

Détecteur de métaux à équilibre inductif

La chasse aux trésors à faible coût

Projet : Thomas Scarborough

Le projet présenté ici est indubitablement le détecteur de métaux IB (*Induction Balance*) le plus simple qu'il soit possible de réaliser à l'aide de composants standard. La méthode IB de détection de métal se caractérise par une bonne profondeur de pénétration et effectue une discrimination entre métaux ferreux et non-ferreux.



Il existe, dans le commerce, nombre de détecteurs de métaux, mais leur prix les met souvent hors de portée des possibilités financières de tout jeunes et de ceux qui font leurs premières armes dans ce nouveau violon d'Ingres qui ne manquera pas de devenir le leur qu'est la « chasse aux trésors ». Cet article décrit un détecteur de métaux facile à réaliser et ce pour un coût très abordable. | A

condition d'être bien réalisé et étalonné correctement, il devrait être en état de détecter sans ambiguïté une petite pièce de bronze de 15 mm de diamètre dans l'air à 70 mm de distance ou une pièce de 25 mm à quelque 120 mm. Il est en mesure de détecter plus vaguement, à des distances un quart plus grandes. Nous

ne vous apprendrons rien en vous disant que la capacité de localiser des pièces enterrées varie bien entendu en fonction des caractéristiques du sol concerné, un sable sec donnant les meilleurs résultats, de l'argile constituant le « médium » le plus imperméable entre la tête de détection et un (éventuel) trésor.

L'électronique

La circuiterie requise pour la réalisation de ce projet est relativement simple et fait appel à des composants courants dont certains se trouvent peut-être même dans votre tiroir de composants de récupération ou de pièces d'usage courant. L'électronique dont on retrouve le schéma en **figure 1** est constituée d'un émetteur d'impulsions et d'un récepteur syntonisé, à trafic unidirectionnel dont le médium est une paire de bobines.

Le coeur de l'émetteur prend la forme de IC1. Ce temporisateur du 555 en version CMOS (pour sa faible consommation) génère un signal de sortie de forme rectangulaire à rapport cyclique de 50% et ayant une fréquence de l'ordre de 700 Hz. En mode de fonctionnement astable, la

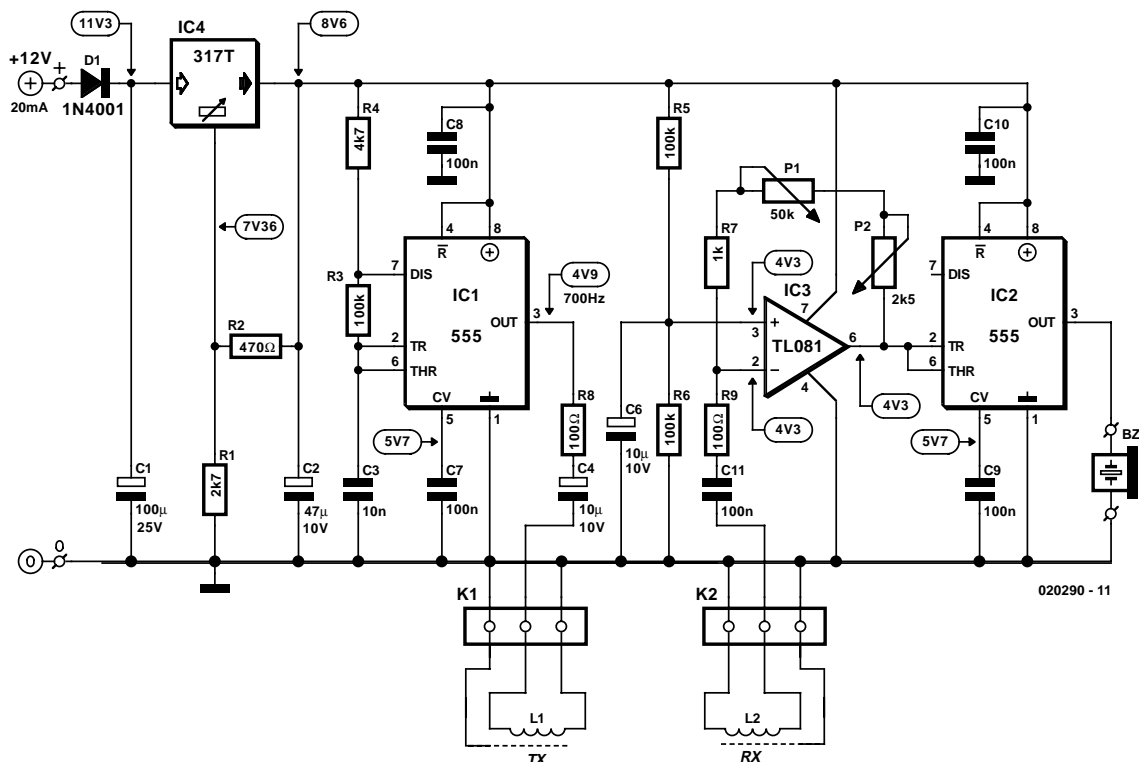


Figure 1. L'électronique du détecteur de métaux.

fréquence de sortie du 555 est déterminée par les composants R4, R3 et C3. L'impulsion de sortie est appliquée à la bobine TX (émettrice), L1, au travers du réseau série constitué par la paire R8/C4, le condensateur électrolytique ayant pour fonction de bloquer le passage de tout courant continu vers la bobine, la résistance servant à protéger l'étage de sortie intégré dans le 555. Les flancs des impulsions produites par le 555 excitent la bobine et produisent des salves d'oscillation atténuées à la fréquence de résonance propre de quelque 10 kHz.

La section de réception centrée sur IC2 est dotée en amont d'un étage de préamplification basé sur IC3, qui, s'il est simple, n'en est pas moins efficace; cet étage amplifie le signal produit par la bobine RX (réceptrice), L2, au travers du réseau RC R9/C11. Le gain de l'amplificateur opérationnel est ajustable par le biais des ajustables P1 (gros) et P2 (fin).

Le second 555 CMOS, IC2, est configuré de manière à travailler en vrai détecteur de seuil, sa sortie (broche 3), passant au niveau haut dès que le niveau du signal appliqué à l'entrée (broche 2) tombe en deçà

du tiers (1/3) de la tension d'alimentation (soit quelque 2,9 volts). De même, la sortie rebascule au niveau bas dès que la tension présente sur l'entrée THR (broche 6) dépasse les 2 tiers (2/3) de la tension d'alimentation soit de l'ordre de 7,4 volts. Dans ces conditions, on aura apparition d'un signal de 700 Hz au niveau du résonateur piézo-électrique dès que ce seuil, ajusté avec soin, est dépassé. Cet étalonnage est extrêmement critique et constitue à la fois la pierre d'achoppement et la pierre philosophale de cette réalisation.

Couplage de bobines

Les bobines TX et RX ont été couplées de façon critique de sorte que la présence de métal aura pour effet de « déranger » leur couplage magnétique et ce faisant la mise au silence ajustée avec un soin extrême du détecteur de seuil. Les 2 bobines, de dimensions identiques, se recourent partiellement. Cela permet à la bobine RX de capter une composante tant positive que négative (inversée) du champ magnétique produit par la bobine TX. De par l'équilibre des bobines obtenu par un réglage soigné, les signaux posi-

tif et négatif s'éliminent l'un l'autre, la bobine RX fournissant ainsi, en théorie, un signal de sortie nul.

C'est ce que nous appellerons un « zéro ». Cependant, en raison de limitations pratiques on aura toujours présence d'un petit signal résiduel. Dès lors que l'équilibre délicat est rompu par la présence d'un objet métallique (qui absorbera une partie de l'énergie du champ magnétique), la bobine RX se mettra à fournir un signal de sortie plus important, ce qui se traduit par un dépassement du seuil électrique défini pour IC2, et la mise en fonction du résonateur piézo-électrique. En pratique, le réglage du détecteur est optimal lorsque le résonateur piézo-électrique **passif** produit, en l'absence de métal, une sorte de signal crachotant. Avec ce réglage, le niveau du signal augmentera très sensiblement en cas de détection d'un objet métallique.

L'ajustage de la position « zéro » des bobines est critique et sera décrite dans le détail un peu plus loin.

L'alimentation du circuit se fait à l'aide d'une batterie 12 V ou d'un set de 8 piles (LR6, AA rechargeables ou alcalines). L'approche consistant à faire de l'alimentation un ensemble externe porté sur l'épaule permet de réduire sensiblement le poids total du détecteur de métaux. Elle facilite également le remplacement des piles vides par un set de piles neuves ou chargées.

Le régulateur de tension intégré, IC4, est

Liste des composants

Résistances :

- R1 = 2kΩ7
- R2 = 470 Ω
- R3,R5,R6 = 100 kΩ
- R4 = 4kΩ7
- R7 = 1 kΩ
- R8,R9 = 100 Ω
- P1 = potentiomètre 50 kΩ lin.
- P2 = potentiomètre 2kΩ5, lin.

Condensateurs :

- C1 = 100 μF/25 V radial
- C2 = 47 μF/10 V radial
- C3 = 10 nF
- C4, C6 = 10 μF/10 V radial
- C7 à C11 = 100 nF

Semi-conducteurs :

- DI = 1N4001
- IC1,IC2 = 555C, TLC555, 7555 (CMOS)
- IC3 = TL071 CP, TL081 CP
- IC4 = (LM)317T (en boîtier TO220)

Divers :

- K1, K2 = bornier encartable à 3 contacts au pas de 5 mm
- BZ1 = résonateur piézo passif (AC)
- PC1,PC2 = picot
- batterie 12 V ou set de 8 piles LR6 (AA)
- fil de cuivre émaillé 36-30 SWG (0,2 à 0,3 mm de diamètre), 2 x 50 m
- boîtier 109x58x25 mm tel que: 5004-14 (Bimbox)ou 1590B (Hammond)
- 5 m de câble pour microphone symétrique blindé (2 conducteurs à blindage commun)

configuré, de par les valeurs attribuées à R1 et R2, de manière à fournir une tension de sortie de 8.6 V. La consommation de courant est de l'ordre de 20 mA, valeur qui dépend principalement de l'activité du résonateur bien entendu.

Réalisation – la platine

L'implantation des composants sur le circuit imprimé représenté en **figure 2** ne devrait pas poser de problèmes, vu le faible nombre de composants nécessaires et leur « étalement » sur la platine. Il est en outre fait appel à des composants à « pattes » classiques (pas de CMS). Si ce montage est l'un des premiers que vous réalisez, veillez à respecter et à faire concorder la sérigraphie de l'implantation des composants et la liste des composants. Comme l'illustrent les **figures 3** et **4**, les axes des potentiomètres traversent la platine, ces organes étant montés côté « pistes ». Il faudra en réduire la longueur à la taille nécessaire en fonction de la hauteur de boî-

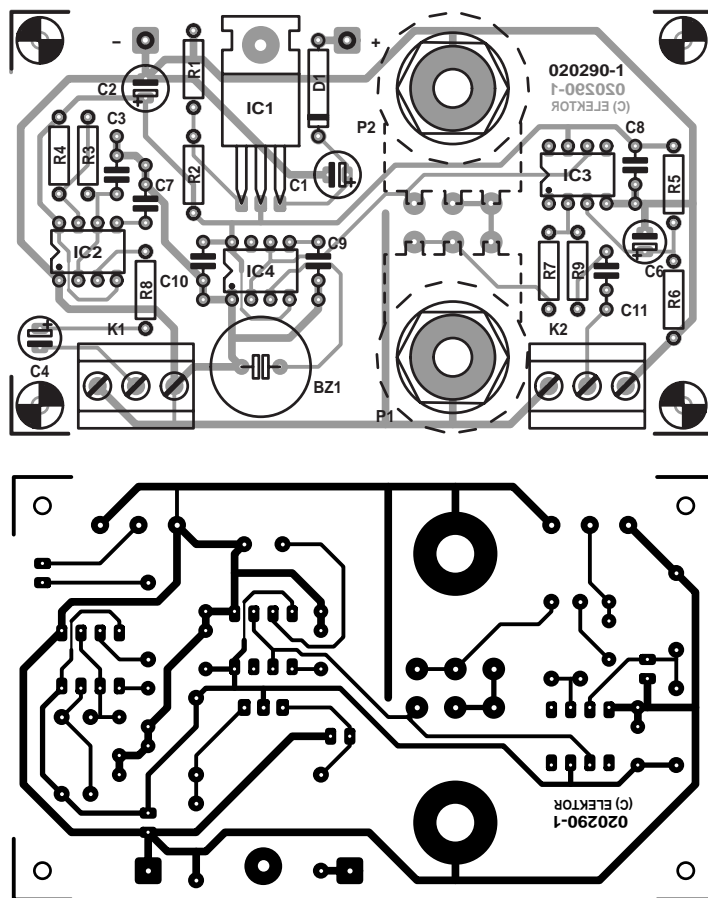


Figure 2. Dessin recto-verso de la platine dessinée à l'intention de cette réalisation (disponible auprès des adresses habituelles).

tier avant de les doter de leurs boutons. Comme il s'agit d'une électronique relativement sensible, nous recommandons l'utilisation d'un boîtier métallique. Ceci a l'avantage additionnel de permettre la mise à la masse des corps des potentiomètres par le biais de leur écrou de fixation.

Réalisation – l'ensemble tête de détection

La réalisation des bobines vous conduit dans le domaine si redouté de la « construction mécanique » encore que certains experts appellent cela le « délassement du dimanche après-midi ». Quoi qu'il en soit cela vous changera de la manipulation du fer à souder et des composants qui vous sont si chers. Vous trouverez ci-après la description d'une tête de recherche (telle que la suggère l'auteur). Une image disant plus que mille mots, nous nous référons aux croquis de la **figure 5**.

Les 2 bobines sont identiques. Si vous le pouvez, utilisez du fil de cuivre émaillé 33 SWG (0,26 mm de diamètre). Effectuez 100 spires dans le sens des aiguilles sur un gabarit circulaire de 15 cm de diamètre. La section exacte du fil utilisé n'est pas critique tout fil de diamètre compris entre 0,2 et 0,3 mm fera parfaitement l'affaire.

Les spires de la bobine sont maintenues temporairement en place en divers endroits à l'aide de ruban isolant avant que l'ensemble ne soit glissé du gabarit. Il n'est pas nécessaire que les spires soient parfaitement alignées, elles peuvent se superposer de manière quelque peu désordonnée. La réalisation de la seconde bobine est identique. Ensuite, on renforce la solidité mécanique de chacune des bobines en l'entourant dans la totalité de sa circonférence de ruban isolant. On dote ensuite chacune des 2 bobines d'un blindage de Faraday; pour cela on utilisera de longues



Figure 3. L'un de nos prototypes vus du dessus.

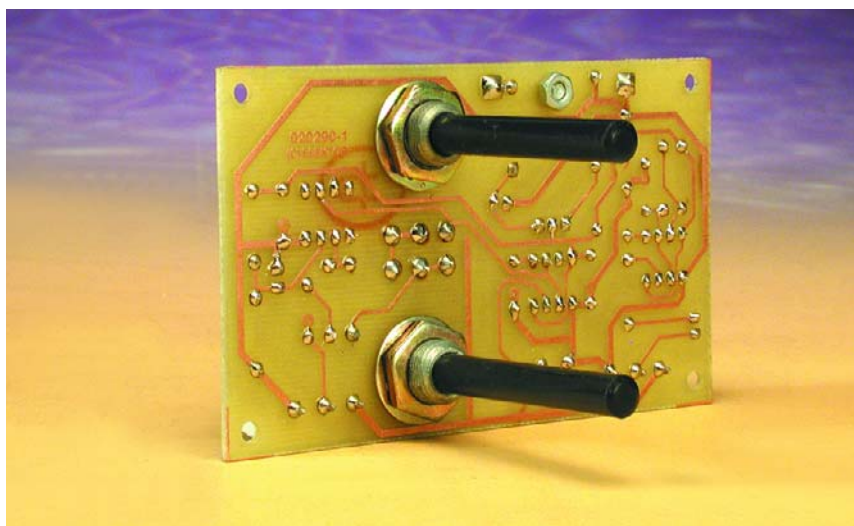


Figure 4. Le dessous de l'un des prototypes.

bandes de feuilles d'aluminium ou de papier d'étain. On commence par enlever l'émail de chacune des extrémités du fil constituant la bobine. On soude ensuite un morceau de conducteur dénudé de 100 mm de long à cette extrémité débarrassé de son émail, que l'on entortille sur la bobine par-dessus le ruban isolant. Ce conducteur assurera le contact électrique avec le blindage de Faraday. En commençant à la base de ce conducteur on enroule la bandelette de feuille d'aluminium sur toute la circonférence de la bobine, de manière à ne plus voir de ruban isolant sous la feuille d'aluminium. Le revêtement en feuille d'aluminium ne recouvrira cependant **pas la totalité**

des 360° de la bobine. Il faudra laisser un petit endroit, de 10 mm disons, de manière à ce que l'une extrémité du blindage en aluminium n'entre pas en contact avec l'autre (si cela était le cas, cela créerait un court-circuit de l'enroulement qui introduirait une atténuation très importante dont nous n'avons vraiment pas besoin). Répétez cette opération pour les 2 bobines. Reliez chacune des bobines à un morceau de câble pour microphone blindé symétrique de bonne qualité, les blindages de Faraday étant soudés au blindage de ces câbles. Ne pas utiliser de câble (pour microphone) stéréophonique vu que cela pourrait se traduire par une interférence entre

les 2 bobines. Le câble qu'il vous faut possède une paire de conducteurs de signal torsadés enveloppés d'un blindage. Il est temps maintenant de doter chaque bobine d'une enveloppe de ruban isolant sur toute sa circonférence. Il faudra, pour finir, doter chaque enroulement d'un revêtement fait de bandes de textile absorbant (un vieux torchon déchiré en bandelettes devrait faire l'affaire) sur l'ensemble de la circonférence, en vous servant de quelques gouttelettes de colle multi-usage par-ci par-là pour en assurer la fixation. Plus tard, lorsque l'on coulera de la résine sur les bobines, ce matériau textile servira à intégrer les bobines dans la résine.

Ensuite, on tordra légèrement les bobines terminées de manière à ce qu'elles soient le plus planes et circulaires possibles, en faisant en sorte que les fils constituant les extrémités de la bobine soient le plus éloignées de vous, l'extrémité de début se trouvant à droite. Pliez ensuite doucement jusqu'à ce que chacune des bobines ait pris une forme ovale à un côté aplatie, comme un D majuscule (cf. le croquis). Les dos de nos « D » sont positionnés de manière à se chevaucher légèrement, cette étape constituant la partie délicate de l'opération qu'il faudra effectuer une fois la platine terminée.

Il faudra une nouvelle fois blinder les bobines (à l'aide de feuille d'aluminium ou d'étain) pour être certain qu'elles ne répondent qu'à leur propre champ magnétique, éliminant ainsi tout risque de passage de signal (qui serait induit par le moindre couplage capacitif). Un blindage insuffisant ou défectueux se traduira par l'apparition de flancs d'impulsions rapides en provenance de IC2 à l'entrée de IC3. De par ces impulsions il deviendra impossible de trouver un « zéro » lors de la recherche de la position optimale relative des bobines (cf. un peu plus loin).

Ajustage

Comme vous l'avez sans doute saisi, la réalisation de la tête de détection n'est pas encore terminée. Au point où nous en sommes, certains aspects de la réalisation ont une interaction sur le réglage du circuit. Vous perdez le fil ? Nous allons voir cela de plus près.

Il vous faudra disposer d'une platine terminée et fonctionnelle avant de pouvoir « enrober » les bobines. L'enrobage prend la forme de résine plastique coulée dans un élément support non métallique. Toute surface de base de taille adéquate fera l'affaire à condition d'être suffisamment rigide. Pour réaliser son prototype l'auteur a utilisé une plaque de Masonite (panneau de porte ou mural), les rebords du gabarit d'enrobage prenant la forme de taquets en bois de 5 mm de haut

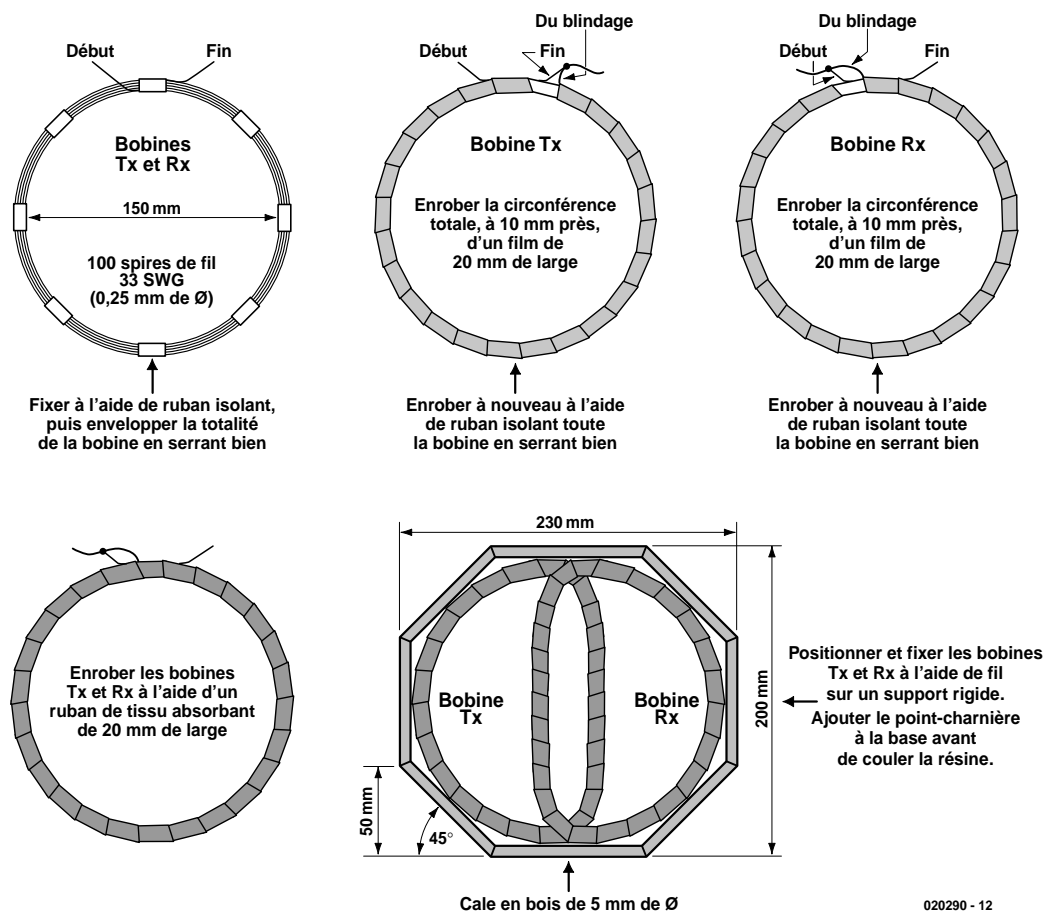


Figure 5. Mode de réalisation de la tête de détection.

collés sur le fond. Il faudra veiller à ce que ces rebords ne laissent pas passer de résine. Il ne saurait être question d'utiliser un quelconque métal dans la tête de détection. Il restera à recouvrir un segment de 4 cm de la bobine de « pâte à modeler » plastique pour qu'il ne se trouve pas pris dans la résine de manière à pouvoir le plier légèrement au cas où il serait nécessaire de procéder à un ajustage final. La première étape consiste à superposer les bobines –en veillant à leur orientation correcte, les extrémités se trouvant le plus éloignées de vous, le fil de début à droite (il faudrait faire faire une rotation verticale de 180° au modèle de la figure 5). Mettre les potentiomètres à fin de course dans le sens horaire (gain minimum) de manière à réduire au maximum l'amplification (gain). Connectez la batterie (ou le set de piles) de 12 V et mettez l'électronique sous tension. Écartez doucement les bobines jusqu'à ce que le résonateur devienne silencieux. Ceci correspond à la position dans laquelle la tension dans la bobine RX est à « zéro ». Augmentez légèrement le gain et jouez à nouveau sur les positions des bobines. Répétez l'ajustement un certain nombre de fois en augmentant à chaque fois le gain. Plus il vous sera possible

d'arriver à trouver un zéro à un gain élevé, meilleure sera la sensibilité de votre détecteur de métaux. **L'écartement des bobines devra toujours se faire d'une position « séparées » et non pas dans l'autre sens.** En cas d'ajustage dans le « mauvais sens », le niveau du signal des bobines commencera, en cas de détection d'un objet métallique, par chuter, en passant par zéro pour augmenter à nouveau jusqu'à atteindre un niveau entraînant l'activation du résonateur. En principe, cela est OK, mais la sensibilité du détecteur de métaux s'en ressentira énormément. Prenez le temps de bien identifier la position relative la meilleure à donner aux bobines. Si nécessaire, utilisez un gabarit de bois pour simplifier l'ajustement mécanique et faciliter la comparaison des résultats. Une fois que vous avez bien identifié le positionnement relatif des bobines, prenez un marqueur et marquez des points où percer des trous tout autour des 2 bobines. Ces trous ser-

vront au passage de serre-câbles destinés à fixer parfaitement les bobines sur le support de base. Utilisez également un serre-câble pour fixer solidement les câbles de microphone au plan de base. On utilisera à nouveau de la pâte à modeler plastique (plasticine) pour boucher les trous sur le dessous du plan-support avant de couler la résine. À noter que la résine plastique est très fluide et souvent colle mieux que nombre de colles spécialisées. Repliez avec soin les bobines au centre du plan-support jusqu'à ce que vous ayez trouvé l'équilibre précis, point auquel il n'y a ni silence ni niveau de bruit important dans les écouteurs (ou le résonateur) mais uniquement un petit crachotement. Il n'est pas grave si vous constatez une petite dérive pour le moment. Ce sera sans doute le moment de prévoir un dispositif de fixation du manche fixé à la tête de détection, système dans lequel viendra se glisser le manche du détecteur de métaux. Un tube en plastique de 2,5 cm de section ou mieux devrait

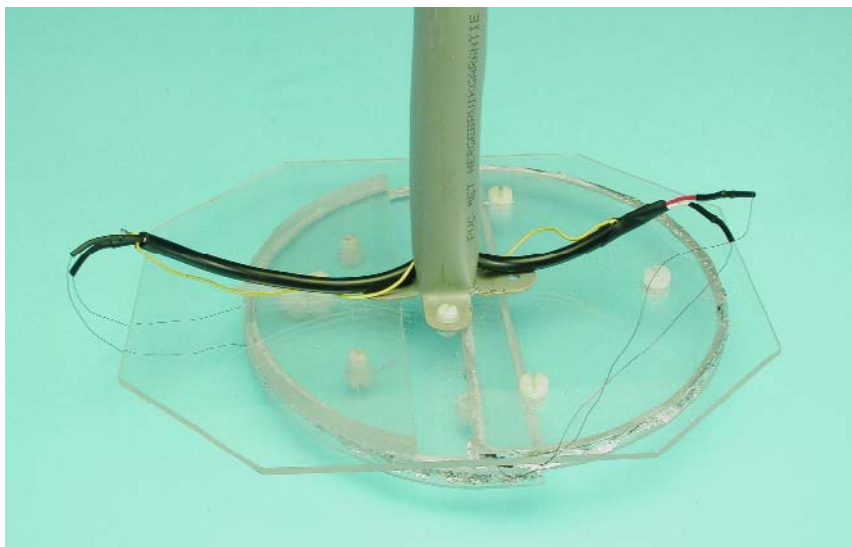


Figure 6. Tête de détection à base de plexiglas (Perspex).

faire un excellent manche (résistant et léger tout à la fois).

Il est temps maintenant de mélanger les produits constituant la résine et de la couler. Utilisez la quantité requise de catalyseur pour éviter que le mélange ne chauffe trop et qu'il y ait trop de retrait de la résine. Versez la résine sur le textile enveloppant les bobines de manière à l'imbiber complètement et continuez à verser jusqu'à ce que le fond du moule soit recouvert de résine. Il se peut que le montage ne fonctionne plus aussi bien qu'auparavant, jusqu'à ce que la résine ait durci. Il ne faut pas modifier le réglage pour le moment, coupez l'alimentation du détecteur de métaux.

Lorsque la résine est devenue solide, positionnez la tête de détection loin de tout métal et de tout équipement micro-informatique qui peut produire lui aussi des interférences importantes et appliquez l'alimentation. Mettez P2 (réglage fin) à mi-course. Jouez ensuite sur P1 (réglage grossier) jusqu'à ce que le détecteur de métaux se mette à produire un crachotement, à mi-chemin entre le silence et un niveau de bruit important. Utilisez les boutons de réglage grossier et fin pour régler au mieux. Déplacez une pièce à proximité de la tête de détection, cela devrait se traduire par des « hurlements » du résonateur.

Méthode alternative de réalisation



Figure 7. Gravure des sillons dans les demi-disques de plexiglas.

Les figures 6 et 7 proposent une méthode de réalisation différente de la tête de détection, faisant appel à des morceaux de plexiglas (Perspex). Les bobines TX et RX sont insérées dans un sillon gravé dans la partie ronde d'un demi-disque de Perspex. Une autre pièce de Perspex, carrée cette fois, sert à fixer les 2 demi-disques l'un à l'autre, à les connecter au manche en PVC tout en permettant de jouer sur l'ajustement au niveau des bobines. Pour cela on utilisera des écrous et des boulons en nylon. Une fois que cet assemblage est terminé et que son réglage donne satisfaction il faudra à nouveau l'enrober de résine ou le coller solidement pour lui donner la rigidité mécanique requise.

En pleins champs

Vous aurez vite fait de découvrir, lors de vos premiers essais en plein air que le réglage du détecteur de métaux est influencé par la minéralisation du terrain objet de vos recherches, ainsi que par des variations de la température et de la tension d'alimentation; il faudra partant inévitablement jouer de temps à autre sur P1 et P2. L'un des inconvénients de l'extrême simplicité de ce projet est une possible dérive. Bien qu'elle ne soit pas excessive, elle peut requérir un réétalonnage à intervalle plus ou moins régulier.

Au centre de la tête de détection la réjection du circuit du fer est très élevée, de sorte qu'une fois que vous aurez le détecteur de métaux bien en mains, il est possible d'éliminer assez facilement tout objet à base de fer. Cette caractéristique ne pourra qu'enthousiasmer les chercheurs de trésors à la recherche de pièces ou de métaux nobles (argent, or, platine très rarement).

Note importante en guise de conclusion

L'utilisation d'un détecteur de métaux est, dans l'Hexagone, soumise à réglementation. Il faut en principe, avoir obtenu une autorisation accordée par arrêté du Préfet de la région dans laquelle est situé le terrain à prospector, si tant est qu'il s'agisse de recherches archéologiques. Si vos recherches demeurent ludiques et ne revêtent pas de caractère officiel et scientifique, il n'est pas nécessaire d'obtenir une autorisation administrative, mais bien quand même celle du propriétaire du terrain... Il vous reste donc votre propre terrain, celui des membres de votre famille (la moitié des trésors (?) découverts leur sera due s'ils en sont propriétaires), les terrains dont l'accès est ouvert au public, plages (non privées), etc. pour procéder à vos premiers essais.

(020290-1)