi dans la fenêtre de ponction et autour de la cible (vaisseaux interposés, vaisseaux péri-lésionnels ou intra-lésionnels) et de prévoir ou d'éviter un risque d'hémorragie.

En outre cette imagerie doppler permet dans le rein notamment de se rendre compte de l'existence d'une hémorragie importante et de s'assurer de l'efficacité de la compression par la disparition des micro fistules qui apparaissent immédiatement après le retrait de l'aiguille de biopsie dans le parenchyme rénal. En revanche l'imagerie doppler a l'inconvénient de s'accompagner d'artéfacts de mouvement qui se superposent à l'imagerie en mode B et peuvent gêner le repérage des différentes structures et interfaces. Il faut donc pouvoir mettre en œuvre l'imagerie doppler ou la supprimer sur l'écran de façon simple.

- b) L'instrument : la visibilité de l'instrument (aiguille, drain, cathéter, ...) qui pénètre le corps est le point clé du guidage. Il est nécessaire de comprendre pourquoi cet instrument est bien ou mal visible et comment l'on peut en augmenter la visibilité afin de mieux reconnaître sa position à l'intérieur du corps.

**L'aiguille est un tube métallique creux ou plein (mandrin en place)** représenté en échographie par une ligne d'échos intenses punctiformes correspondant à l'interface d'entrée entre le milieu ambiant et le métal, la forte différence d'impédance acoustique entre les deux milieux réfléchit l'essentiel du faisceau. Lorsque l'aiguille est creuse, une seconde image d'interface peut se voir entre la paroi métallique et la lumière, venant doubler la ligne antérieure en arrière d'elle. D'autres lignes plus postérieures peuvent répéter l'interface antérieure très échogène surtout si le faisceau est orthogonal à l'aiguille, ces échos de répétition s'amenuisent avec la profondeur. Ces interfaces de paroi sont surtout visibles lorsque le faisceau d'ultrasons est perpendiculaire à l'aiguille, et l'image se dégrade lorsque le faisceau s'incline par rapport à l'aiguille. Le grain des échos est plus fin au point de focalisation de la sonde et en proximité de la sonde, alors que les échos sont plus grossiers, plutôt ellipses que points, à distance de la sonde car la résolution latérale du faisceau se dégrade. Un écho particulier dit tip-écho ou écho de l'extrémité de l'aiguille est visible au bout de l'aiguille qui est parfois plus échogène que le reste de l'aiguille. Il est lié à des artéfacts créés par l'orifice distal et le biseau. Les artéfacts produits par l'aiguille (répétition, diffusion) rendent difficile sa localisation dans un milieu échogène.

**Les instruments en plastique (drains, cathéters)** sont des tubes à parois parallèles identifiés par les échos produits aux interfaces entre le milieu ambiant et leurs parois, puis entre les parois et la lumière du tube. Lorsque le contenu du tube est liquide, les parois produisent chacune deux lignes d'écho, l'une à l'interface milieu - paroi, l'autre à l'interface paroi - lumière, soit au total quatre lignes d'échos presque sans artéfact associé. Ce signe n'est visible qu'à condition que le faisceau soit perpendiculaire à la paroi, sinon il n'y a aucune image car les tubes sont lisses. Si la lumière du tube a un contenu échogène, comme de l'air par exemple, le tube va apparaître comme deux parois échogènes parallèles, le double écho étant artéfacté surtout si la sonde n'a pas une fréquence élevée. L'image est visible même si le faisceau n'est pas strictement perpendiculaire au tube, mais sa qualité est meilleure si le faisceau est bien orthogonal à l'instrument.

Le premier facteur de visibilité de l'aiguille est donc **son inclinaison** par rapport à la direction du faisceau : lorsque le faisceau est parallèle à l'aiguille, l'image obtenue est une ombre

acoustique isolée, aucun écho n'est théoriquement obtenu sauf si la surface de l'aiguille est rugueuse ou présente des aspérités qui engendrent une réflexion multidirectionnelle du faisceau d'ultrasons, dans ce cas certains échos sont renvoyés vers la sonde et l'aiguille est donc visible. La première conséquence est qu'il est souhaitable d'incliner l'aiguille par rapport à la direction du faisceau d'ultrasons pour obtenir le meilleur écho possible. L'avantage des sondes sectorielles est que le faisceau est plus incliné en surface qu'en profondeur par rapport à l'aiguille qui est donc bien visible en surface lorsqu'elle a pénétré la peau, il est en outre plus facile d'incliner une petite sonde sectorielle qu'une sonde linéaire pour accentuer l'angle du faisceau d'ultrasons par rapport à l'aiguille.

L'aiguille peut être visible de deux manières : soit en la plaçant entièrement **dans le plan d'exploration de la sonde**, soit en l'observant par l'écho qu'elle génère à l'intersection avec un plan d'examen perpendiculaire à la direction de l'aiguille, et recoupant celle-ci en un seul point. Il est facile de comprendre que cette seconde méthode qui ne reconnaît l'aiguille que par un seul point n'est qu'une méthode d'appoint permettant de repérer l'aiguille dans un second plan, ce qui facilite sa localisation tridimensionnelle. Avec l'habitude, l'opérateur place plus volontiers l'aiguille dans le plan principal de la sonde pour qu'elle soit visible sur toute sa longueur et surtout pour qu'il voie l'écho de la pointe de l'aiguille qui est généralement un peu plus marqué que le reste de l'aiguille en raison des artefacts produits par l'extrémité de l'aiguille et son biseau ( tip-écho ).

D'autres artifices sont utiles pour une meilleure visibilité de l'aiguille : certaines aiguilles sont rendues **rugueuses** lors de leur fabrication, d'autres sont enduites d'un **revêtement échogène**, on peut aussi déplacer dans l'aiguille le mandrin qu'elle contient ce qui ajoute des échos supplémentaires, enfin la plupart des aiguilles sont accompagnées lors de leur traversée de la peau par de micro bulles d'air échogènes qui en facilitent le repérage.

Pour mieux distinguer l'aiguille du tissu qui l'entourne, on peut réaliser de petits **mouvements** de va et vient qui sont plus facilement repérés sur l'écran d'échographie.

Il ne faut faire progresser une aiguille qu'à condition d'être certain d'avoir identifié sa position et son extrémité.

Après la ponction, le retrait de l'aiguille s'accompagne généralement de micro hémorragies dans la trace de l'aiguille, sous forme de petites ponctuations hyperéchogènes dont certaines sont mobiles accompagnant le phénomène d'hémorragie, en outre les micro bulles d'air entraînées par l'aiguille sont parfois laissées en place dans le tissu et constituent un véritable marquage du tracé de l'aiguille.

### c) Conséquences sur le choix des matériels de guidage.

L'opérateur doit connaître sur chaque **sonde** la position du point de sortie du faisceau ultrasonore, il est préférable d'utiliser toujours le même agrandissement pour bien garder à l'esprit les dimensions du champ représenté par l'**écran** de l'échographe et la taille des organes, et mieux se représenter ainsi l'amplitude sur l'image échographique des mouvements que réalise la main de l'opérateur qui tient l'aiguille. Au début de son expérience il vaut mieux choisir un rapport d'image qui soit proche de l'échelle 1/1, et de ne pas trop agrandir l'image pour éviter de pousser l'aiguille trop loin. La cadence de l'image doit être suffisante pour visualiser les mouvements rapides. On peut procéder préalablement à la ponction à des mesures de

profondeur de la cible à l'aide du système de calibrage et éventuellement placer un repère stérile sur l'aiguille afin de figurer visuellement la profondeur optimale. L'utilisation d'un **système de guidage** de l'aiguille solidaire de la sonde est utile au moment de l'apprentissage, ce guide permet d'être certain que l'aiguille progresse bien dans le plan de coupe de la sonde échographique sous réserve que l'aiguille ne se plie pas et qu'il n'y ait pas de mouvements de torsion à la surface de la peau lorsque l'opérateur manœuvre la sonde.

Enfin la taille de l'aiguille doit être adaptée à la taille du guide pour qu'il la maintienne avec suffisamment de fermeté dans la bonne direction.

Le guide est également utile lorsque le contraste entre l'aiguille et le milieu ambiant est mauvais, particulièrement dans la fenêtre de ponction pour l'approche de la cible, ou lorsque la ponction est très superficielle car la visibilité de l'aiguille dans le premier centimètre sous la peau est parfois insuffisante (ponction des structures superficielles, à proximité de vaisseaux comme dans le cou par exemple).

Le seul inconvénient du guide est l'existence d'une fenêtre aveugle dans le premier ou les deux premiers centimètres puisque ces systèmes sont souvent déportés latéralement par rapport à la sonde et que le tip-écho ne devient visible que lorsqu'il pénètre dans le faisceau d'ultrasons après un ou deux centimètres ce qui nécessite de bien explorer auparavant ces deux premiers centimètres en plaçant la sonde directement sur le point d'entrée prévu de l'aiguille.

Enfin pour terminer le choix du **matériel de ponction** peut être conditionné par sa visibilité : on pourra utiliser des aiguilles faiblement échogène lorsque le trajet et la cible sont très bien visibles, au contraire pour des manœuvres délicates, on pourra privilégier du matériel spécialement traité par exemple à l'aide d'un revêtement échogène pour être certain que la sonde échographique en rendra une image de bonne qualité.

Il en est de même pour les systèmes de drainage pour les injections et les ponctions thérapeutiques. Les liquides injectés à visés thérapeutiques pourront être rendus échogènes par brassage rapide dans une seringue afin de les mélanger à de micro bulles d'air dont on sait que la durée de vie est très courte, mais qui donne un aspect légèrement échogène transitoire, suffisant pour apprécier la localisation de l'injection.

#### d) Conséquences sur le choix de la technique de ponction.

La technique la plus sûre est le guidage en **temps réel**, où l'opérateur place sa sonde à côté de l'instrument à introduire et suit sa pénétration en tant réel dans le corps.

Parfois cette méthode n'est pas possible lorsque le point d'entrée et la fenêtre de guidage sont trop étroit. Dans ce cas il est nécessaire de repérer préalablement le point d'entrée optimal, d'évaluer la direction que doit prendre l'aiguille et de mesurer précisément la profondeur de la cible avant de réaliser la ponction dans un second temps.

Habituellement la ponction est faite par **un seul opérateur** qui manœuvre la sonde d'une main et l'aiguille de l'autre, il réalise seul toutes les procédures.

Parfois ceci n'est pas possible et la présence d'un second opérateur est nécessaire par exemple pour manœuvrer le système de drainage, pour réaliser les manœuvres de biopsie lorsqu'elles requièrent l'usage des deux mains ou tout simplement lorsque l'équipe a l'expérience de l'intervention à deux opérateurs.

De même le choix du **guidage à mains libres** ou à l'aide d'un guide est fonction de l'expérience de l'opérateur, le guide ayant l'avantage de conduire l'instrument dans le bon plan, mais aussi

quelques inconvénients dont la difficulté de manoeuvrer la sonde dans les différents plans de l'espace lorsqu'elle est solidaire de l'aiguille.

Le guidage peut être **échographique exclusif ou mixte** associant la palpation ou la radioscopie télévisée à l'échographie.

Le **niveau d'asepsie** et de protection du patient et de l'opérateur dépend de la procédure : aseptie de type local pour les ponctions simples, ou aseptie de type chirurgical pour les manoeuvres d'introduction de guides, cathéters ou systèmes de drainage.

L'usage ou non **d'aiguilles coaxiales** dépend de la difficulté du guidage et du risque hémorragique éventuel, celui-ci augmentant avec le diamètre des instruments utilisés mais aussi avec le nombre de ponctions.

**La longueur et le diamètre du matériel** sont fonction des objectifs du geste : prélèvements cytologiques ou histologiques, réalisés par aspiration ou par capillarité simple.

Le geste de ponction doit être **net et rapide en apnée** pour éviter le déplacement des tissus lorsque l'aiguille est en place, ce qui peut déchirer des tissus ou la surface de l'organe.

Les **prélèvements** sont traités immédiatement par un pathologiste présent sur le lieu de la ponction ou secondairement après une première évaluation de leur qualité par l'opérateur.

**La surveillance après la procédure** est un élément fondamental : après chaque retrait d'une aiguille une **compression** doit être réalisée sur le site de ponction pour collaber efficacement les capillaires et les veines blessés par l'aiguille ainsi que les fistules artérioveineuses superficielles ou même profondes créées dans la trace de l'aiguille dans les organes richement vascularisés comme le foie ou le rein. Cette compression profonde n'est possible que si la corpulence du patient l'autorise, elle doit être prolongée plusieurs minutes et relâchée progressivement pour être remplacée par une auto compression par le patient, ou par une simple compression positionnelle, le patient venant se coucher sur le point de ponction comme dans les ponctions hépatiques.

Après le retrait du système de ponction, les complications peuvent être immédiates ou retardées, la surveillance du patient sera donc suffisamment prolongée et on l'instruira des signes évoquant l'apparition de complications afin qu'il puisse donner l'alerte rapidement. Enfin il est certain que toutes ces procédures engendrent chez le patient des phénomènes de stress que l'opérateur s'efforcera de réduire par sa patience, son calme, des explications suffisantes et la mise en œuvre de précautions avant la ponction et d'une surveillance efficace après l'examen.

## Légendes des figures :

Figures 1, 2 et 3: aiguille métallique dans le plan de coupe échographique avec 3 inclinaisons différentes, échos de répétition postérieurs surtout au point perpendiculaire au faisceau incident, échos plus grossiers en profondeur malgré la focalisation sur la pointe de l'aiguille

Figure 4 : sonde convexe 2 à 4 MHz, aiguille métallique placée dans le plan perpendiculaire au plan de coupe échographique recoupant le faisceau ultrasonore en un point (flèche) avec artéfacts postérieurs.

Figures 5 et 6 : sonde linéaire 5 à 12 MHz, aiguille métallique dans le plan de coupe échographique avec 2 inclinaisons différentes, échos de répétition et nombreux artéfacts postérieurs notamment en arrière de la pointe de l'aiguille.

Figure 7 : sonde linéaire 5 à 12 MHz, aiguille métallique placée dans le plan perpendiculaire au plan de coupe échographique recoupant le faisceau ultrasonore en un point (flèche) avec quelques artéfacts postérieurs.

Figures 8 et 9: sonde microconvexe 5 à 8 MHz, aiguille métallique dans le plan de coupe échographique avec 2 inclinaisons différentes, échos de répétition postérieurs surtout au point perpendiculaire au faisceau incident (double flèche), échos plus grossiers en profondeur malgré la focalisation sur la pointe de l'aiguille (flèche).

Figure 10 : sonde microconvexe 5 à 8 MHz, aiguille métallique dans le plan de coupe échographique, cliché réalisé pendant la ponction d'une adénopathie cervicale superficielle, l'écho de l'extrémité de l'aiguille ou tip-écho est seul bien visible. Le corps de l'aiguille est seulement deviné le long des flèches depuis son point d'entrée cutané : l'image en condition réelle de ponction est souvent moins parlante que sur un simulateur ou dans un bac d'eau...

Figure 11 : sonde convexe 2 à 4 MHz, tube plastique de 1,4 mm contenant de l'air, interface antérieure très échogène sauf entre les deux flèches où le tube est oblique par rapport au faisceau d'ultrasons.

Figure 12 : sonde microconvexe 5 à 8 MHz, tube plastique de 1,4 mm contenant de l'air, la haute résolution de la sonde permet de séparer deux interfaces au point où le faisceau est orthogonal au tube (flèche)

Figure 13 : la même vue agrandie.

Figure 14 : sonde microconvexe 5 à 8 MHz, tube plastique de 1,4 mm contenant de l'eau, 4 interfaces sont visibles, 2 par paroi. Le tube est invisible en dehors de la zone où le faisceau lui est orthogonal.

Figure 15 : sonde microconvexe 5 à 8 MHz, tube plastique de 1,4 mm contenant de l'eau, dégradation rapide de l'image du tube avec l'inclinaison (tube en boucle).

Figure 16 et 17: sonde convexe 2 à 4 MHz, tube plastique de 1,4 mm contenant de l'eau, le tube en plusieurs boucles n'est visible qu'aux points d'orthogonalité.

Figure 18 : sonde linéaire 5 à 12 MHz, tube plastique de 1,4 mm contenant de l'eau, précision de la mesure du diamètre du tube (1,4 mm).

Figure 19 : sonde linéaire 5 à 12 MHz, tube plastique de 1,4 mm contenant de l'eau, agrandissement de l'image avec ses 4 interfaces (pour deux parois).