



TESTEUR LOW-TECH D'ÉCHOGRAPHIE



MATÉRIEL NÉCESSAIRE

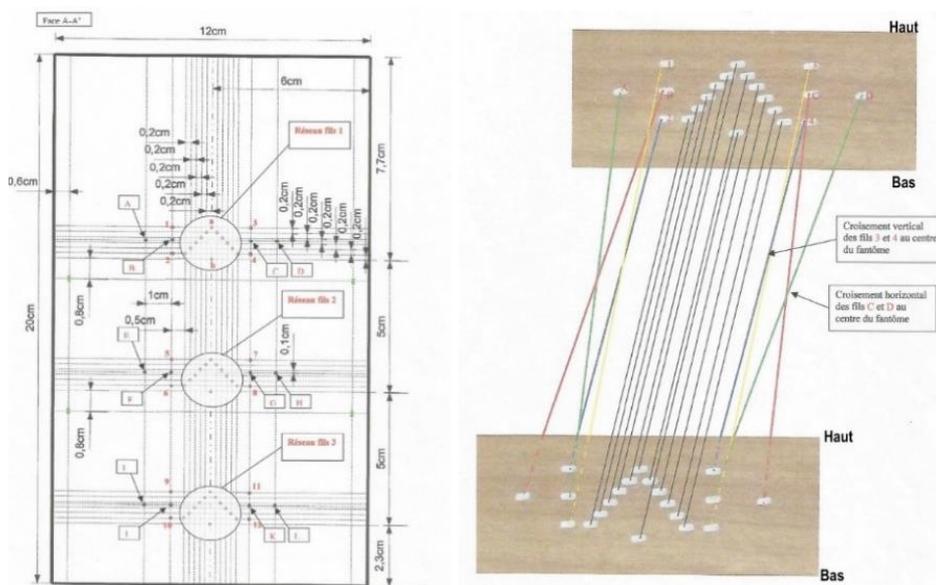
- 1 plaque de plexiglass (PMMA) de 40x50 cm et de 5 mm d'épaisseur
- Papier millimétré avec carreaux tous les cm et subdivision tous les 2 mm (ou imprimé soi-même)
- 1 scie sur table
- 1 perceuse à colonne
- 1 mèche de perçage de 1 mm de diamètre maximum
- 20 m de fil de nylon de 0,4 mm optimal
- 2 tubes de colle Epoxy
- Mousse sous-couche pour plancher flottant, de quelques mm d'épaisseur
- Ruban adhésif transparent (Scotch)
- Aiguille de couture
- 3 L d'huile de ricin

OBJECTIFS DU FANTÔME D'ÉCHOGRAPHIE

- Objectif : reproduire les propriétés du corps humain afin de pouvoir tester les fonctionnalités d'un échographe.
- Paramètres évalués : résolution axiale et latérale, épaisseur du faisceau, profondeur maximale de perception.

DÉROULEMENT DE LA PROCÉDURE DE FABRICATION

1. SCHÉMA DE FABRICATION DU FANTÔME



Les deux schémas sont disponibles en plus grande taille en annexe 1 (voir annexe 1 page 7) et en annexe 2 (voir annexe 2 page 8) et peuvent être imprimés pour plus de clarté.

- Ce fantôme est constitué d'une cuve en plexiglass de section carrée de 12 cm de côté et de 21 cm de profondeur. Il contient 3 séries d'une vingtaine de fils en nylon aussi fins que possible, disponibles dans le commerce (0,4 mm de diamètre maximum).
- Chaque série comprend 11 fils placés en V inversés, en flèche. Chaque fil est distant du voisin de 2 mm en latéral comme en profondeur. Un 12^{ème} fil est à 12 mm sous le fil de pointe de la flèche. 4 fils sont placés de chaque côté de la flèche et croisés (fils 1 et 2, fils A et B). Les fils 1 et 2, A et B sont distants de 1 cm aux points d'attache. Chaque série de fil est distante de 5 cm de la suivante.

2. DÉCOUPAGE DES PLAQUES DE PLEXIGLASS

- Découper soigneusement les plaques de plexiglass à l'aide de la scie sur table aux dimensions suivantes :
 - 2 plaques de 12 * 21 cm pour les faces B et B' du plan.
 - 2 plaques de $(12 + 2*X) * 21$ cm pour les faces A et A' (Voir Annexe 1, page 7). Le supplément $2*X$ est utile pour que les plaques A et A' soient collées sur les tranches des plaques B et B'.
 - 1 plaque carrée de $(12 + 2*X)$ cm de côté pour le fond.
 - 1 plaque carrée de $(12,1 + 2X)$ cm de côté pour le couvercle (afin de pouvoir s'emboîter dans le haut de la cuve).
 - 2 morceaux de $(12,1 + 2X) * 2$ cm pour les bords du couvercle.
 - 2 morceaux de $(12,1 + 4X) * 2$ cm pour les autres bords du couvercle.
 - 1 plaque de 12*12 cm pour consolider le bas de la cuve et le fond.
 - 1 plaque de 12*12 cm dans laquelle sera découpée un carré de 10*10 cm, au centre. Elle servira à consolider le haut de la cuve. Ce sera la fenêtre pour les sondes, comme sur la photo suivante :



Attention

- **La hauteur de 21 cm indiquée est la hauteur minimale à respecter. Si votre plaque de plexiglass permet une hauteur un peu plus grande, il est recommandé 24 - 25 cm. Exemple : une plaque de 50 cm de large, vous permet 2 hauteurs de 24,5 cm chacune, en tenant compte de l'épaisseur de coupe.**
- **La découpe devra être très soignée afin de pouvoir coller toutes les plaques pour obtenir un contenant étanche pour l'huile de ricin.**
- **Pour la découpe, bien garder le film qui recouvre le plexiglass et utiliser une lame de scie avec un maximum de dents pour éviter les éclats de plexiglass. S'il n'y a pas de film, recouvrir le trait de découpe avec du ruban adhésif.**
- **Pour bien assurer l'étanchéité future de la cuve, couper tous les morceaux d'une même largeur, 12 cm ou $12,1 + 2X$ cm, sans changer les réglages de la scie.**

3. DÉCOUPAGE ET COLLAGE DES PLAQUES DE MOUSSE

- Les plaques de mousse vont garnir intérieurement les 4 parois de la cuve, ainsi que le fond, afin d'atténuer les réflexions parasites des ondes ultrasonores sur ces parois.
- Découper les plaques de mousse aux dimensions suivantes en veillant à ce qu'elles ne gênent pas le collage des plaques de plexiglass :
 - Pour les plaques à coller sur les parois A et A', la largeur devra être de 12 cm et même un peu inférieure, pour dégager de chaque côté une largeur au moins égale à l'épaisseur du plexiglass.
 - Pour les plaques des faces B et B', la colle est placée sur la tranche de la plaque. La largeur de la mousse sera de 11 cm.
 - La hauteur de ces plaques de mousse sera de 3 à 4 cm inférieure à la hauteur des plaques de plexiglass, de façon à placer la plaque 12*12 cm de consolidation du haut de cuve à 2 à 3 cm plus bas que le haut des plaques.
 - La plaque de mousse destinée au fond sera de 12*12 cm.
- Enlever le film transparent protecteur des plaques de plexiglass.
- Coller avec la colle rapide les plaques de mousse sur les parois A et A' ainsi que sur la plaque 12*12 confortant le bas de la cuve, en les positionnant avec soin pour ne pas gêner le collage des plaques de plexiglass.



Ne pas coller maintenant les plaques de mousse sur les parois B et B' (afin de visualiser par la suite si les fils sont bien tendus). Ce collage pourra être fait une fois la cuve formée.

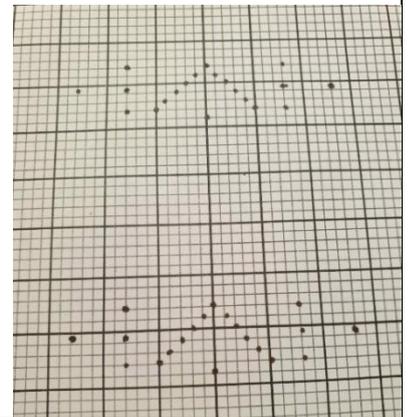
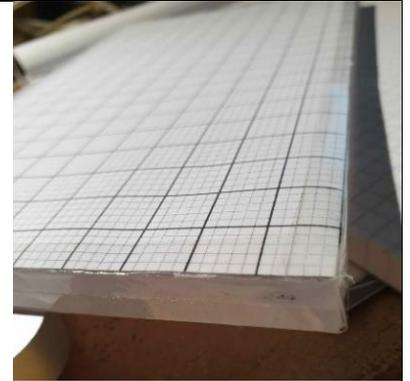
4. PRÉPARATION AU PERÇAGE DES PLAQUES A ET A'

- Se munir d'une feuille de papier millimétré ou imprimer une feuille de papier millimétré avec des carreaux tous les cm et un pas de 2 mm.



Sélectionner sur votre imprimante les options qui vont permettre un noircissement, un contraste le plus important possible de façon à bien voir tous les détails de ces plans notamment lors du perçage, dans les plaques de plexiglass, des trous nécessaires au positionnement des fils de nylon.

- Découper un morceau de 12*21 cm dans la feuille de papier millimétré. Le morceau de papier millimétré peut être de $(12+2*X)*21$ pour recouvrir exactement la face A. Si $X=5$ mm, couper sur des lignes noires des carreaux de 1 cm, ce qui facilitera le positionnement centré des points de perçage.
- Prendre les 2 plaques de plexiglass destinées aux côtés A et A' ($12 + 2X$) cm du fantôme. Les attacher l'une sur l'autre, les plaques de mousse étant en contact l'une avec l'autre, avec exacte superposition, avec du ruban adhésif de façon à percer exactement sur les 2 faces. Les attacher de manière serrée pour éviter des copeaux de perçage entre les 2 plaques.
- Centrer le papier sur la plaque de façon à laisser une largeur de X cm de chaque côté du papier. Fixer avec de la colle blanche (colle à papier) le papier millimétré sur les 2 plaques. Attendre quelques heures que la colle sèche bien.
- Tracer sur le papier les points où percer les trous pour fixer les fils en respectant les positions suivantes :
Comme sur le schéma en annexe 1, il y a 3 séries de trous. (voir annexe 1 page 7)



5. PERÇAGE DES TROUS

- Installer la mèche de 1 mm (ou moins) dans le mandrin de la perceuse à colonne en faisant attention à garder une hauteur de mèche suffisante à la fois pour percer les 2 plaques A et A' ET SANS que le bout du mandrin ne touche le papier millimétré pour éviter des dégâts sur le papier millimétré.
- Percer l'ensemble des trous nécessaires au passage des fils du fantôme sur les plaques A et A', en faisant bien attention à percer complètement les 2 plaques de plexiglass.
- Faire attention à ce que la mèche ne s'enfonce pas progressivement dans le mandrin, trou après trou. Le risque est alors que le bout du mandrin touche et abîme le papier millimétré avant d'avoir percé les 2 plaques.



6. PRÉPARATION DU SUPPORT DE TRAVAIL

- Pour le travail d'insertion des fils dans les trous, il faut préparer un support de travail.
- Le support de travail doit mesurer au moins 5 cm de haut. Le côté long peut faire 20 cm. Une forme en U, comme sur la photo, permet d'avoir accès au-dessous des plaques qui y seront posées.
- Les 3 morceaux formant le U peuvent être collés à la colle Epoxy.



7. MONTAGE DES FILS PARALLÈLES

- Garder les plaques A et A' attachées l'une à l'autre pour que les trous des 2 plaques se superposent toujours exactement, ce qui facilite l'insertion des fils de nylon.
- Avec les plaques de mousse déjà collées, on ne voit pas au travers des plaques. Les trous dans la mousse n'étant pas toujours bien dégagés, les dégager en y faisant passer une aiguille.
- Couper des fils d'une longueur d'au moins 25 cm ce qui permettra de garder une longueur de fil d'au moins 3 cm sur chaque face A et A'.
- Fixer avec un ruban adhésif chaque fil sur la plaque A, vers le bas uniquement pour que tous les fils soient positionnés exactement de la même manière dans les trous et gardent leur distance pour des clichés plus quantifiables.



Veiller à ce que les morceaux de ruban adhésif ne recouvrent pas de trous de manière à ce que la colle Epoxy qui sera utilisée puisse y entrer pour étanchéifier complètement la cuve.

8. MONTAGE DES FILS CROISÉS

- Il s'agit maintenant de croiser les fils A et B, 1 et 2 visualisés (voir annexe 1 page 7 et annexe 2 page 8). Découper dans les chutes de votre grande plaque de PMMA des » triangles » de 12 *12 cm sur les côtés orthogonaux.
- Décoller le ruban adhésif qui attache les plaques A et A' l'une sur l'autre d'un seul côté (long) de façon à pouvoir les écarter de ce côté et placer les triangles tel qu'indiqué sur la photo. Fixer ces triangles aux plaques A et A' avec du ruban adhésif.
- Placer l'ensemble sur le support en U
- Sortir les fils A et B de la plaque sur le support en U (face A') côté ouvert entre les 2 plaques A et A' et les réinsérer en les croisant
- Sortir les fils 1 et 2 de la plaque A' et les réinsérer en les croisant.
- Répéter l'opération pour chacun des 3 groupes de fils
- Enlever les triangles et ramener les plaques A et A' l'une contre l'autre. Puis, les attacher avec du ruban adhésif du côté ayant été écarté et détacher les plaques de l'autre côté et répéter l'opération de croisement des fils A et B, 1 et 2 de l'autre côté des trous en flèche.



La mousse ne facilite pas la localisation des trous de la plaque intérieure. Il est conseillé de bien les repérer avant de commencer à y placer les fils.

- Coller avec la colle Epoxy les fils sur les trous sur la plaque A en faisant attention à boucher les trous de la plaque pour assurer l'étanchéité de la cuve.
- Laisser sécher la colle le temps requis.

9. ASSEMBLAGE DU FANTOME

- Préparation au collage des plaques B et B' :
 - Utiliser les triangles de plexiglass pour tenir vertical les 2 plaques A et A' et éviter que les fils ne sortent des trous de la plaque A' sur laquelle ils ne sont pas encore attachés.



- Coller les plaques B et B' aux plaques A et A' :
 - Prendre les plaques 12*12 prévue pour la consolidation du fond et du haut de la cuve.
 - Écarter les plaques verticales jusqu'à pouvoir positionner la plaque de consolidation du fond de cuve entre les 2 plaques A et A'.
 - Vérifier que vous pouvez placer facilement les plaques B et B'. Puis encoller suffisamment ces plaques et les positionner correctement.
 - Mettre si besoin la plaque de 12*12 cm prévue pour le haut de la cuve sans la coller, de façon à bien positionner les parois de la cuve.
 - Bien serrer les parois de la cuve pour que le collage soit efficace tout le long du temps de séchage. Il est possible de le faire avec le ruban adhésif.
 - Laisser le temps nécessaire (normalement 24 h) pour que la colle soit sèche, avant de continuer.



Veiller à ce que tous les fils restent insérés dans leur trou sur la face A' pendant l'opération.

- Coller la plaque 12 * (12 + 2X) du fond de la cuve.
- Si possible, coller en même temps la plaque 12*12 de consolidation du bas de la cuve.
- Laisser sécher suffisamment longtemps avant de passer au point suivant pour garantir l'étanchéité de la cuve.
- Tendre chaque fil et le fixer avec un ruban adhésif sur la plaque A', vers le bas uniquement, comme sur la plaque A, pour que tous les fils soient positionnés exactement de la même manière dans les trous et gardent leur distance pour des données plus quantifiables. S'assurer que le ruban adhésif ne recouvre pas les trous. S'assurer que les fils croisés se croisent au milieu.
- Coller les fils sur la plaque A' avec de la colle Epoxy en prenant soin de boucher tous les trous de passage des fils pour l'étanchéité de la cuve.
- Si par hasard les fils ne sont pas assez longs et ne peuvent être gardés tendus par du ruban adhésif, il est possible d'utiliser des épingles comme sur la photo. Les têtes et tiges des épingles seront coupées une fois la colle séchée.
- Attendre le temps nécessaire pour que la colle soit sèche.
- Coller la plaque de consolidation du haut de la cuve et les plaques de mousse sur les parois B et B' :
 - Cette plaque peut être évidée sur la scie sur table. Pour cela, pour chaque côté, descendre la lame légèrement en dessous de la table, puis la remonter lentement en tenant bien la plaque, jusqu'à ne laisser qu'un cm de chaque côté non percé par la lame.
 - Coller cette plaque à 3 cm au-dessus du fil le plus haut dans la cuve. Elle permet de consolider la cuve et peut servir de niveau pour l'huile.
 - Coller les plaques de mousse sur les faces B et B' pour atténuer les réflexions des ondes sur les parois latérales.



10. ÉTANCHÉITÉ ET PROTECTION

- Confection du couvercle :
 - Il est utile de confectionner un couvercle à la cuve et de le doter de mousse. En effet, l'huile de ricin est sensible à la lumière et doit être protégée. Ses morceaux ont déjà été découpés suivant les instructions données dans l'étape 1.
- Tester l'étanchéité de la cuve :
 - Remplir d'eau la cuve pour tester son étanchéité.
 - Repérer les points de fuite, s'il y en a.
 - Vider la cuve.
 - Sécher l'extérieur de la cuve, notamment aux points de fuite.
 - Mettre la colle nécessaire pour éliminer les fuites.
 - Laisser sécher.
 - Re-tester l'étanchéité de la cuve.

- Protéger la cuve contre les chocs :
 - Il est intéressant de protéger la cuve contre les chocs en l'entourant de polystyrène expansé de 1 ou 2 mm d'épaisseur, de préférence prendre la même mousse utilisée pour garnir l'intérieure de la cuve. Ce polystyrène protégera également l'huile de la lumière.



- Imprimer l'annexe 1 (page 7) en deux exemplaires puis les coller sur les faces A et A' du fantôme afin d'avoir en visuel les différentes dimensions lors de l'utilisation du fantôme pour le test d'un échographe.

11. REMPLISSAGE DE LA CUVE ET TEST

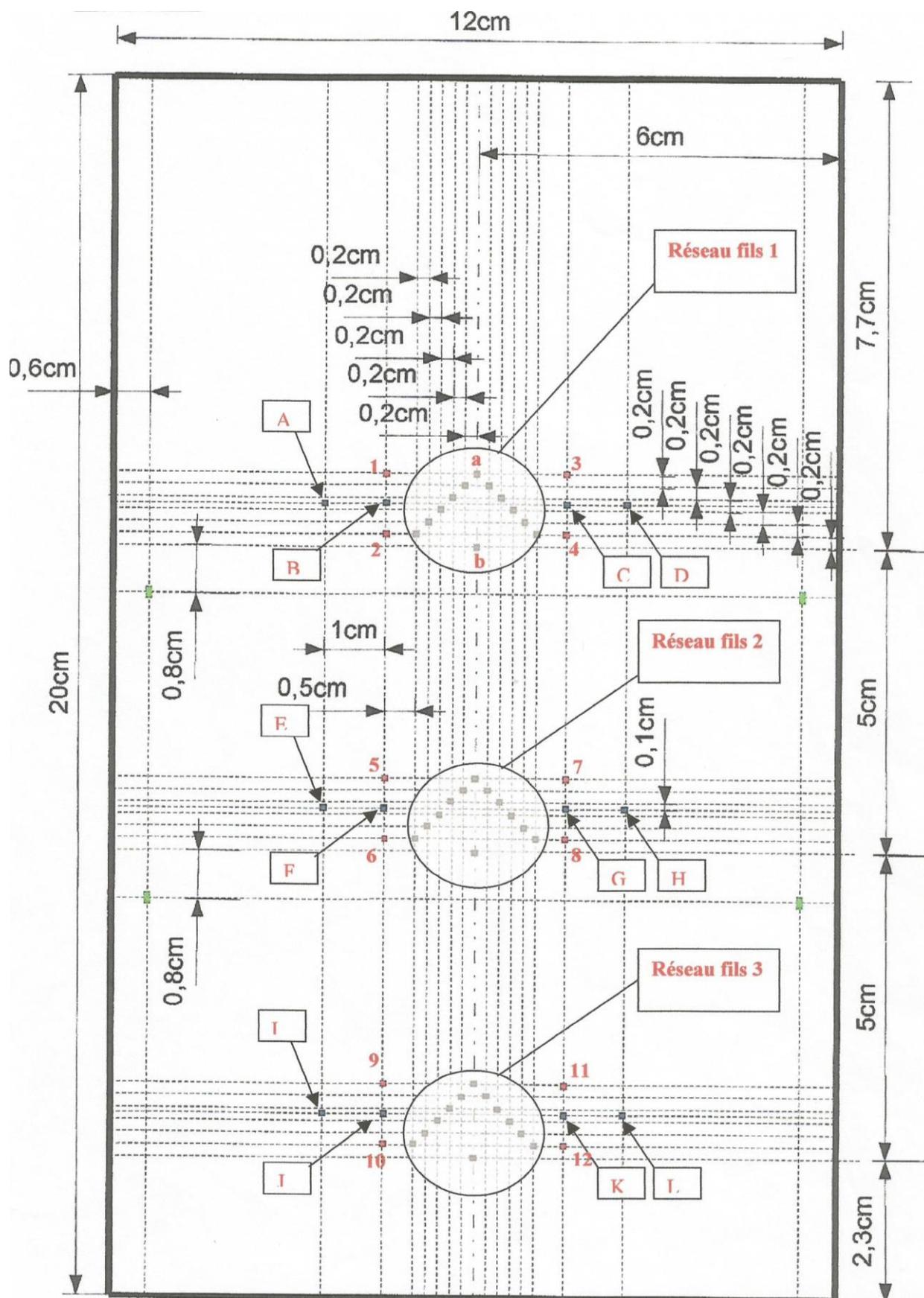
- Remplir la cuve d'huile de ricin
- Laisser dégazer les bulles d'air qui se sont produites.
- Commencer les tests de l'échographe selon la procédure. (voir fiche B8 : Procédure de maintenance préventive et de contrôle de constance)

Version 2024-06

★ Cette fiche a été réalisée par les organisations suivantes : Pilotage : ONG Humatem / Expertise technique et rédaction : Professionnels biomédicaux de l'ONG HUMATEM sur une idée originale de Daniel WINNINGER avec les apports techniques de Maurice PAGE / Relecture et validation technique : Professionnels biomédicaux de l'AFIB, de l'AAMB, de MSF / Partenaires financiers : FHF/AFD (Dispositif PRPH3)

ANNEXES

ANNEXE 1 : SCHÉMA DU FANTÔME – PLAN FACES A – A'



ANNEXE 2 : SCHÉMA DU FANTÔME – PLAN VOLUMIQUE

