

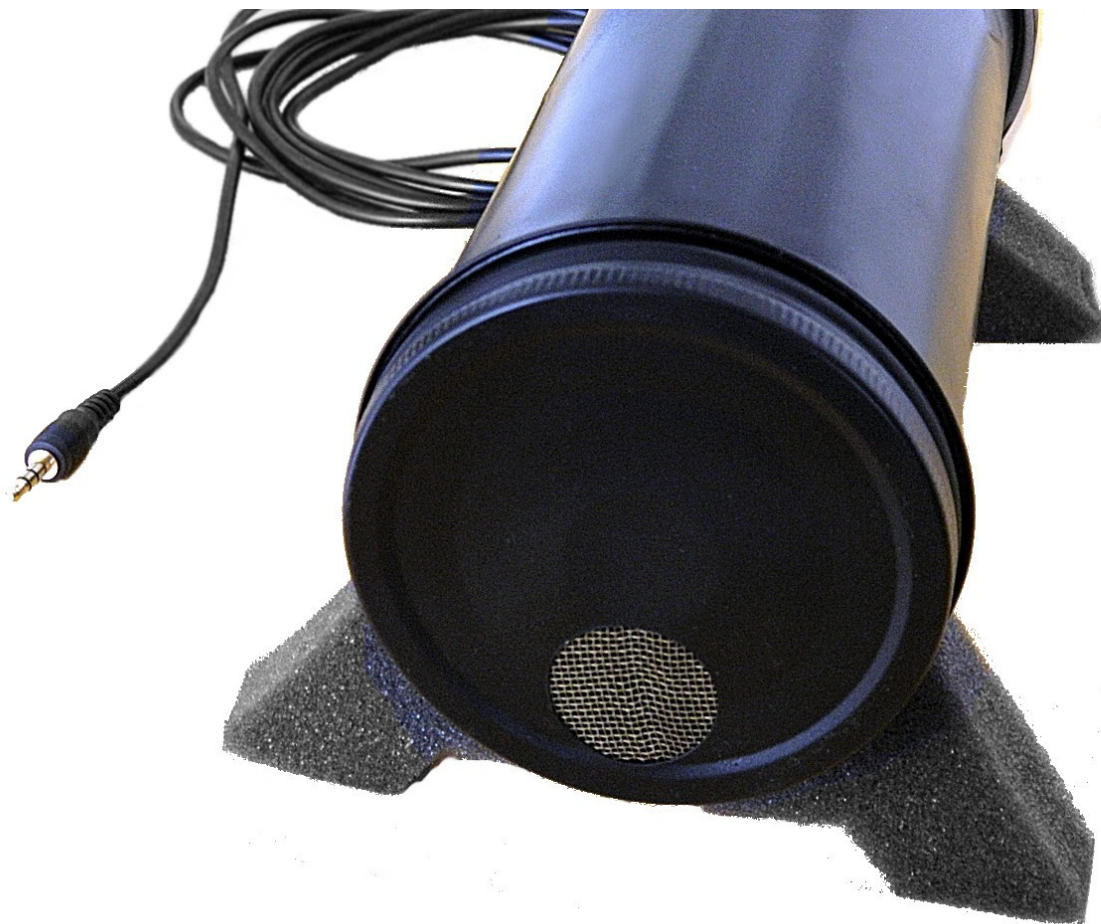
**theremino**  
•the•real•modular•in-out•

Theremino **System**

# Chambre à ions Construction

## Version 7

## La Chambre à ions complète



# Construction de la structure externe

Veillez à conserver la même structure mécanique que nos prototypes, cela vous permettra de calibrer toutes les chambres, avec une précision de +/-20%, en utilisant un seul coefficient de calibration. (Comme déjà expliqué, nous serons satisfaits, en atteignant une plage de précision de +/-30%, jusqu'à +/-50%)



La chambre d'ionisation est constituée d'un cylindre de 8 cm de diamètre à 20 cm de hauteur, pour un volume total d'un litre et de trois couvercles qui protègent les composants électroniques des bruits électriques et de la poussière. Le cylindre et les couvercles (**barres noires**) sont en **fer blanc** et peints en noir.

## **Le couvercle de gauche a un seul trou :**

- Un trou de 25mm (3) avec une grille en laiton soudé et un filtre à poussière (2).

## **La base du cylindre principal comporte deux trous :**

- Un trou de 25 mm, (1) pour le passage de l'air.
- Un trou de 4 mm (4) pour le passage de l'électrode centrale.

## **Le couvercle qui ferme le cylindre a trois trous :**

- Un trou de 25mm (5) pour le passage de l'air.
- Un trou de 4 mm (8) pour le passage du support du FET et de l'électrode centrale.
- Un trou de 4 mm (9) pour le passage du fil haute tension.

## **Le deuxième couvercle à droite a deux trous :**

- Un trou de 25 mm (7) avec une grille en laiton soudé et un filtre à poussière (6).
- Un trou de 6 mm (10) pour la prise femelle du câble de connexion.

## Comment débiter

Le plus grand défi de ce projet n'a pas été l'électronique, mais de trouver une méthode pour construire une chambre d'ionisation, avec les caractéristiques suivantes :

- Des matériaux facilement disponibles pour tout le monde, dans les quincailleries courantes.
- Une structure aux dimensions permettant d'assurer un fonctionnement précis et répétable (+/- 20%) sans étalonnage individuel.
- Un conteneur pour la chambre, facile à travailler avec des outils courants et de l'étain à souder.
- Un diamètre de chambre, supérieur à 6 pouces, pour permettre aux rayons alpha de développer toute leur énergie, avec un bon volume total.
- Un diamètre de chambre, ne dépassant pas 8 pouces, évitant d'avoir recours à des tensions trop élevées.
- Un volume total suffisant pour permettre des mesures précises, en peu de temps (1 litre).
- Une facilité de construction et des matériaux peu coûteux.

Il n'y a rien de mieux qu'une fine feuille de fer étamé, la boîte de conserve commune, comme matériau de base pour notre construction. Ce fut une belle surprise, de découvrir à quel point elle est facile à travailler, vous pouvez la couper avec des ciseaux et cela rend les choses vraiment faciles. Peu importe qu'elle soit peinte ou non, il suffit de la gratter légèrement avec le tournevis pour la souder facilement. Si vous n'aimez pas la couleur ou le graphisme du récipient d'origine, vous pouvez toujours le peindre avec une bombe de couleur (noir mat synthétique).

Qui sait combien de problèmes auraient pu être résolus facilement, en sachant cela avant.



Les sources naturelles de fer blanc sont les boîtes de conserve, qui existent sous de nombreuses formes, avec des parois lisses ou nervurées et dans de nombreuses dimensions. La page suivante explique comment utiliser ce merveilleux matériau et ses caractéristiques.

# La boîte de conserve, un excellent matériau pour l'électronique

La boîte (" latta " en italien) est composée d'une fine feuille de fer (environ 0,2 mm) recouverte d'étain électrolytique, pour protéger le fer de l'oxydation (rouille). Voir: <http://it.wikipedia.org/wiki/Latta> and <http://en.wikipedia.org/wiki/Tinplate>

Certains types de fer (en fonction de leur composition et de leur teneur en carbone) ne peuvent pas être soudés ou sont difficiles à souder. et cela n'est possible qu'en utilisant du flux, mais le fer blanc est parmi les plus soudables. Et l'électrolyte d'étamage facilite encore plus sa soudure.

Les boîtes de conserve en fer étamé ont des reflets métalliques et sont facilement disponibles. La boîte de cette image, a des parois ondulées, mais certaines ont des parois lisses dont on peut obtenir une grande feuille plate.

Avec une feuille de fer blanc disponible, vous pouvez construire de petites pièces mécaniques en quelques secondes.

Vous pouvez la couper avec des ciseaux, la plier avec des pinces et la souder, facilement. Ses propriétés magnétiques permettent de blinder à la fois les champs électriques et les champs magnétiques. Vous pouvez même fabriquer des supports et des pinces à souder ou à percer et à fixer avec des vis.

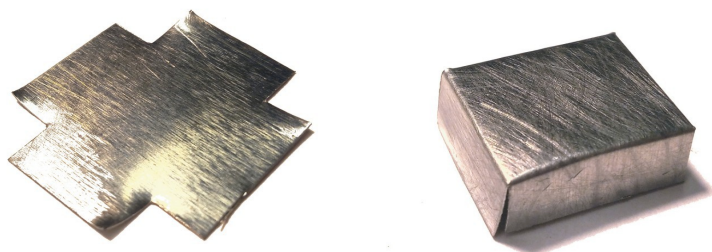


Certaines canettes, comme celles utilisées pour la bière, sont en aluminium et non en fer étamé et se reconnaissent à leur couleur blanchâtre (qui n'a jamais de reflets bleus). Pour la distinguer de l'aluminium, vous pouvez utiliser un aimant. Le fer étamé, au lieu de l'aluminium, est magnétique.

L'aluminium n'est pas bon car il n'est pas soudable et ne peut pas être utilisé comme écran pour les champs magnétiques.



Voici un exemple de blindage en fer étamé utilisé dans cette chambre d'ionisation pour protéger le circuit imprimé du FET et ainsi pouvoir effectuer des tests même sans le couvercle final et donc pouvoir effectuer des mesures sur les composants électroniques.



Le fer étamé ne rouille pas car il est recouvert d'une couche d'étain mais il est tout de même préférable de le peindre. On peut le peindre au pistolet avec une bombe de noir mat. Aux endroits à souder, on enlève la peinture avec la pointe d'un tournevis.

## Un récipient d'un litre pour la structure de la chambre

Partout dans le monde, tout magasin qui ressemble vaguement à une quincaillerie a certainement des bidons de trichloréthylène, de dichloréthylène, d'acétone ou de térébenthine. La térébenthine est probablement la moins chère, mais les pots d'un litre sont tous les mêmes. Ils existent avec cette forme et ces dimensions, certainement avant 1950, ayant tous la même taille : 8 cm (diamètre) par 20 cm (hauteur).



Ces boîtes de conserve ont toutes le même symbole de triangle en relief. Il est probable qu'une seule entreprise les produise, ou peut-être que tous les fabricants se sont mis d'accord sur une norme.

En coupant la paroi extérieure avec des ciseaux, on obtient une feuille d'étain plate d'environ 20 x 25 centimètres, presque une feuille A4, qui peut être utilisée pour obtenir des plaques mécaniques et soudées pour l'assemblage électronique.

En les utilisant entières, on obtient une bonne chambre d'ionisation, d'un litre exactement.

Ces bidons coûtent quelques euros et leur contenu peut également être utile. Pour conserver la térébenthine, vous pouvez la verser dans des bouteilles PET usagées. Pour les autres solvants (trichloréthylène, acétone et dichloréthylène), il vaut mieux utiliser du verre. Vous pouvez même obtenir de grands conteneurs à huile rectangulaires, d'une capacité de plusieurs litres chacun.

## La peinture



L'aspect des boîtes de conserve qui viennent d'être achetées est un peu " déroutant ".



Un petit coup de peinture noire suffit à les rendre neutres et professionnelles. Poncez-les légèrement avec du papier de verre fin, puis essuyez-les avec un chiffon sec imbibé d'alcool. Vous pouvez également les pulvériser sans trop de préparation. Une boîte de peinture synthétique noire couvre suffisamment en une couche, si vous en donnez deux, c'est mieux.

## Ce qu'il faut acheter à la quincaillerie

Tout le matériel pour réaliser la structure de la chambre d'ionisation, peut être acheté pour moins de quatre euros. Pour chaque chambre d'ionisation, il faut un bidon d'un litre de solvant et trois bouchons pour pots de confiture (la marque Quattro Stagioni est parfaite) d'un diamètre de 86 mm.

Les bouchons sont en étain et soudables. Ils peuvent être trouvés dans n'importe quelle quincaillerie et semblent avoir été fabriqués expressément pour fermer le cylindre et pour contenir l'électronique de ce projet.

Les bouchons ne sont pas vissés, mais leurs tailles sont si précises qu'il est parfois nécessaire de les desserrer.





## La soudure

Ces bouchons et ces boîtes sont fabriqués dans un matériau qui se soude facilement. Un fer à souder de 30Watt avec une petite pointe, celle utilisée pour les composants CMS, est capable de faire des soudures parfaites en quelques secondes, sur ce matériau. Cette incroyable soudabilité est due à la surface très fine du fer, qui ne peut absorber trop de chaleur, et au fait que le fer a été recouvert en usine d'une fine couche d'étain, pour le protéger de la rouille.

Pour des raisons de propreté, avant de souder, grattez les parties peintes avec un tournevis, mais la plupart du temps, sans faire cela, vous soudez aussi bien.



## Quelques flacons et bouchons aux premiers stades de la transformation



Ici nous pouvons observer, comment le revêtement donne un aspect décent à nos futures chambres.

Toutes les trois, doivent avoir un grand trou de 25mm.

Un seul couvercle pour chaque chambre doit avoir à la fois le grand trou et le trou central de 4mm.

Même le cylindre à la base, doit avoir à la fois le grand trou et le trou central de 4mm.

-----

*Lorsque vous devez souder dans un point déjà peint en noir, il est important d'enlever d'abord la peinture avec un tournevis et de faire attention à la température, pour éviter de brûler la peinture environnante ou celle de la surface opposée de la feuille. Pour éviter de brûler la peinture, ne chauffez pas le même endroit pendant plus de quelques secondes.*

## Retirer le couvercle du flacon



Le côté supérieur doit être ouvert, car nous devons travailler à l'intérieur, bientôt. Les premières boîtes ont été ouvertes à l'aide de pinces et de tondeuses, n'essayez pas ça !



En faisant attention, il est possible d'accomplir la tâche sans être blessé, mais c'est toujours un travail difficile de bien couper sur tout le bord et de le rendre inoffensif.



Il vaut mieux utiliser un bon ouvre-boîte !



Ensuite, il faut limer et poncer, pour lisser les bavures du bord intérieur et le rendre sûr.



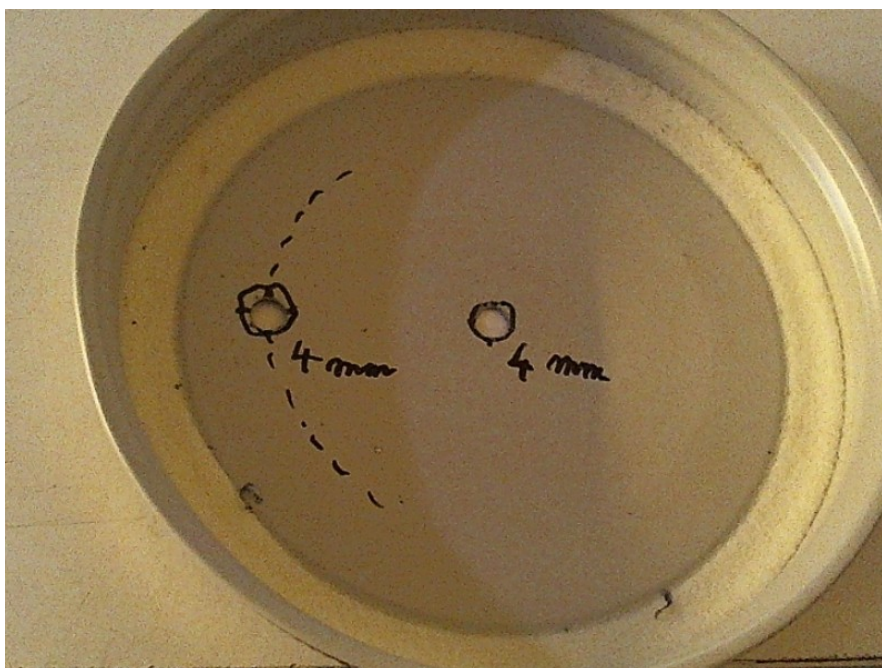
Certains accessoires Dremel sont parfaits pour ce travail. Nous devons obtenir un bord lisse pour éviter le risque de coupure lors de l'usinage ultérieur.

La partie supérieure de la canette n'est pas très rigide, mais elle le deviendra en insérant le bouchon qui entre de manière précise et est presque vissé. Même les parois latérales sont fines et peuvent facilement se plier vers le haut, tant qu'elles ne sont pas rigidifiées par le revêtement intérieur.

**Pour éviter les bosses, veillez à ne pas trop appuyer** avec vos doigts, pendant les premières étapes du processus.



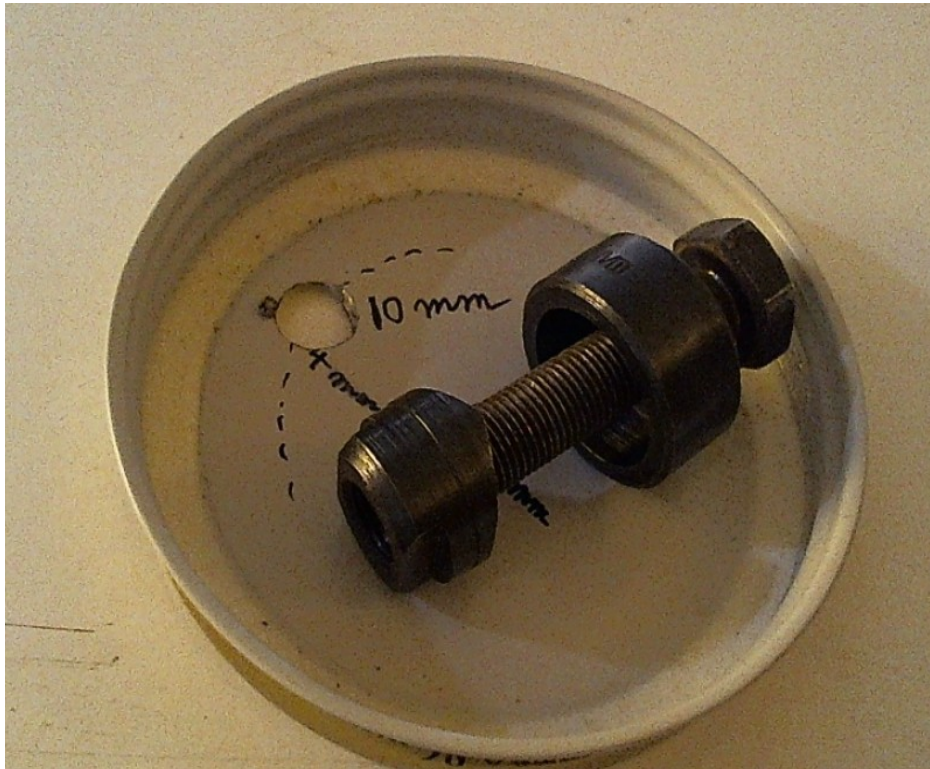
## Percez des trous dans les bouchons et les boîtes de conserve



Marquez deux points, un parfaitement au centre du bouchon et un autre au milieu, entre les deux plis circulaires, ceux marqués en jaune sur l'image ci-dessous.



Vous élargissez ensuite le trou extérieur, à 10mm.



Un emporte-pièce fait d'excellents trous.



Vous vissez l'emporte-pièce et le déplacez légèrement dans le trou, qui est plus large que la tige, en le centrant entre le pliage intérieur et extérieur. Vous serrez ensuite à la main et enfin vous donnez de nombreux tours avec la clé, jusqu'à ce que la tôle se cisaille.



Ici, nous voyons le côté opposé de l'emporte-pièce, qui dans ce cas est de 25 mm.



**Les trous de 25 mm** exigent une plus grande précision, mais **permettent au radon de se diffuser plus rapidement à l'intérieur de la chambre**. Cinq millimètres de plus peuvent sembler peu, mais en réalité, la surface du trou augmente de plus de 50 %.



## Position du trou



Sur cette image, vous pouvez remarquer que le trou est trop à l'extérieur à gauche, alors que le trou à droite est parfaitement centré.

Quelle que soit la méthode que vous choisissiez pour faire le trou de 25 mm, vous devez essayer de le faire exactement dans l'espace entre le pli circulaire intérieur et extérieur.

Si vous le faites trop près du bord, il pourrait devenir difficile d'appliquer le filtre, car le trou n'est pas plat, au lieu d'un trou trop intérieur, il se rapproche trop du trou central et détériore l'élasticité du bouchon.

L'élasticité de ces bouchons (destinés à l'origine à maintenir le vide) peut être testée en poussant le trou central, le bouchon se comportera comme un ressort.

L'élasticité est importante pour maintenir le fil central tendu même lorsqu'il s'allonge et se raccourcit en raison des changements de température.

## Outils pour travailler les flacons

Vous pouvez trouver ces outils sur eBay ou dans une quincaillerie. Cherchez "emporte-pièce", l'une des sociétés qui les produisent est "WURTH" ([eshop.wuerth.it/](http://eshop.wuerth.it/) [eShop\\_ssh](http://eShop_ssh) )

Faites attention à choisir une vis de 25 mm, qui est la taille appropriée pour la chambre d'ionisation et utile dans de nombreuses autres occasions.

Les trous de plus petits diamètres peuvent être faits avec la perceuse, les plus grands sont rarement utiles.



Si vous ne trouvez pas la "vis poinçonneuse", un "coupe-pas" peut aussi faire l'affaire.

Sur eBay, vous pouvez trouver de très bons coupeurs, de 4 à 32 mm. ou de 4 à 39 mm. pour environ 14 Euros.

Avec la fraise à gradins, le trou est moins propre et vous devez alors le travailler un peu avec une lime et du papier de verre.



Un autre outil est la "Cesoia roditrice BETA modèle 1120", qui vous permet de **faire des coupes droites et courbes dans la tôle, avec une grande précision**. Il peut faire des trous de n'importe quelle forme, même très grands.

Cet outil est très cher (40 € et plus) et heureusement n'est pas nécessaire pour la chambre d'ionisation, nous en faisons état, seulement pour l'exhaustivité.

Il existe également un autre outil similaire à la "Cesoia roditrice" mais moins cher, même cet outil n'est pas nécessaire pour la chambre d'ionisation mais il est utile de le connaître.

Cet outil peut être connecté à la perceuse et peut couper de grandes feuilles en peu de temps.

Vous pouvez le trouver pour environ 20 euros chez les Chinois sur eBay en cherchant "nibble rodent cutter".

## Peindre complètement les pots et les bouchons



Ici, vous voyez des boîtes de conserve dont l'extrémité n'est pas peinte. Il n'est pas bon de les laisser comme ça, car après quelques années, elles peuvent s'oxyder. La couche d'étain protège le fer, mais le matériau est mou et quelques rayures peuvent ouvrir la voie à la rouille.



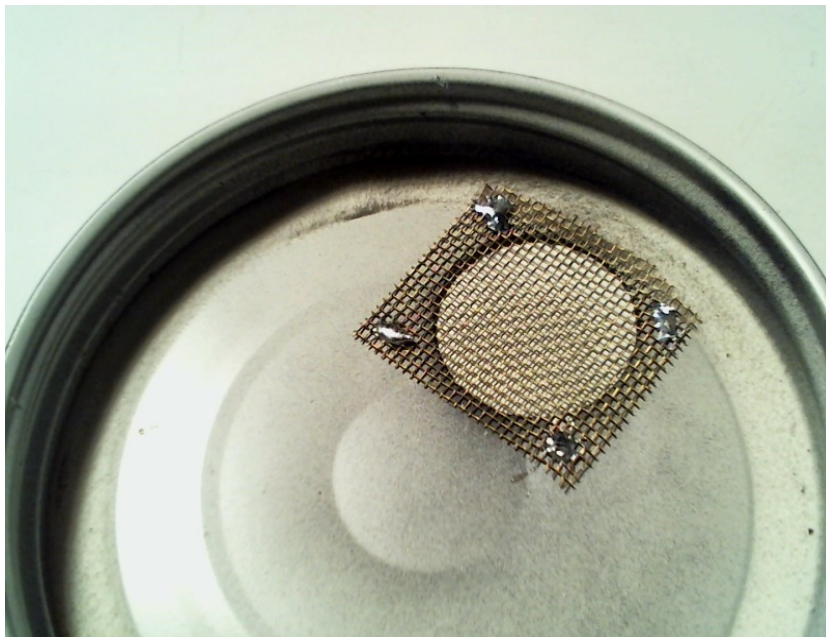
**Peignez complètement**, même l'intérieur **des boîtes et des bouchons**. Il faut le faire **avant de commencer à placer les pièces électroniques**. Plus tard, vous risqueriez de les salir, tout comme le revêtement intérieur de l'aluminium.

## Les toiles de laiton sur les couvercles



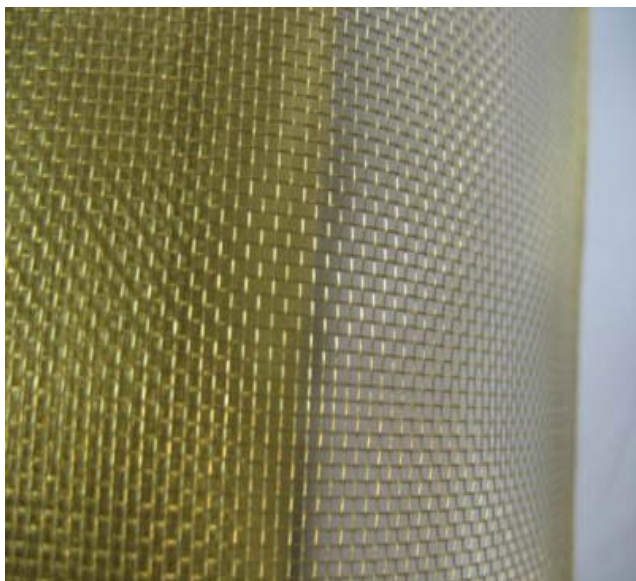
Seuls deux couvercles (ceux qui n'ont pas de trou central) doivent avoir des trous fermés par une grille métallique, pour protéger les délicats circuits internes des champs électriques (principalement le bruit de l'alimentation).

Les seules grilles métalliques faciles à souder sont en laiton ; pour la disponibilité, voir la page suivante.

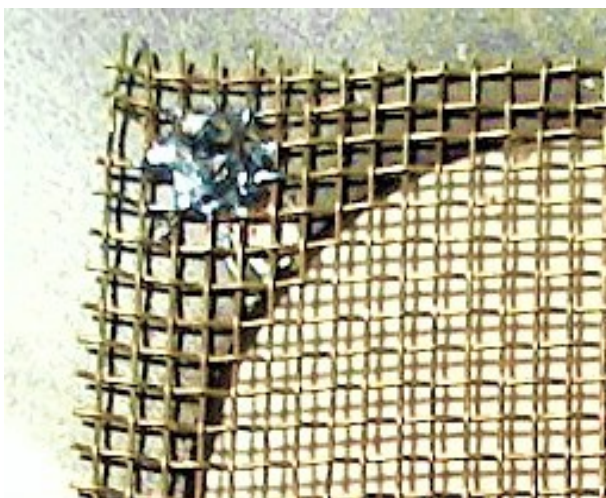


Grattez quatre petites zones autour du trou avec un tournevis et préparez-les avec un fer à souder et une goutte d'étain. Déposez la toile et fixez-la en chauffant les gouttes. Attention à ne pas chauffer trop longtemps, sinon la peinture derrière brûlera. Vous pouvez peindre les couvercles après avoir mis la toile, elles deviendront également noires; électriquement parlant, ce n'est pas grave.

## La toile de laiton



Il existe deux types de toiles en laiton, larges ou serrées. Ces deux types mesurent 1,0 mm et 0,5 mm, ce qui correspond à la distance entre les fils. **Les deux types sont bons pour la chambre d'ionisation, mais si possible, choisissez la plus fine.**



Pour la chambre d'ionisation, deux petits carrés de 35 x 35 mm suffisent. La toile en laiton, peut être utile dans de nombreux appareils électroniques, vous pouvez décider de dépenser un peu plus, d'acheter quelques dizaines de centimètres.

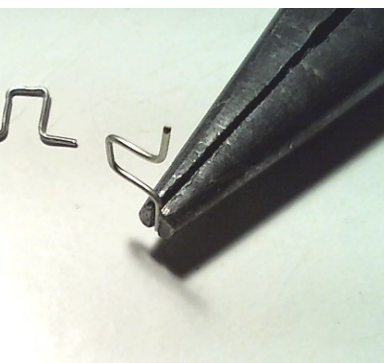
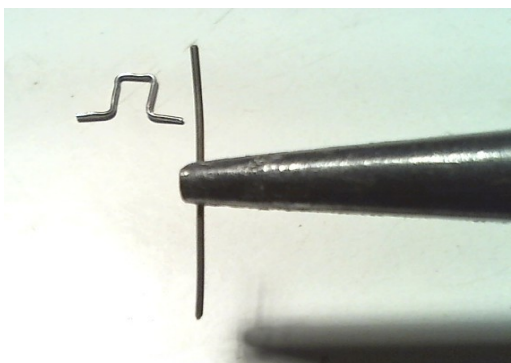
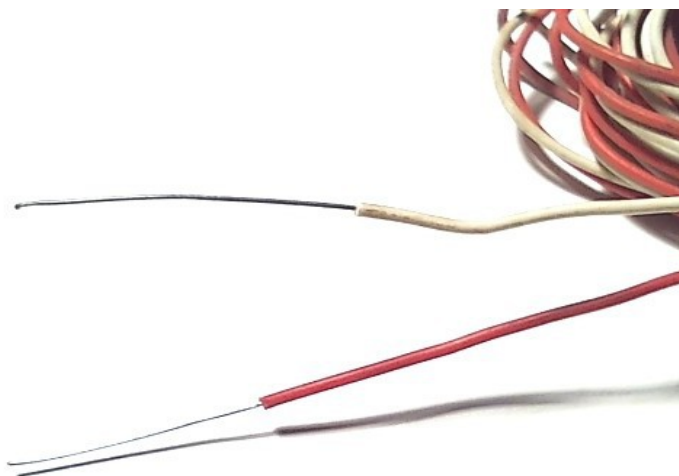
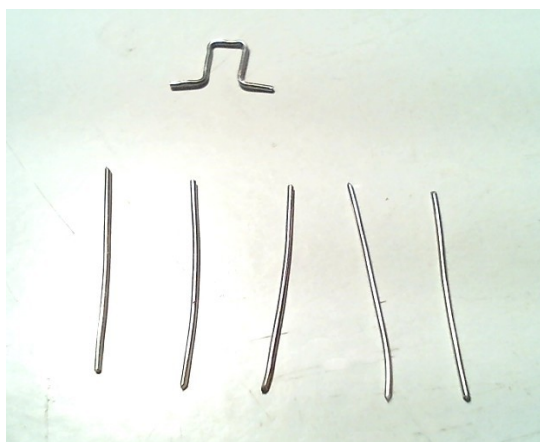
Vous pouvez chercher dans les quincailleries et les magasins de composants hydrauliques, pour les meilleures offres, car dans le passé, il a été utilisé dans les robinets, les filtres pour les systèmes d'irrigation et d'autres dispositifs pour l'agriculture. Les meilleurs magasins à rechercher, sont situés à la campagne et dans les zones rurales.

Si vous ne pouvez pas le trouver facilement, vous pouvez chercher sur eBay, vous devez acheter au moins un demi-mètre et même ainsi, les frais d'expédition doublent le prix final.

Pour le chercher sur eBay, **vous devez chercher " toile en laiton "**, vous devriez trouver des offres pour 0,5 x 0,5 mètres, à environ 4 à 10 euros, plus les frais de port.

## Préparation des clips pour les bouchons

Tout d'abord, préparez six morceaux de fil de 25 mm de long, en pelant du fil téléphonique standard (0,6 mm de diamètre) ou tout autre fil rigide de diamètre similaire.



Les clips sont ensuite soudés aux couvercles.

Il faut préparer le couvercle, en grattant avec un tournevis deux points, à une distance de 8 mm l'un de l'autre, avec une goutte d'étain, puis s'approcher du clip, en le tenant avec une pincette et le souder comme sur cette photo.

Pour chaque couvercle, il faut souder deux clips, l'un en face de l'autre. **Faites attention à trouver deux positions, où le bord du fil n'est pas trop haut, sinon les clips occupent trop d'espace.**



## Soudage des clips

Cette opération ne sera effectuée qu'en fin de construction, mais nous la montrons quand même, pour comprendre à quoi servent les clips et faciliter leur construction.



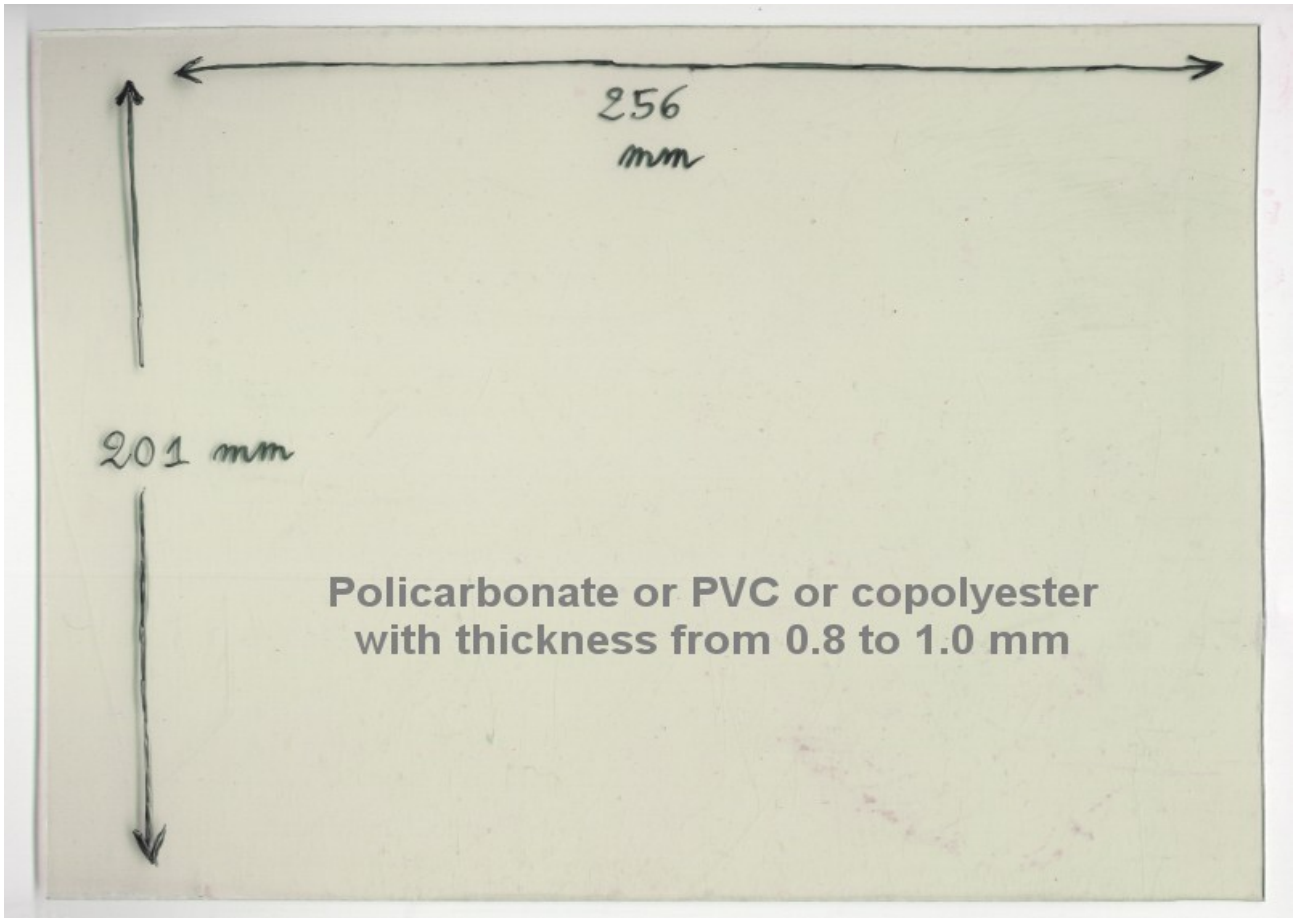
Vous devez rayer la peinture avec le tournevis sous le clip.

Avant, **vous devez faire attention à tourner le couvercle d'une manière appropriée**, en alignant les deux trous de 25 mm. Veillez à ce que les trous de 25 mm de la base de la chambre restent décalés par rapport aux trous de la base. Lorsque la chambre est horizontale, un trou doit rester en haut et l'autre en bas (ceci pour faciliter le passage de l'air par convection).



Il est temps maintenant de souder. Attention à ne pas trop chauffer, pour éviter de dessouder le fil à l'intérieur du couvercle et ne pas brûler la peinture environnante. Je suggère de mettre un peu de peinture noire, pour couvrir la soudure et le clip.

## Doublure interne



Il faut d'abord préparer une feuille de plastique isolant pour isoler le revêtement en aluminium du métal de la boîte. Le revêtement intérieur du flacon seul ne pourrait pas résister à 400 volts. Il serait également difficile de coller la bande d'aluminium à l'intérieur du flacon. On prépare ce genre de feuille de plastique en la recouvrant, avant de l'insérer, enroulée, à l'intérieur de la canette.

Il est préférable que cette feuille soit très épaisse (0,8 mm à 1 mm), non pas pour l'isolation électrique, mais pour renforcer la structure et tenir les parois du flacon. Sans ce revêtement, les parois minces du flacon vibrent facilement et peuvent entrer en résonance avec les bruits ambiants forts, provoquant des perturbations et des faux comptages.

Pour la même raison, la feuille de plastique, en plus d'être épaisse, doit avoir la longueur exacte, de sorte qu'elle nécessite une certaine force, pour entrer dans le flacon.

Après avoir fait le travail correctement, **en tapant légèrement sur le flacon, vous devriez entendre un son très sourd**, bien amorti et très différent du son du flacon vide.



## Contrôle de la longueur de la feuille isolante



Après avoir coupé la feuille de plastique, vérifiez si elle entre bien dans le flacon. À la longueur exacte, lorsque vous l'insérez, elle doit faire une "fente" et devenir une surface continue sans chevauchement et sans laisser de vide.



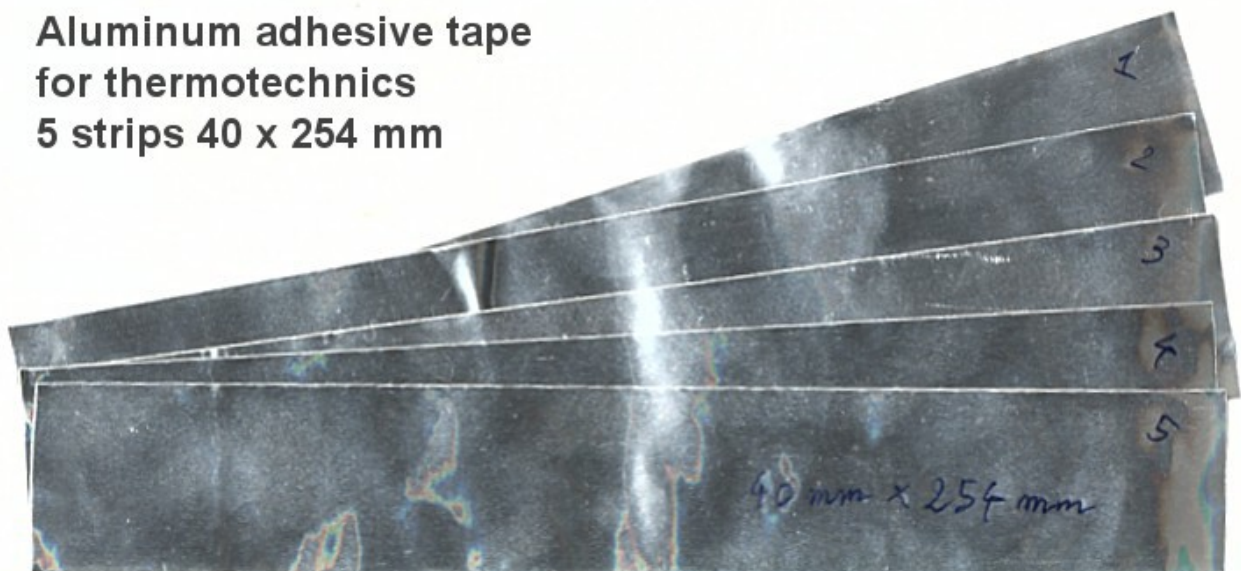
Avant de l'insérer pour la première fois, **pliez un coin avec une pince** comme on le voit sur cette photo, sinon il deviendrait très difficile de le retirer pour l'usage ultérieur. Sans cela, pour retirer la feuille de plastique, il faudrait pousser en dessous avec un tournevis, en risquant de rayer l'intérieur déjà peint.

## Couche d'aluminium



Tout d'abord, vous devez acheter un rouleau de ruban adhésif en aluminium. Ces rouleaux mesurent normalement de 4 pouces à 4 pieds. Comme nous avons besoin de moins d'un mètre et demi, avec un seul rouleau vous pouvez fabriquer près de trois chambres d'ionisation, en dépensant environ 2 euros chacune.

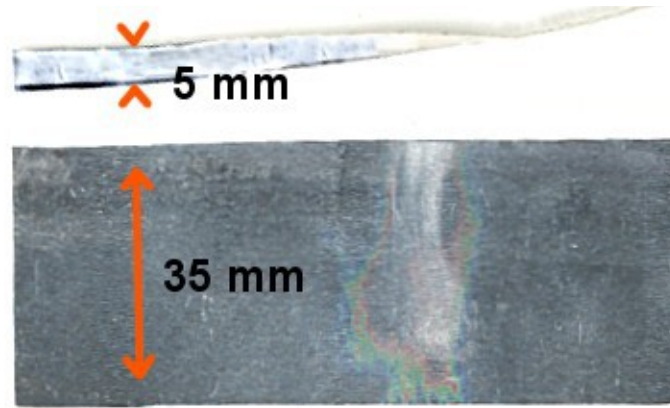
**Aluminum adhesive tape  
for thermotechnics  
5 strips 40 x 254 mm**



Cinq bandes de 254 mm de long sont coupées dans le rouleau.

L'une des cinq bandes doit avoir une largeur de 35 mm seulement.

Elle est marquée au crayon, puis coupée aux ciseaux.



Enfin, les bandes sont collées sur le plastique très soigneusement, sans les faire se chevaucher et sans laisser d'espace, **en laissant tout autour un rebord isolant d'environ deux ou trois millimètres.**

## Raccordement du fil au revêtement



Avant de rouler le revêtement, dans le cylindre de la chambre, vous devez connecter le fil qui apportera la haute tension. Ce fil doit relier toutes les bandes, mais comme vous ne pouvez pas souder l'aluminium, vous devez peler quelque chose comme 180 mm et préparer une autre bande de 30 mm par 190 mm qui sera utilisée pour la recouvrir.



*La bande qui recouvre le fil doit **très bien adhérer sur celui-ci** ! Si elle reste isolée, elle peut se charger lentement, jusqu'à des tensions très élevées et se décharger périodiquement, via des étincelles invisibles, sur les bandes sous-jacentes, produisant des comptages erronés.*

Comme la bande supérieure n'est pas en contact avec les bandes inférieures à cause de la couche adhésive, vous devez utiliser la technique de la "couture" qui consiste à entrer et sortir avec le fil, comme on le voit au centre de cette image. Vous pouvez aussi utiliser la technique du "carré plié en dessous" comme vous pouvez le voir dans l'agrandissement à droite.

La technique du carré plié, consiste à plier une partie de la face non adhésive de la bande supérieure, contre celle de la bande inférieure, en faisant un bon contact.



Dans tous les cas, **vérifiez et mesurez avec un multimètre**, pour obtenir un contact sûr entre le fil et toutes les bandes. N'oubliez pas de vérifier également **la bande qui recouvre le fil**.

## Couche de cuivre

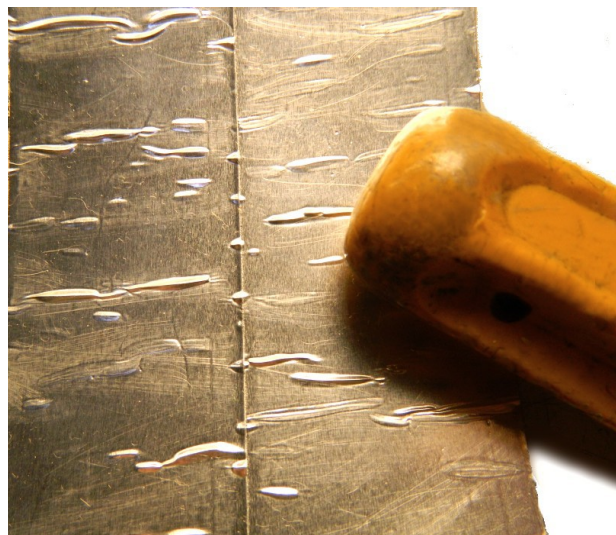


Du ruban adhésif en cuivre (que l'on trouve facilement sur eBay) pourrait rendre la construction du revêtement, encore plus facile . Avec un rouleau de 10 centimètres de large, deux bandes côte à côte suffisent, avec un ruban de 2,5 pouces (comme celui de droite) les bandes sont au nombre de huit.

Comme le cuivre peut être soudé, il est facile de souder le fil et de s'assurer que toutes les bandes sont en contact.

*Même en utilisant du ruban de cuivre, n'oubliez pas de vérifier avec un multimètre que **toutes les bandes sont bien connectées**. Si l'une d'entre elles reste isolée, il en résulterait une diminution de la sensibilité et, pire encore, une charge périodique et un phénomène de décharge de la bande vers les bandes adjacentes. Cela provoquerait du bruit et des comptages parasites et **empêcherait le bon fonctionnement de la chambre**.*

## Éliminez les plis du revêtement



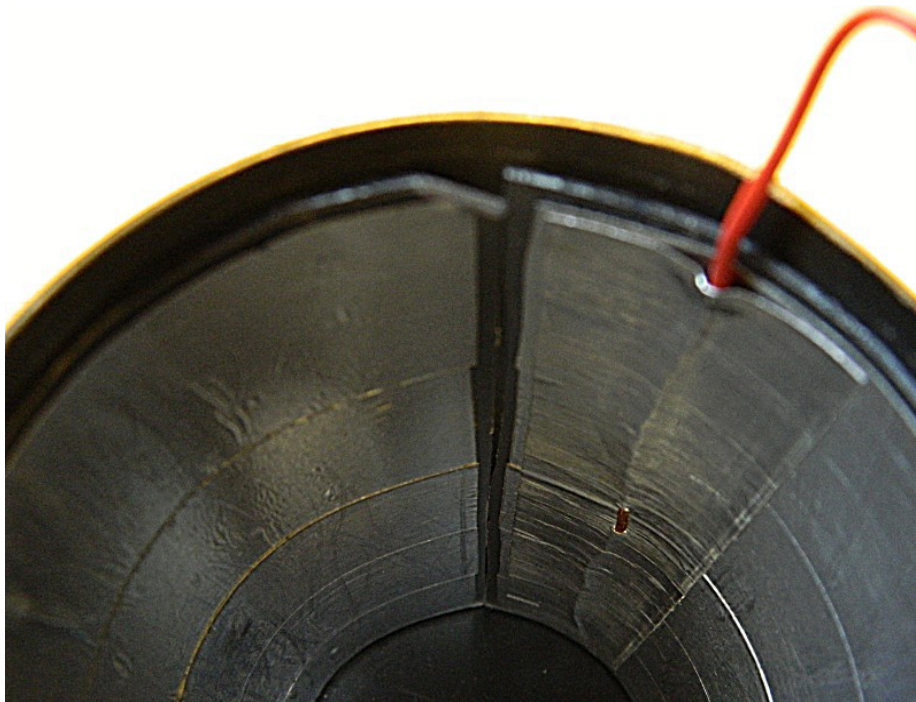
Lorsque le revêtement est enroulé dans la cavité du cylindre, le ruban (d'aluminium et de cuivre) a tendance à faire des plis. Ces plis ne posent probablement pas de problèmes de fonctionnement, mais ils sont certainement disgracieux. Pour aplanir les plis, vous pouvez utiliser le manche d'un tournevis à tête arrondie. Cette opération sera répétée, en plaçant le revêtement à l'intérieur du cylindre, de manière définitive.

## Insertion du revêtement



Le revêtement doit être inséré en le tournant de la bonne manière. Tout d'abord, vous avez le cylindre avec le grand trou en bas et le couvercle avec un grand trou en haut, comme on le voit sur la photo.

Vous installez ensuite le revêtement, tourné de manière à ce que le fil haute tension se trouve dans le coin supérieur droit, autour de la position du petit trou du couvercle, par lequel il devra passer.



Enfin, avant de mettre le couvercle, retirez les plis restants sur le revêtement avec le manche du tournevis, comme expliqué ci-dessus.

## L'électrode centrale

Nous sommes presque à la fin de la partie mécanique. La partie électrode centrale, sera expliquée en détail dans le document "Radon\_IonChamberV7\_Electronics"



Cette image montre l'électrode centrale qui dans la version 7 n'est plus un fil solide mais un tube en laiton de 3 mm.

L'utilisation d'un tube au lieu d'un fil massif permet d'obtenir une plus grande rigidité pour un même poids, ce qui réduit considérablement la sensibilité aux vibrations mécaniques.