Rolf Wilhelm

# Détecteurs de Métaux

## Théorie – Pratique

Publitronic

ROLF WILHELM

TRADUCTION : JEAN-PAUL BRODIER

# DÉTECTEURS DE MÉTAUX

PUBLITRONIC / ELEKTOR

## Note

**L'existence en français du seul mot résistance pour désigner à la fois le composant (résistance) et la grandeur électrique (résistance) n'est pas de nature à favoriser la clarté des énoncés. C'est pourquoi nous préconisons, pour désigner le composant (et le composant seulement !) le recours au néologisme « résisteur », calqué avec bon sens sur « condensateur » ou « transformateur ».**
**Ici, résistance désigne donc seulement la grandeur électrique, tandis que résisteur désigne seulement le composant proprement dit.**

# SOMMAIRE


## Avant-propos

## 1 Bases théoriques

1.1 Que sont les champs ? ..... 4
1.1.1 Description d'un champ magnétique ..... 6
1.1.2 Métaux soumis aux champs ..... 8
1.1.3 Champs naturels ..... 10
1.1.4 Champs artificiels ..... 13

1.2 Que sont les métaux ? ..... 16
1.2.1 Conductivité ..... 16
1.2.2 Méthodes de mesure pour l'analyse des objets (discrimination des métaux) ..... 17
1.2.3 Métaux dans le sol ..... 23
1.2.4 Propriétés des signaux des métaux dans le sol ..... 24

1.3 Principes de fonctionnement des détecteurs ..... 24
1.3.1 Détecteurs sinusoïdaux et leurs sous-groupes VLF, TR, BFO ..... 27
1.3.2 Principe de fonctionnement des détecteurs auto-oscillants ..... 29
1.3.3 Méthode de la quadrature ..... 31
1.3.4 Pulse-induction, impulsion-induction ..... 31
1.3.5 Technique du magnétomètre ..... 35
1.3.6 Autres procédés de détection ..... 44
1.3.7 Détecteur spécial TM 5-6665-293-13 ..... 45
1.3.8 Le système EMFAD UG 12 ..... 46

1.4 Bobines ..... 47
1.4.1 Facteur de qualité des bobines ..... 48
1.4.2 Conception des bobines de détection ..... 48
1.4.3 Les bobines et leur comportement par rapport au sol ..... 52
1.4.4 Dimensions des bobines ..... 52
1.4.5 Technique des grandes bobines ..... 54
1.4.6 Sinus et PI : comparaison de la portée ..... 58

1.4.7 Sonde ..... 60
1.4.8 Bobine dans un circuit oscillant ..... 62
1.4.9 Réalisation des bobines ..... 66

1.5 Oscillateurs ..... 68

1.6 Le construire ou l'acheter ? ..... 73

## 2 Conditions pratiques de la recherche

2.1 Trouver les zones de recherche ..... 77

2.2 Exploration raisonnée en rase campagne ..... 81

2.3 Technique et outillage pour les fouilles ..... 84

2.4 Autres accessoires ..... 85

2.5 Dispositions légales ..... 86

2.6 Nettoyage des objets trouvés ..... 86

## 3 Construction des détecteurs

3.1 Détecteur de lignes électriques « Buzzer » ..... 91

3.2 Le détecteur de métaux 8000 Nugget ..... 93
3.2.1 Câblage de la platine ..... 96
3.2.2 Phases du montage ..... 96

3.3 Le détecteur de métaux VLF 770 ..... 99
3.3.1 Étude du schéma ..... 100
3.3.2 Préparation du coffret ..... 101
3.3.3 Fabrication de la face avant ..... 104
3.3.4 Assemblage et raccordement du circuit imprimé ..... 104
3.3.5 Moulage de la bobine de recherche ..... 117
3.3.6 Compensation sol-air ..... 117
3.3.7 Mode d'emploi résumé du détecteur VLF 770 ..... 117

3.4 Le détecteur de métaux DBP 2010, détecteur multi-fonction de haut de gamme . . . . . 118
3.4.1 Description du schéma . . . . . 119
3.4.2 Fabrication de la bobine . . . . . 122
3.4.3 Coffret . . . . . 123
3.4.4 Montage de l'accumulateur . . . . . 125
3.4.5 Assemblage de la face arrière, de la cloison intermédiaire et de la face avant . . . . . 127
3.4.6 Équipement de la platine principale et du module . . . . . 129
3.4.7 Mode d'emploi du détecteur DBP 2010 . . . . . 134
3.4.8 Option grande bobine . . . . . 135
3.4.9 Canne télescopique à trois éléments . . . . . 137
3.4.10 Vérification du fonctionnement . . . . . 138
3.4.11 Réglage . . . . . 141
3.4.12 Filtre à mitraille, pointage, indications du galvanomètre . . . . . 142
3.4.13 Raccordement du chargeur d'accu . . . . . 142
3.4.14 Le détecteur subaquatique DBP 2010 UW . . . . . 142
3.4.15 Mode d'emploi du DPB 2010 UW . . . . . 147

## Appendices

A.1 Schémas de quelques autres détecteurs intéressants . . . . . 149
A.2 Technique des chargeurs . . . . . 154
A.3 Commandements du chasseur de trésors . . . . . 160
A.4 Exemple de données géophysiques et de résultats de mesures dans la région de Dillenburg (Allemagne) . . . . . 161
A.5 Glossaire . . . . . 170
A.6 Réglementations . . . . . 175
A.7 Collections de la sous-direction de l'archéologie . . . . . 179
A.8 Adresses Internet intéressantes . . . . . 181
A.9 Remerciements . . . . . 183
A.10 Kits fournis par l'auteur . . . . . 184
Index . . . . . 185

# Avant-propos

## L'auteur

L'auteur, Rolf Wilhelm, a 47 ans. En 1977, à la fin de ses études de construction mécanique et après une formation commerciale complémentaire à l'usage des ingénieurs et techniciens, il s'intéresse de plus en plus à l'électrotechnique. Depuis 1993, il se consacre à l'étude, à la fabrication et à la vente de systèmes électroniques de localisation (détecteurs de métaux) de même que d'appareils de mesure de toutes sortes pour l'industrie, l'artisanat et les amateurs.

Au cours des années, en plus de mes nombreuses études et fabrications, j'ai analysé la technique et les performances d'appareils et de circuits soumis par des chercheurs de trésors. Ces détecteurs et les résultats de ces recherches sont repris dans ce livre, de façon à faire connaître des appareils et des circuits connus jusqu'ici seulement d'un petit cercle d'amateurs.

## La Quête

Tout homme cache en lui la recherche de l'une ou l'autre des choses de la vie. L'un recherche des biens matériels (argent, puissance, maison, profession, réussite), l'autre des valeurs morales (humanité, chaleur, harmonie, amitié).

« Qui cherche trouve ».

## Le livre

Aux États-Unis d'Amérique, la chasse au trésor est très populaire. Ce passe-temps trouve maintenant de plus en plus d'adeptes en Europe. Inévitablement, les développements foudroyants de l'électronique ont apporté de grandes innovations dans le domaine des détecteurs de métaux, assez pour que nous y consacrions un livre entier.

Nous étudierons quatre détecteurs, différents et efficaces, en trois temps : bases théoriques (chapitre 1), conditions pratiques (chapitre 2), construction et mise en service (chapitre 3). Ces détecteurs, expérimentés en pratique dans la foulée, satisferont sans aucun doute toutes les exigences du lecteur. Les descriptions des petits montages économiques *Buzzer* et *Nugget* seront considérées comme des entrées en matière. Ils nous permettront de nous familiariser avec les bases théoriques et de les confirmer.

Les publications connues ne s'attachent trop souvent qu'à des circuits de détecteurs aux performances modestes et sensibles aux parasites ; ce recueil, au contraire, s'adresse à tous ceux qui souhaitent construire eux-mêmes, à moindres frais, des détecteurs efficaces ; leurs performances les classent parmi les appareils industriels et convainquent aussi les professionnels les plus exigeants.

Notre objectif : de bons détecteurs à la portée de tous !

Des kits sont disponibles, avec les composants et tout ce qui est nécessaire à la réussite des montages décrits ; l'adresse se trouve dans l'appendice A.10.

# 1 Bases théoriques

Tous les détecteurs décrits dans ce livre ont en commun de réagir à la présence de métal. Qu'il s'agisse d'un métal ferreux, non ferreux ou même d'un oxyde, c'est-à-dire d'une combinaison de métal et d'oxygène, n'est qu'une question accessoire qui dépend du mode de fonctionnement spécifique du détecteur. Les détecteurs dits magnétomètres constituent une exception. Ils captent et affichent les déviations de champ (différence entre deux inducteurs) imposées par des objets métalliques (ferrites) au champ magnétique terrestre, réputé homogène. C'est le cas du système TM 5-6665-239-13 décrit plus loin, lequel est capable de détecter des objets amagnétiques comme par exemple des mines entièrement en matière plastique (sans même un détonateur métallique). Les champs électromagnétiques jouent un rôle essentiel dans la mise en œuvre des différents détecteurs et méritent une attention particulière. Nous les connaissons en physique sous la forme de leurs composantes magnétique et électrique ; la composante magnétique représente une constante propre à chaque position géographique. De même le sol doit être pris en compte dans nos réflexions pour sa conductivité spécifique très variable. De notre point de vue, la position, la forme, la masse, la profondeur et les propriétés conductrices très spécifiques sont aussi très importantes et ne doivent donc pas être négligées.

## Descriptions des systèmes

Nous établirons une distinction de principe entre systèmes actifs et passifs. Les systèmes actifs produisent pendant leur phase d'émission des champs magnétiques alternatifs qui induisent des courants de Foucault dans les métaux. Les systèmes passifs, comme les magnétomètres, captent et évaluent les déformations de champ magnétique.

Dans les systèmes actifs, il est nécessaire de produire alternativement des niveaux haut et bas, de façon à porter les courants de Foucault dans la plage de saturation et obtenir une localisation précise. Le champ primaire émis provoque

la naissance d'un champ magnétique secondaire caractéristique de l'objet et du matériau ; c'est ce champ secondaire, capté pendant la phase de réception, qui signale la présence d'un objet métallique et permet de le localiser.

Cette description sommaire des systèmes nous amène à envisager plus en détail quatre constituants principaux de la technique des détecteurs :

a) les champs magnétiques et électriques et leurs effets,

b) les métaux et leurs propriétés,

c) les principes ou modes de fonctionnement des détecteurs et

d) les bobines comme composants passifs et actifs.

## 1.1 Que sont les champs ?

La définition scientifique des champs est très complexe et normalement trop difficile à comprendre pour des non-scientifiques. Comme l'être humain ne dispose pas d'un sens qui lui permette de saisir, enregistrer ou ressentir les champs, ces réalités physiques restent à l'arrière-plan. Nous n'avons pas l'intention d'envisager ces champs d'une façon trop théorique, mais de construire une application pratique compréhensible, adaptée et utilisable.

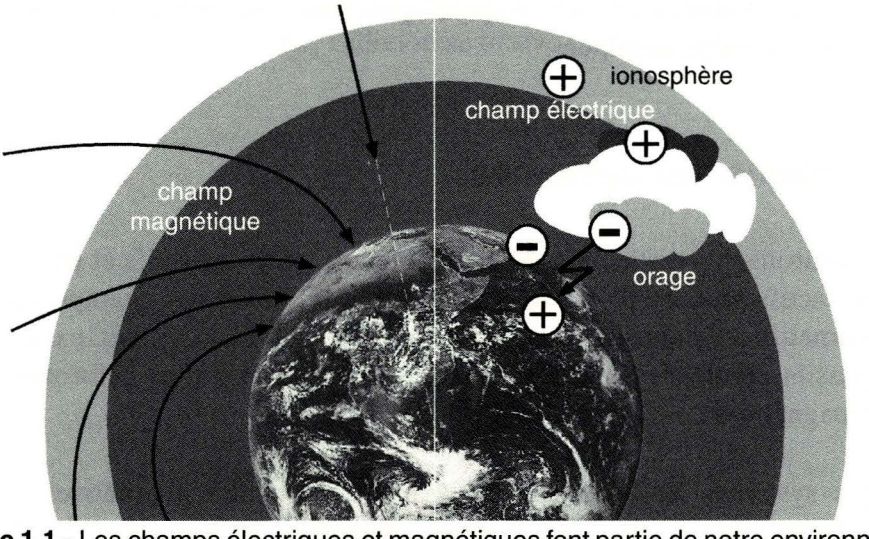



**Figure 1.1 -** Les champs électriques et magnétiques font partie de notre environnement naturel.

Les champs sont (pour simplifier) des états et des effets dans le vide. Comme exemples pratiques de tels champs, citons les écrans d'ordinateur ou de téléviseur qui renferment une charge électrique et de ce fait attirent les particules de poussière. Nous avons tous retenu des cours de physique les expériences avec l'aiguille aimantée de la boussole : fixée à un bouchon dans l'eau, elle s'oriente suivant un axe nord-sud.

Les connaissances fondamentales ont été définies et constituées en une théorie dès le dix-neuvième siècle par James Clerk Maxwell. Les équations dites de Maxwell donnent à la physique la base de la description des champs électromagnétiques. Elles ont été démontrées par le chercheur Heinrich Hertz en 1886 ; elles reposent sur le fait qu'une force s'exerce entre les charges électriques, et qu'elle exerce sur les charges et porteurs de charges voisins une influence opposée. Ces équations nous permettent d'évaluer la direction et l'intensité des champs.

Les maxima légaux et les mesures de protection contre les champs ont été fixés par la commission internationale de protection contre les rayons non ionisants (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, ICNIRP).

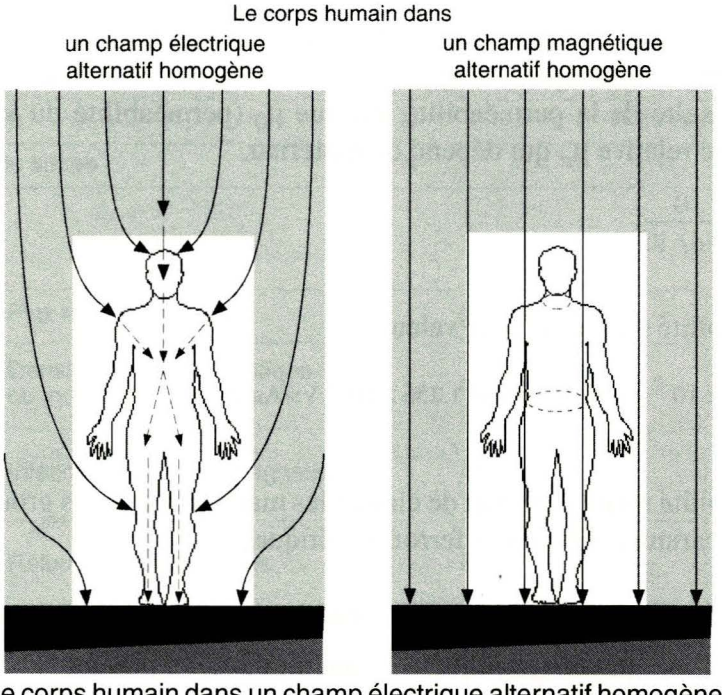



**Figure 1.2 -** Le corps humain dans un champ électrique alternatif homogène (à gauche) et dans un champ magnétique alternatif homogène (à droite).

### 1.1.1 Description d'un champ magnétique

Sous l'effet de la circulation d'un courant électrique, un champ magnétique s'élabore autour du conducteur. On matérialise ce champ par des lignes de champ. La densité des lignes s'appelle induction (B). L'induction magnétique se définit comme le flux magnétique ($\phi$) par unité de surface.

$$B = \frac{\phi}{A}$$

Si on introduit un noyau de fer dans une bobine, on peut constater que le champ magnétique s'en trouve renforcé. Le fer exerce donc, par ses propriétés magnétiques, une influence sur le champ magnétique. Il règne dans une bobine une intensité de champ magnétique (H) qui augmente si on augmente le courant qui parcourt la bobine, si on augmente le nombre de spires et si on diminue la longueur de la spire moyenne. On appelle courant magnétisant, $\Theta$, le produit de l'intensité par le nombre de spires.

$$H = \frac{\Theta}{l} \quad \text{avec } \Theta = I \times N$$

Il existe une relation de proportionnalité entre l'induction magnétique et l'intensité du champ magnétique. On appelle perméabilité, $\mu$, ce facteur de proportionnalité. Il résulte de la perméabilité absolue $\mu_0$ (perméabilité du vide) et de la perméabilité relative $\mu_r$, qui dépend du matériau.

$$H = \frac{B}{\mu_0 \times \mu_r}$$

La perméabilité du vide a pour valeur :

$4 \times \pi \times 10^{-7}$ Vs/Am (environ $1{,}256 \times 10^{-6}$ Vs/Am)

La perméabilité relative permet de classer les matériaux en trois groupes : diamagnétiques, paramagnétiques et ferromagnétiques.

| | | |
|---|---|---|
| $\mu_r < 1$ | diamagnétique | cuivre, résine synthétique, verre |
| $\mu_r \approx 1$ | paramagnétique | air, aluminium, platine |
| $\mu_r > 1$ | ferromagnétique | fer, nickel, cobalt |

Voici un résumé des symboles utilisés dans les formules, des unités de mesure correspondantes et des formules du champ magnétique :

| Grandeur | Symbole | Unité de mesure |
|---|---|---|
| Flux magnétique | $\phi$ (phi) | Vs (weber) |
| Courant magnétisant | $\Theta$ (theta) | A (ampère) |
| Réluctance magnétique | $R_m$ | 1/H (1/henry) |
| Perméance magnétique | $\Lambda$ (lambda) | H (henry) |

Grandeurs qui dépendent des propriétés et des dimensions des matériaux :

| Grandeur | Symbole | Unité de mesure |
|---|---|---|
| Densité de flux magnétique | B | $Vs/m^2$ (tesla) |
| Intensité de champ magnétique | H | A/m |
| Section de champ magnétique | A | $m^2$ |
| Longueur de champ magnétique | l | m |
| Constante de champ magnétique | $\mu_r$ | H/m |

Caractéristiques des bobines :

| Grandeur | Symbole | Unité de mesure |
|---|---|---|
| Inductance | L | H (henry) |
| Nombre de spires | N | - |

Formules :

| | |
|---|---|
| Flux magnétique ($\phi$) | $\phi = B \times A$ |
| Densité de flux magnétique ou induction magnétique | $B = \frac{\phi}{A}$ |
| Intensité de champ magnétique | $H = \frac{B}{\mu_0 \times \mu_r}$ |
| Réluctance magnétique | $R_m = \frac{1}{\mu_0 \times \mu_r \times A}$ |
| Perméance magnétique | $\Lambda = \frac{1}{R_m}$ |

| | |
|---|---|
| Courant magnétisant | $\Theta = I \times N$ |
| Inductance | $L = N^2 \times \Lambda$ |
| Section de champ magnétique | $A = \frac{\Theta}{B}$ |
| Des formules ci-dessus on tire la loi d'Ohm des circuits magnétiques | $\phi = \frac{\Theta}{R_m}$ |

### 1.1.2 Métaux soumis aux champs

On distingue en principe cinq sortes de comportement magnétique :

1. Le comportement diamagnétique est celui de tous les matériaux qui n'ont aucun moment magnétique à l'état naturel. Ils sont toujours repoussés par un aimant ; c'est le cas par exemple d'un métal comme le bismuth.
2. Le comportement paramagnétique est celui des matériaux dont la structure atomique possède un moment magnétique. Du fait de l'agitation thermique des atomes, les aimants élémentaires ont une orientation aléatoire. Dans un champ magnétique, une partie au moins des aimants élémentaires s'oriente parallèlement à la direction nord-sud du champ. C'est le cas, par exemple, de l'aluminium.
3. Quatre corps seulement sont connus pour leur comportement ferromagnétique :
   a) le fer
   b) le cobalt
   c) le nickel
   d) le gadolinium

   Dans ces matériaux, les aimants élémentaires ont déjà tendance, hors de toute application d'un champ, à s'orienter parallèlement au champ magnétique terrestre. Il se forme des structures encore désordonnées dites domaines de Weiss, c'est-à-dire que ces corps sont encore amagnétiques. Par contre, dans un champ magnétique, les zones s'orientent dans la direction imposée par le champ extérieur et le matériau lui-même devient un aimant.

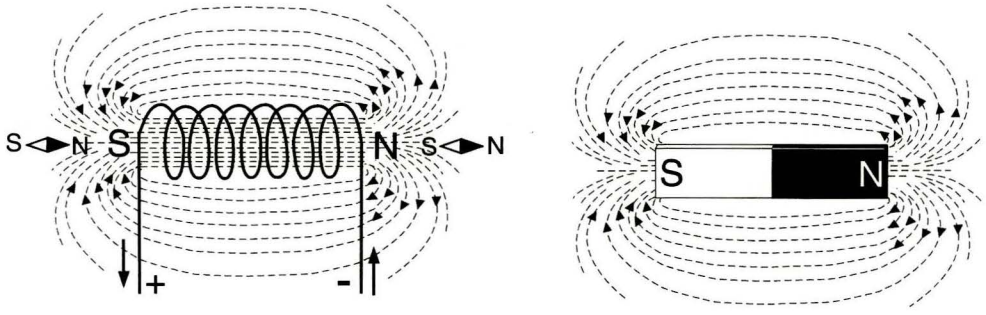



**Figure 1.3 -** Comparaison entre une bobine (à gauche) et un barreau aimanté (à droite).

En physique, on tire profit de ces faits pour caractériser très précisément les matériaux par leur constante de temps, en mesurant le temps entre le basculement et l'orientation des domaines de Weiss. Cette technique est celle de la résonance magnétique du noyau.

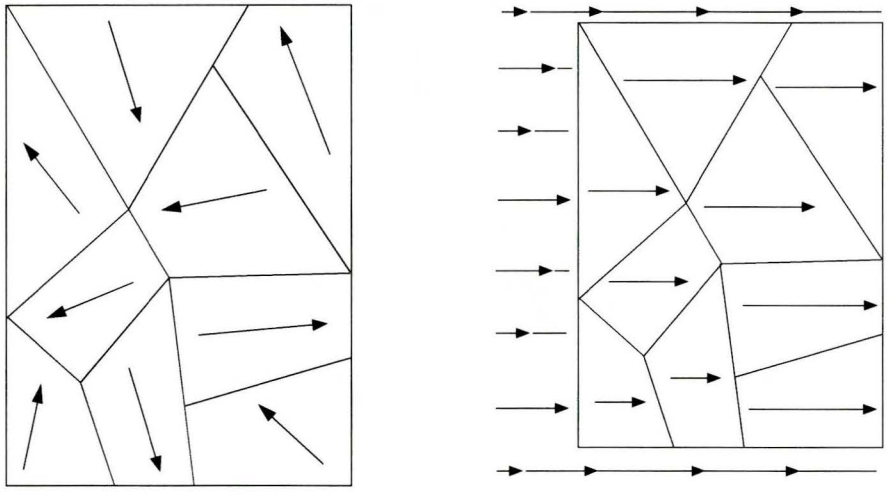


**Figure 1.4 -** Les dipôles magnétiques des zones de Weiss sont désordonnées en l'absence de champ magnétique extérieur (à gauche). Dans un champ magnétique, elles s'orientent suivant les lignes de champ.

Une fois le champ magnétique extérieur disparu, de nombreux dipôles restent orientés. On appelle rémanence magnétique cette propriété de mémoriser un certain temps une fraction du champ magnétique imposé (aimantation rémanente).

4. Matériaux antiferromagnétiques, dont les atomes s'orientent parallèlement en sens opposé.
5. On trouve les ferrites entre ferro et antiferromagnétiques, avec une orientation de la structure atomique en partie ferromagnétique et en partie antiferromagnétique.

Voici une représentation claire des champs électrique et magnétique ; la densité des lignes de champ est une mesure de la force résultante.

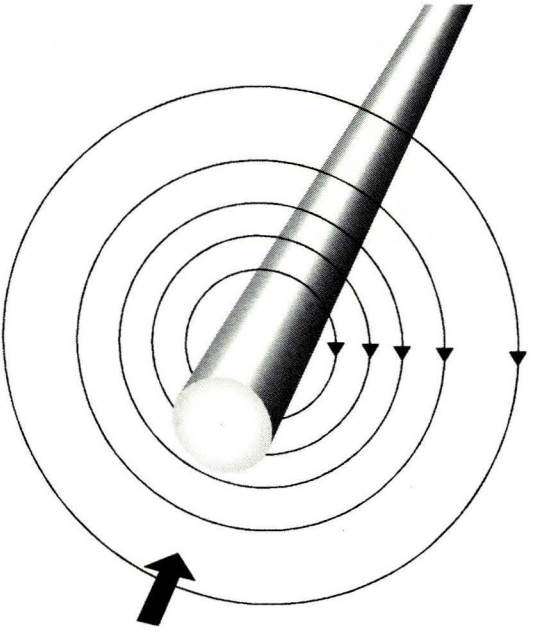


**Figure 1.5 -** Les lignes de champ magnétique sont disposées régulièrement autour d'un conducteur parcouru par un courant.

### 1.1.3 Champs naturels

Pour comprendre d'un point de vue scientifique comment s'élabore un champ magnétique homogène, il faut se représenter la terre comme une dynamo gigantesque. On suppose que du fait de la différence de vitesse périphérique entre les couches extérieures de la terre et l'intérieur liquide, il s'établit des courants électriques qui produisent le champ magnétique terrestre. L'axe de la rotation de la terre est indiqué par la direction des pôles.

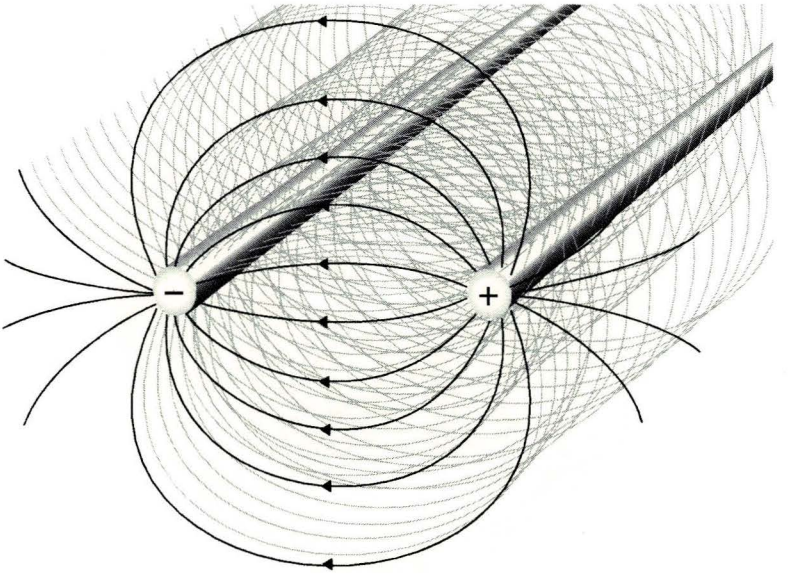



**Figure 1.6 -** Lignes de champ électrique de deux conducteurs soumis à une charge.

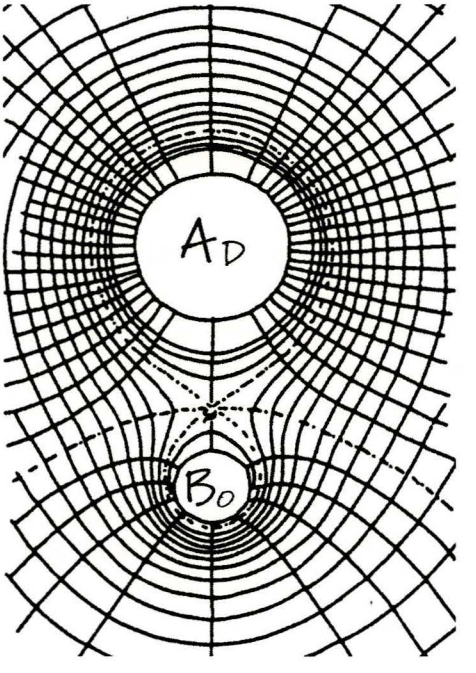



**Figure 1.7 -** Représentation des lignes de force d'un champ magnétique selon James Clerk Maxwell.

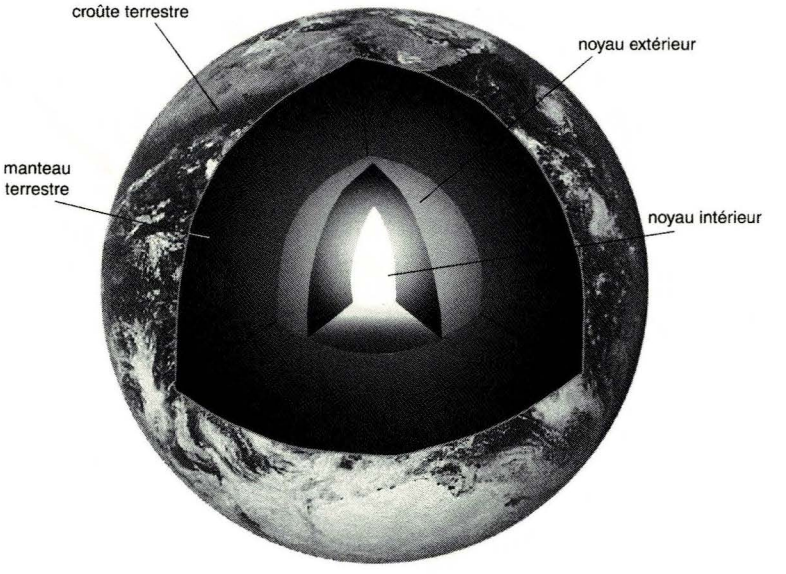



**Figure 1.8 -** La mince écorce terrestre repose sur le manteau de la terre, solide pour l'essentiel, en-dessous duquel se cache le noyau, en fusion à l'extérieur et solide à l'intérieur.

Il est très difficile, mais pas complètement exclu, de vérifier la validité de l'hypothèse scientifique selon laquelle le glissement lent du manteau de notre planète (par rapport au noyau) conduira dans deux à trois cent mille ans à l'inversion des pôles de l'aimant terrestre.

Le champ magnétique terrestre révélé par la boussole et le champ électrique qu'on observe en particulier par temps d'orage sont des exemples de champs naturels. Le champ magnétique terrestre est universellement présent, mais avec des différences locales d'intensité et d'orientation. La valeur moyenne de densité du champ en France est de quelque μT (microtesla) ; elle monte jusqu'à 85 μT dans les régions polaires.

Il peut tout de même arriver, dans des cas particuliers, que la distribution du champ magnétique soit modifiée ou partiellement supprimée. Cela se produit surtout quand des zones de forte surintensité déforment complètement la répartition. Ces phénomènes sont liés à la présence des grands gisements de minerais, d'ardoise et de roches volcaniques basiques.

Les avions et les appareils de mesure modernes permettent aux géologues de faire des relèvements très précis, par exemple pour la présence de minerais. Il y a seulement quelques années, c'était encore une pure utopie (ou escroquerie N.d.T.).

### 1.1.4 Champs artificiels

Les progrès rapides des années soixante-dix ont rendu l'utilisation de l'énergie électrique notablement plus efficace et plus fréquente. Les conséquences indésirables en sont que les champs artificiels produits par les tensions et courants alternatifs ont des effets sur l'environnement et le corps humain (l'homme lui-même est un électrolyte et de ce fait un assez bon conducteur, à cause de la composition du sang). La fréquence des champs alternatifs (c'est-à-dire le nombre de changements de sens et d'intensité du champ à chaque seconde) est de 50 Hz en Europe, il s'agit d'une valeur faible. La densité des flux magnétiques et électriques à basse fréquence est représentée par la figure 1.9.

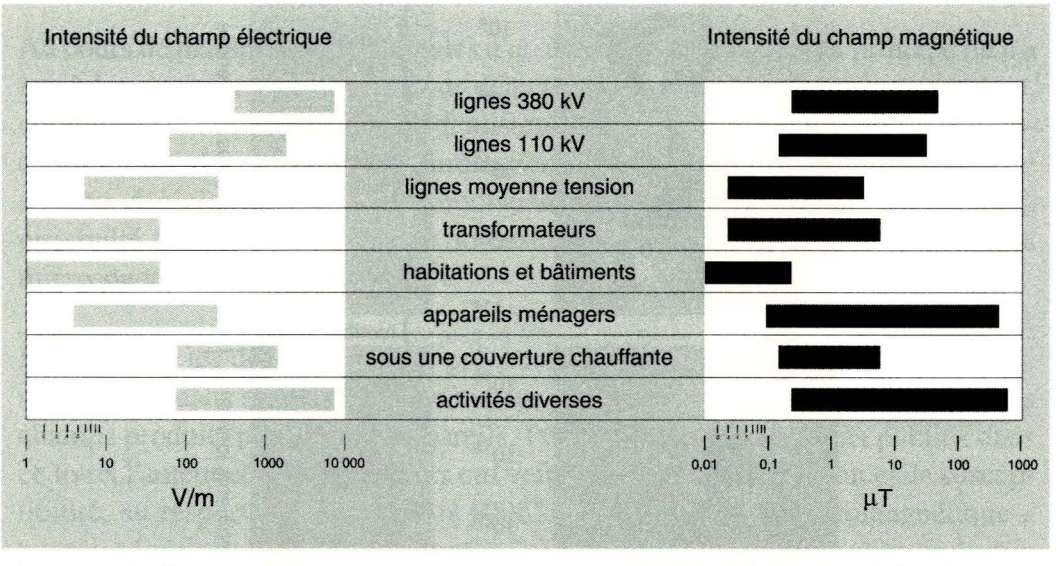



**Figure 1.9 -** L'intensité des champs magnétiques et électriques dépend de la situation et elle est donc très variable. La représentation est logarithmique : chaque division de l'axe horizontal correspond à une multiplication par dix de la mesure.

La cause du champ électrique est la tension ; pour ce qui concerne le champ à 50 Hz, il n'y a aucune relation avec le courant. La cause du champ magnétique est la circulation du courant ; il n'y a aucune relation entre le champ magnétique et la tension.

Les champs magnétiques à basse fréquence ne sont pas les seuls à nous affecter quotidiennement, il existe aussi une série de champs à haute fréquence, par exemple ceux de la radiodiffusion, de la télévision, des transmissions hertziennes en général.

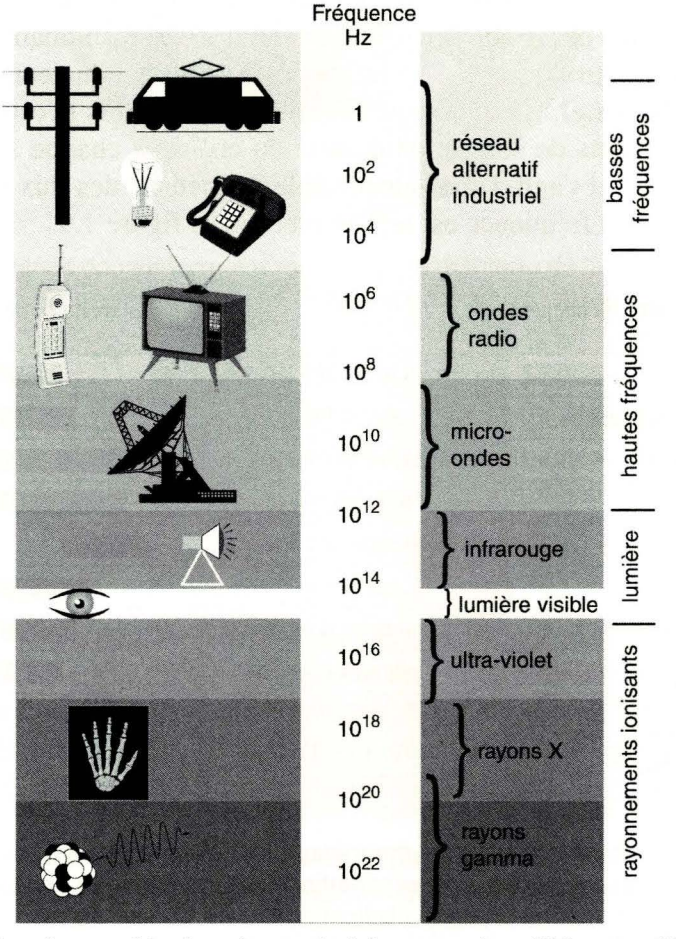



**Figure 1.10 -** Vue d'ensemble des plages de fréquence des différents utilisateurs et de leurs manifestations.

## Effets des champs électriques sur le corps humain

Les recherches médicales et les expositions brèves aux champs rencontrés dans la vie quotidienne n'ont pas permis à ce jour d'établir des effets néfastes sur la santé, dans les domaines biochimique ou cellulaire, ni d'autres modifications importantes de l'organisme humain. Cela ne veut pas dire pour autant que les champs électromagnétiques n'ont effectivement aucune influence néfaste sur la santé. Cela signifie seulement qu'on n'a pas encore de preuve décisive d'effets favorables ou néfastes.

Naturellement cette promenade *dans les champs* avait un but précis : pour traiter des détecteurs, nous aurons continuellement affaire à des champs, qu'ils soient magnétiques ou électriques. Le but de ces considérations était, entre autres, de décrire simplement les causes et les effets des champs et de mettre en évidence, en particulier, l'innocuité de ceux qui sont mis en œuvre dans la technique des détecteurs de métaux.

Au cours de manipulations normales d'un détecteur de métaux (en principe on n'a pas à les approcher de sa tête pour détecter la présence de plombages, *bridges*, couronnes ou autres artefacts de dentisterie), il ne devrait pas y avoir de complications avec des stimulateurs cardiaques. Le risque de voir une émission de signaux dérégler le rythme du stimulateur est des dizaines de fois plus grand à proximité d'appareils électriques domestiques (sèche-cheveux, perceuse, four à micro-ondes, etc.).

En principe, les descriptions qui précèdent considéraient les champs tels qu'ils sont utilisés dans les détecteurs de métaux, même si on a envisagé brièvement les champs produits par d'autres appareils. Pour ce qui est des circuits publiés dans ce livre, l'auteur et les concepteurs ont veillé, en matière d'émission et de susceptibilité, au respect des normes EN 50081-1 (compatibilité électromagnétique – norme générique : émission – partie 1 : résidentiel, commercial et industrie légère – 1992) et EN 50082-1 (compatibilité électromagnétique – norme générique : immunité – partie 1 : résidentiel, commercial et industrie légère – 1988).

Dans l'état actuel de la science, on ne connaît aucun effet néfaste pour la santé lié à l'utilisation des détecteurs et des bobines décrits. Voilà un point très important pour nos détecteurs et naturellement pour vous aussi.

## 1.2 Que sont les métaux ?

Après la brève introduction sur les champs électriques et magnétiques, vient naturellement la question des matières que nous voulons détecter : les métaux.

On distingue en principe deux sortes de métaux : les métaux non ferreux et les métaux ferreux. Il existe aussi une distinction entre métaux précieux et non précieux. Un métal est dit précieux s'il produit des ions positifs, c'est-à-dire s'il abandonne des électrons. La plupart des éléments sont des métaux. Leur propriété est de former une sorte de nuage de charge avec les électrons périphériques. Ainsi les électrons peuvent passer facilement d'un atome à un autre ; d'où la conduction propre aux métaux. Dans le tableau périodique des éléments, les métaux se situent sous la diagonale qui va du haut à gauche au bas à droite.

En plus des métaux précieux purs, on utilise aujourd'hui principalement des alliages, c'est-à-dire un mélange plus ou moins homogène de plusieurs métaux. Le mercure est un métal unique, parce qu'il est liquide à la température normale, contrairement à tous les autres qui ont une consistance solide. On connaît comme application typique du mercure le contact Reed, que nous retrouverons dans la description de notre détecteur immergé. La nature du métal est définie essentiellement par ses caractéristiques matérielles, dureté, résistance, coefficient de dilatation, point de fusion, poids spécifique, constitution chimique. D'autres propriétés présentent un grand intérêt lors de l'étude des matériaux en général et des métaux en particulier. Pour la détection des métaux, ces propriétés sont la conductivité électrique, la résistance électrique et – dans certaines limites – la conductivité thermique.

### 1.2.1 Conductivité

Avec l'étude de la conductivité des métaux, on touche aux principes élémentaires du fonctionnement des détecteurs de métaux. Les propriétés physiques significatives des différents métaux que nous voulons détecter déterminent directement, par exemple, la profondeur maximale de détection, la résolution en taille des objets et l'indication par le détecteur de la nature ferreuse ou non ferreuse des métaux (discrimination). Tous les détecteurs décrits ici fonctionnent comme des détecteurs de *tous* métaux, c'est-à-dire que leur principe ne leur permet pas de distinguer entre les métaux. On montrera toutefois les moyens fondamentaux qui permettent de réaliser la discrimination (en particulier les systèmes à induction pulsée).

**Tableau 1.1 :** propriétés physiques des principaux métaux.

| Métal | Densité<br>ρ<br>m/V | Résistance spécifique<br>ρ<br>Ωmm²/m | Conductibilité spécifique<br>κ<br>m/Ω × mm² | Coefficient de température<br>α<br>$10^{-3}$/°C | Conductiblté thermique<br>γ<br>W/m × °C |
|---|---|---|---|---|---|
| aluminium | 2,70 | 0,0265 | 37,8 | 4,7 | 231,0 |
| baryum | 3,59 | 0,36 | 31,2 | 9,0 | 159,0 |
| bismuth | 9,803 | 1,11 | 0,91 | 4,5 | 8,3 |
| plomb | 11,34 | 0,21 | 4,77 | 4,2 | 35,3 |
| cadmium | 8,65 | 0,073 | 13,7 | 4,2 | 96,2 |
| chrome | 7,15 | 0,15 | 6,76 | - | - |
| cobald | 8,89 | 0,056 | 17,8 | 5,9 | 68,6 |
| fer | 7,87 | 0,1 | 10,0 | 4,6 | 72,3 |
| or | 19,28 | 0,021 | 47,6 | 4,0 | 310,0 |
| cuivre | 8,93 | 0,0173 | 58,0 | 4,3 | 395,0 |
| manganèse | 7,47 | 0,39 | 2,56 | 5,3 | 50,0 |
| nickel | 8,9 | 0,069 | 14,5 | 6,7 | 92,2 |
| platine | 21,45 | 0,098 | 10,2 | 3,9 | 71,2 |
| argent | 10,5 | 0,0149 | 67,1 | 4,1 | 410,0 |
| titane | 4,508 | 0,42 | 2,38 | 5,4 | - |
| zinc | 7,134 | 0,057 | 17,6 | 4,2 | 113,0 |
| étain | 7,285 | 0,115 | 8,7 | 4,6 | 66,0 |

Pour ce qui est de l'intensité totale des courants de Foucault qui s'établissent, la conductivité des différents métaux joue un rôle décisif, en plus de la profondeur et de la position : plus la conductivité est grande, plus intenses sont les courants de Foucault et plus grande la profondeur de détection.

### 1.2.2 Méthodes de mesure pour l'analyse des objets (discrimination des métaux)

L'auteur a mis au point dès 1995 la capacité de discrimination du détecteur PI DBP 2010 et a demandé un brevet (*PI = Pulse Induction*).

En fonction du comportement recherché, on choisit entre différentes (douze au maximum) courbes de magnétisation pour le type de métal à rechercher ; elles sont stockées en EEPROM et lues par le microcontrôleur. Quelques-unes de ces courbes sont représentées par les figures 1.12a à 1.12i, de façon à vous donner une première impression. Elles montrent les modes d'amortissement très différents qui caractérisent diverses sortes de métaux. La mise en mémoire de la forme des courbes est effectuée pendant la phase d'apprentissage ; c'est-à-dire que l'utilisateur a la possibilité d'enseigner au microcontrôleur les courbes d'amortissement propres aux métaux. Dès que le détecteur délivre un signal, l'automate donne sur l'écran à cristaux liquides les deux plus grandes probabilités, ce qui correspond à la valeur réciproque de la courbe différentielle en pourcentage ; par exemple :

a) Or (Au) 73%

b) Fer (Fe) 27%

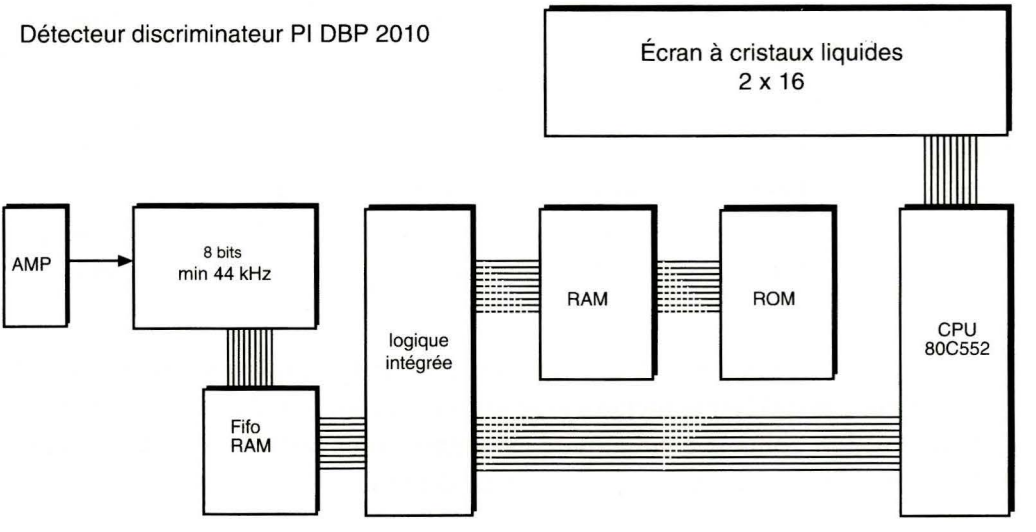



**Figure 1.11 -** Synoptique d'un appareil discriminateur de métaux organisé autour d'un microcontrôleur.

Comme le montre le schéma synoptique, l'unité centrale dispose de plusieurs mémoires, RAM pour saisir les données, ROM pour stocker le code du programme et EEPROM pour retenir les données après la coupure de tension (tampon de données). La mémoire FIFO (à décalage : premier entré, premier sorti, *first in first out*) est nécessaire pour synchroniser avec le microcontrôleur le fort

débit de données du convertisseur analogique/numérique à huit bits. Le pilotage des signaux est effectué par la logique auxiliaire contenue dans un composant programmable. On reconnaîtra dans les illustrations qui suivent un phénomène d'amortissement plus ou moins prononcé. Les courbes d'amortissement ont été tracées par un physicien, au moyen du circuit DBP 2010 publié dans ce livre. La fréquence d'échantillonnage était d'environ 5 Me/s (méga-échantillons par seconde), avec un oscilloscope à mémoire numérique. Les métaux étudiés étaient : argent (Ag), cuivre (Cu), acier (ST52) étiré, laiton alliage G-CuZn 15, fer (Fe), alliage d'aluminium AlMgSi 05, or 999 (Au), platine et nichrome.

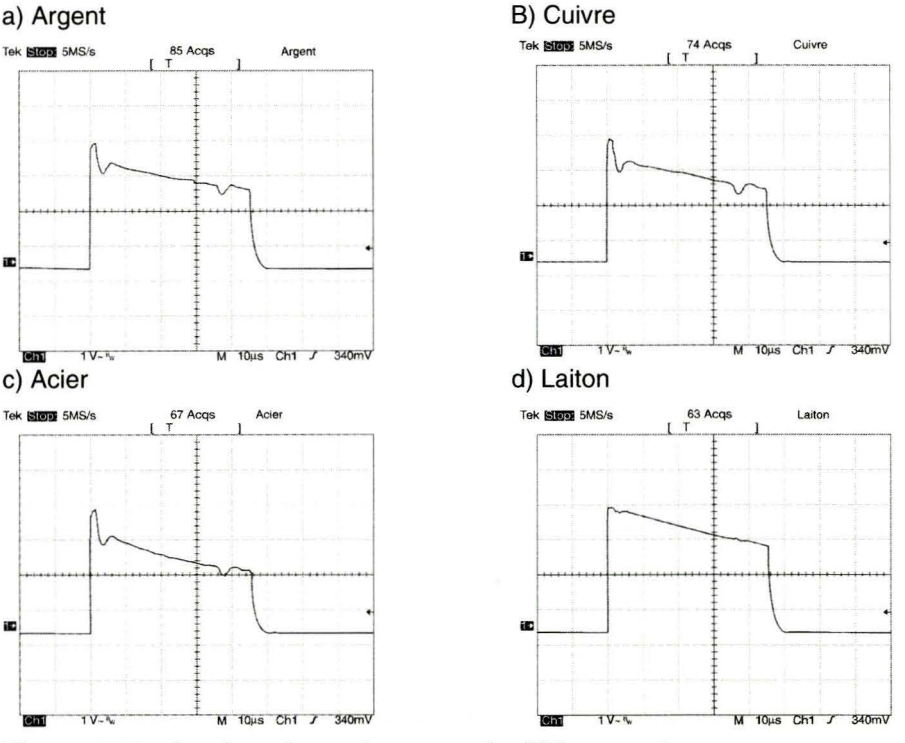
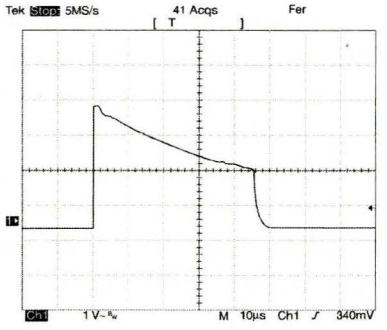
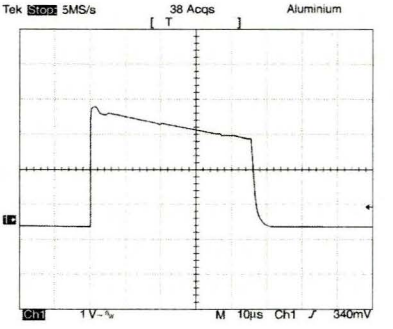



**Figure 1.12 -** Courbes d'amortissement de différents métaux.

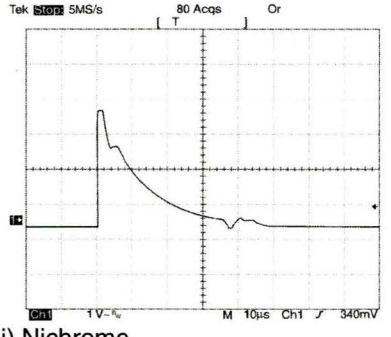
e) Fer



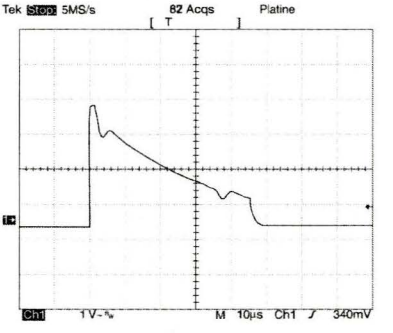

f) Aluminium




g) Or




h) Platine




i) Nichrome

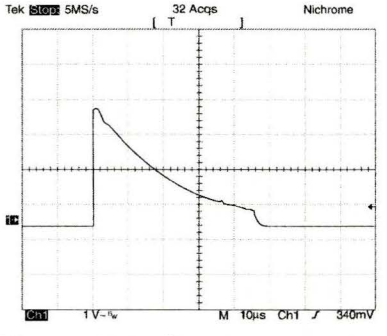
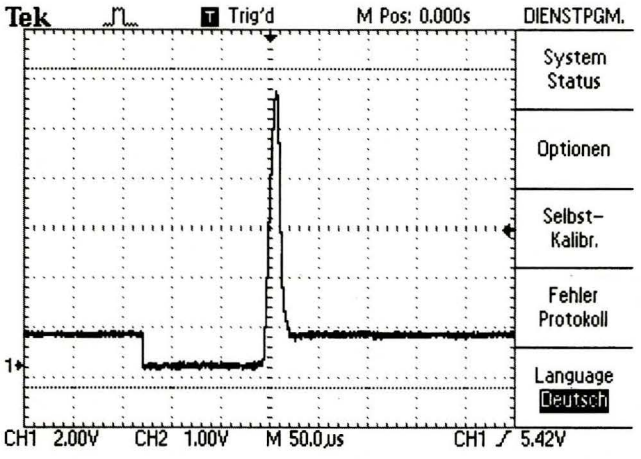



**Figure 1.12 -** Courbes d'amortissement de différents métaux.

Ces courbes nous donnent un point de départ très important pour évaluer les performances des détecteurs en général. L'analyse des courbes de chaque métal met en évidence que tous les métaux sont impossibles à localiser après un certain temps (ce temps dépend toutefois de la taille, de la profondeur d'enfouissement et de la géométrie des objets) ; c'est-à-dire que les signaux émis par le détecteur ne suscitent plus aucune résonance magnétique. Si le circuit du détecteur n'effectue pas de mesure pendant le temps d'amortissement tel qu'il est représenté, le métal n'est plus détecté et il ne se présente plus à l'affichage.



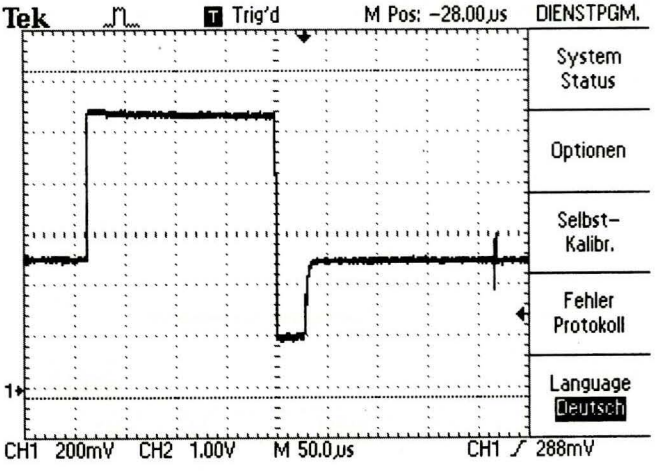

Impulsion émise : amortissement optimal avec R37 = 680 Ω
Potentiomètre de puissance à zéro
sonde 1:10 ; CH = 1 Div = 2,00 V environ 100 V crête à crête

**Figure 1.13 -** L'impulsion d'excitation du détecteur DBP 2010 (kit décrit à la page 118).

Dans le système PI, plus l'objet est petit, plus vite il « s'amortit », donc plus la mesure doit suivre de près l'impulsion initiale.

Ces considérations s'appliquent au premier chef au circuit DBP 2010, mais grâce à la rapidité de ses circuits de mesure, il est capable de signaler clairement tous les métaux – autre avantage pour l'utilisateur. Comme il peut y avoir d'autres difficultés relatives à ce sujet, nous allons donner un exemple pratique.

Imaginez une fenêtre ouverte, que nous appellerons fenêtre temporelle, à travers laquelle vous allez regarder. Maintenant se mettent à passer devant la fenêtre des gens qui flânent, d'autres qui marchent et d'autres encore qui courent ; ces gens représentent les métaux qui nous intéressent. Même en regardant seulement de temps en temps, nous n'aurons aucun mal à reconnaître les flâneurs, mais nous devrons regarder fréquemment pour capter le passage des marcheurs et des coureurs ; c'est-à-dire que la personne (ou le métal) doit être identifiée dans un temps court ou très court. Dans notre cas, il faut un cadencement précis des opérations pour y parvenir. Plus la première mesure sera rapprochée de l'impulsion primaire (émission), plus nous aurons de chances de détecter des pièces métalliques petites et « rapides ». Nous sommes arrivés aujourd'hui à des temps de mesure d'environ huit microsecondes. Quelquefois on mesure même pendant




Côté réception : pas de métal à proximité de la bobine,
broche 6 du LF 357
Première mesure après 170 µs environ, sonde 1:10

**Figure 1.14 -** Première mesure après l'impulsion d'excitation.

l'impulsion de signal. Naturellement, le temps de mesure n'est qu'un des critères de qualité du détecteur, laquelle dépend aussi des buts recherchés par la détection. Par exemple, il ne servirait à rien que la synchronisation permette d'évaluer la conductivité de l'eau de mer si l'appareil est destiné à détecter sous l'eau. Il en va de même dans le cas où un détecteur utilisé au contrôle de personnes détecte la conductivité du corps humain (électrolyte). Il est déjà évident à ce point qu'il n'est pas possible de concevoir un système capable de donner les meilleurs résultats possibles dans toutes les tâches de détection.

C'est pourquoi ce livre propose entre autres un système dit *TR* (système *TR* = système Émetteur-Récepteur (*Transmitter-Receiver*)).

L'essentiel dans les systèmes *TR* ou *VLF* (*VLF* = Très basse Fréquence (*Very Low Frequency*)) repose sur la fréquence et l'amplitude émises (amplitude et phase) ; nous y reviendrons en détail.

Pour éviter les effets perturbateurs du champ magnétique homogène de la terre sur la bobine de détection, de nombreux appareils offrent la possibilité d'éliminer les champs parasites par une deuxième mesure, dite mesure de champ (ces appa-

reils ne sont pas traités dans ce livre). Cela permet en pratique une détection sans perturbation. Sans cette possibilité, le déplacement de la bobine de détection à travers des couches différentes du champ magnétique risque de provoquer des parasites qu'on pourrait confondre avec un objet, ou au moins interpréter de façon erronée. Le détecteur DBP 2010 n'exploite pas cette technique, puisqu'il fonctionne à la fréquence de 100 Hz. Une autre moyen d'éliminer les influences néfastes de l'environnement consiste en principe à blinder la bobine. On utilise pour cela un film métallique mince enroulé à plat autour de la bobine, mais dont les extrémités ne se touchent pas. Une extrémité de cet écran est mise à la terre.

### 1.2.3 Métaux dans le sol

Des métaux différents produisent des effets différents dans le sol. Dans le cas de métaux ferreux enfouis depuis longtemps et déjà fortement corrodés, on constate dans le voisinage immédiat des objets une ionisation du milieu. Cela provoque une accentuation appréciable de la réaction au détecteur, si on la compare à celle d'un objet de mêmes masse et composition chimique, mais sans corrosion.

Le sol ionisé présente au détecteur un objet métallique plus grand qu'il n'est en réalité.

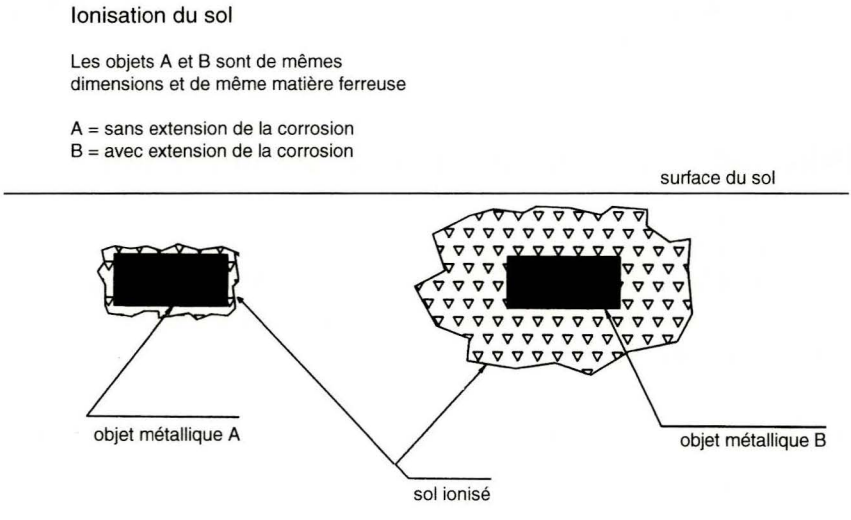



**Figure 1.15 -** Métal dans le sol, avec et sans rouille, étendue de la zone ionisée.

### 1.2.4 Propriétés des signaux des métaux dans le sol

La localisation des métaux est le premier problème, la discrimination en est un autre. Les figures 1.16 et 1.17 mettent en évidence les différents signaux en fonction de divers objets métalliques. Nous avons toujours affaire pour la détection à six inconnues.

1. Nature et conductivité du sol
2. Géométrie de l'objet (rond, anguleux, etc.)
3. Différentes sortes de métaux (ferreux, non ferreux, etc.)
4. Position dans le sol (vertical, horizontal)
5. Différence de masse des objets
6. Profondeur d'enfouissement

L'illustration de la page suivante vous permet tout de même de vous faire une idée valable de la taille et de la position de l'objet détecté ; ces déductions donneront des résultats meilleurs et plus précis avec l'expérience. Par exemple, en plaçant la bobine de détection verticalement, on obtient une meilleure résolution de la détection du fait de la répartition des champs, et de ce fait une meilleure estimation de la position des petits objets.

## 1.3 Principes de fonctionnement des détecteurs

Comme l'étude des divers détecteurs nous révélera des principes de fonctionnement tout aussi divers, nous allons commencer par une petite revue des systèmes disponibles sur le marché. La pratique nous a montré que tous ces appareils donnent de bons résultats, que ce soit en portée ou en sensibilité.

On classe les détecteurs suivant les principes de fonctionnement suivants :

1. Détecteurs sinusoïdaux
2. Détecteurs à impulsions
3. Magnétomètres
4. Autres, comme l'appareil TM 5 (voir page 45)

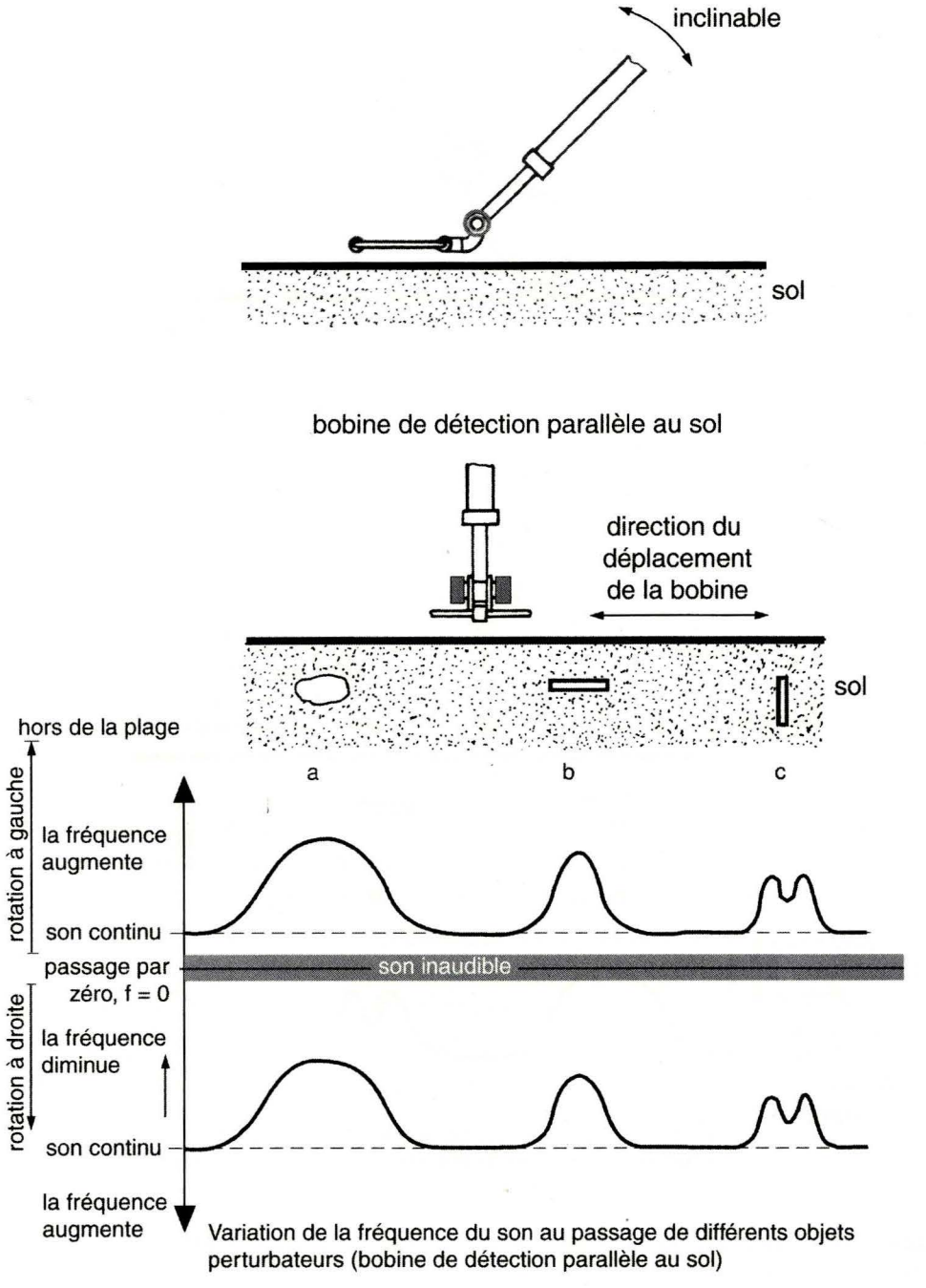



**Figure 1.16 -** Réactions du détecteur avec la bobine de détection disposée parallèlement au sol.

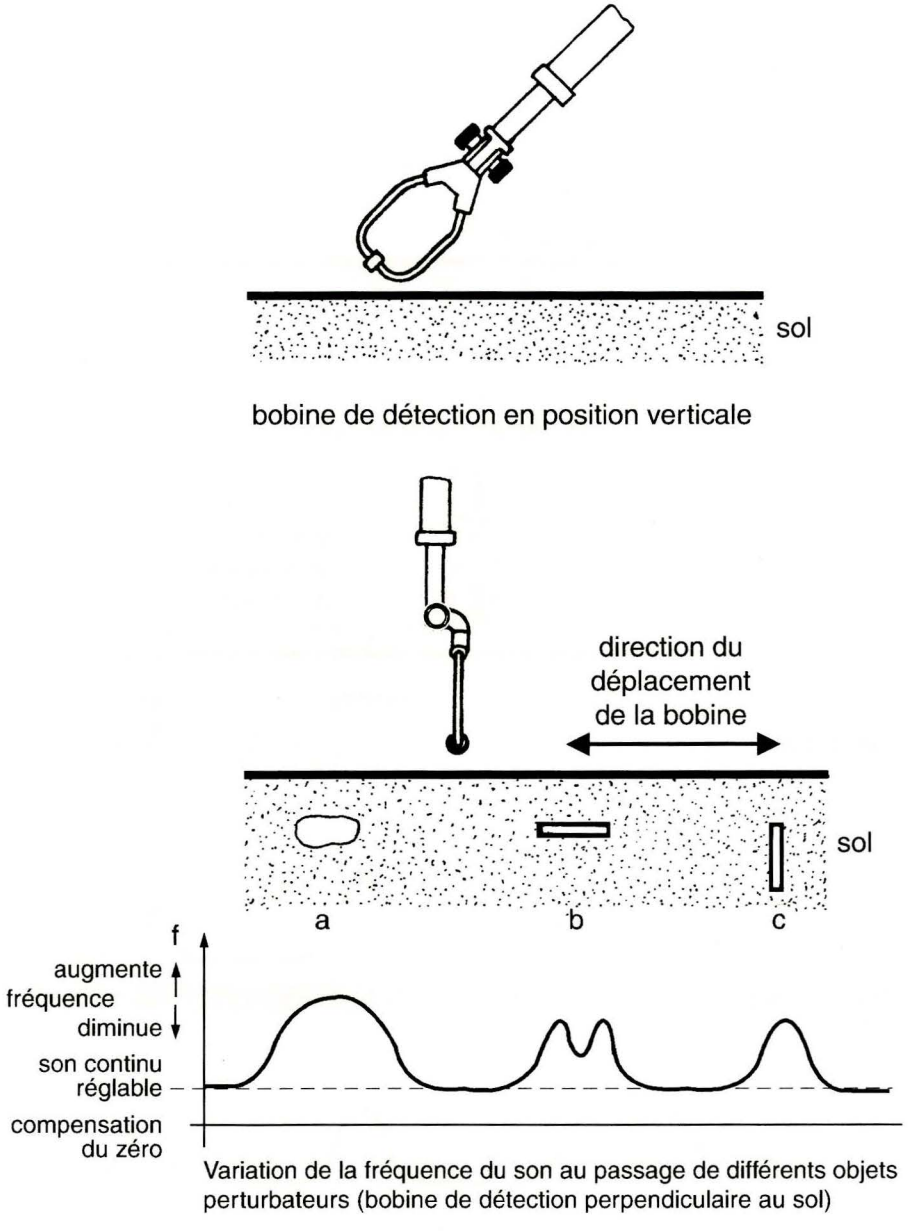



**Figure 1.17 -** Réactions du détecteur avec la bobine de détection disposée perpendiculairement au sol.

Les systèmes les plus utilisés font partie des deux premières catégories, sinusoïdaux et à impulsions. On distingue encore parmi eux :

1. VLF (*Very Low Frequency*, très basse fréquence)
2. TR (*Transmitter-Receiver*, émetteur-récepteur)
3. BFO (*Beat Frequency Oscillator*, superposition de deux fréquences)
4. Système auto-oscillant
5. Système en quadrature (l'émetteur et le récepteur sont orientés à 90° l'un par rapport à l'autre)
6. Système P-I (*Pulse-Induction*)
7. Système TM 5-665-239-13, qui permet de détecter même des objets non métalliques (par exemple des mines en matière plastique et autres objets en plastique enfouis dans le sol).
8. Les appareils qui exploitent la technique du magnétomètre méritent d'être envisagés séparément, parce qu'il s'agit de systèmes passifs. Ce sera fait dans une étude détaillée, un peu plus loin dans ce livre.

### 1.3.1 Détecteurs sinusoïdaux et leurs sous-groupes VLF, TR, BFO

Comme leur nom le laisse supposer, ces détecteurs produisent une onde sinusoïdale et l'émettent tous par une bobine qui peut prendre les formes les plus diverses (dans notre cas, VLF 770 avec une bobine à point milieu). Une deuxième bobine isolée capte en retour les signaux qui seront filtrés, amplifiés et enfin convertis en un signal audible représentatif du signal de détection. On utilise normalement des fréquences comprises entre 100 Hz et 100 kHz. L'amplitude des tensions varie entre 5 et 180 V (de crête à crête). Comme nous l'avons vu à propos de la description sommaire du système PI (et nous y reviendrons en détail), le choix de l'impulsion primaire permet de détecter plus ou moins bien les métaux plus ou moins précieux. L'observation principale quant aux détecteurs sinusoïdaux est qu'avec une fréquence et une amplitude croissantes, certains métaux sont détectés bien, moins bien, voire plus du tout, ce qui demande une certaine expérience. C'est pourquoi les appareils dits détecteurs d'or, censés détecter seulement ce métal précieux, travaillent dans la plage des hautes fréquences, jusqu'à 100 kHz ou au-delà. Cette « montée » en fréquence ne peut pas se poursuivre indéfiniment, parce que le sol lui-même impose une limite à cette technique par l'effet de peau (quand la fréquence augmente, le courant dans un conducteur

s'établit de plus en plus à la surface ; on appelle effet de peau cette localisation du courant). Ce phénomène se manifeste dans le sol de 130 kHz à 650 kHz environ. La parade consiste à augmenter l'amplitude émise.

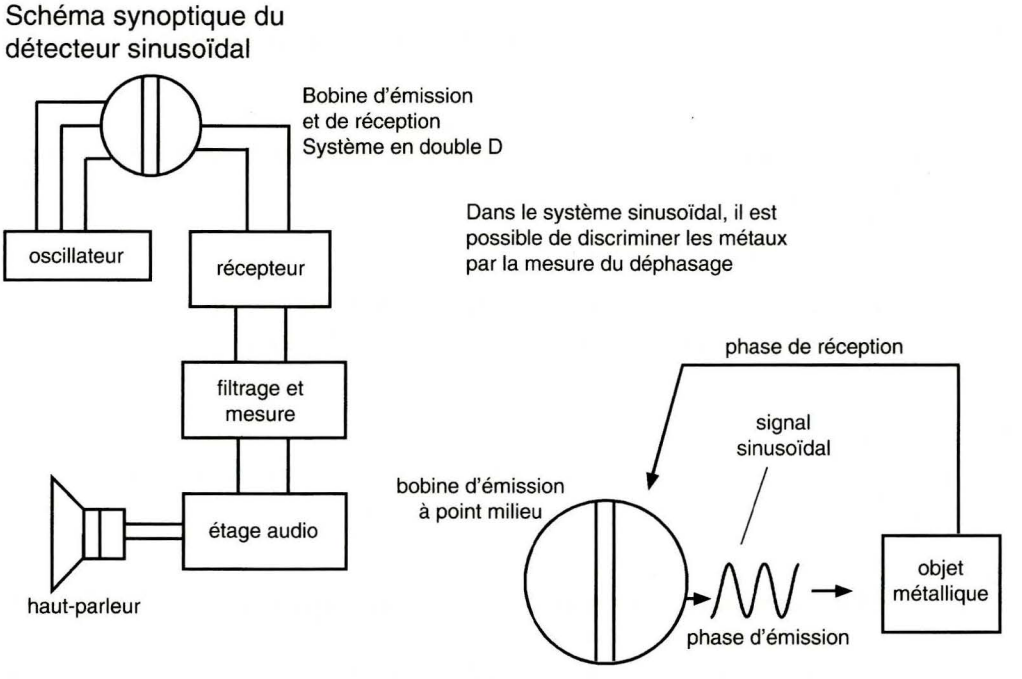



**Figure 1.18 -** Schéma synoptique d'un détecteur sinusoïdal.

Pour les fréquences supérieures à 20 kHz, il est conseillé de ne pas utiliser du fil émaillé mono-brin, mais du fil divisé (dit fil de Litz) pour les hautes fréquences. Un fil de Litz typique comporte 256 conducteurs de 0,01 $mm^2$ de section, tous isolés les uns des autres et formant ensemble un fil de 0,7 à 1,0 mm de diamètre, suivant l'épaisseur de l'isolant. Du fait que chaque brin est isolé des voisins, on obtient une multiplication de la surface dans laquelle le courant peut s'établir, ce qui contrebalance l'effet de peau.

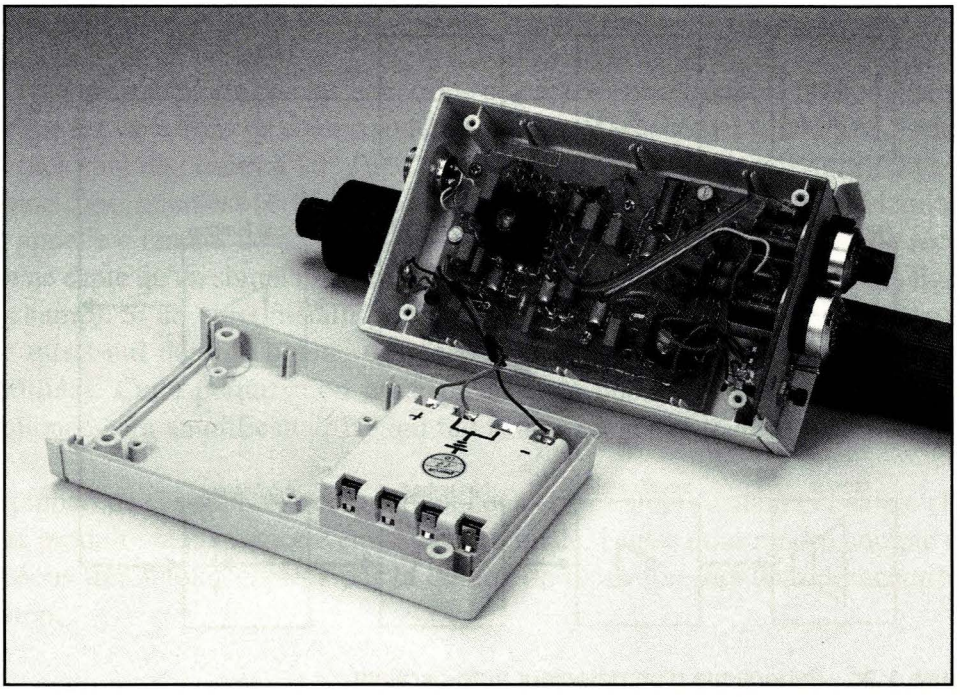


**Figure 1.19 -** Vue des entrailles du détecteur sinusoïdal VLF 770.

### 1.3.2 Principe de fonctionnement des détecteurs auto-oscillants

La bobine de détection détermine la fréquence du circuit oscillant de l'oscillateur 1. Son inductance effective varie quand du métal entre dans le champ qu'elle émet, ce qui fait varier la fréquence $f_1$ de l'oscillateur 1. L'oscillateur est suivi par un écrêteur qui, d'abord, donne au signal des front raides, avec beaucoup d'harmoniques, ensuite assure le découplage.

L'oscillateur 2 (de fréquence $f_2$) travaille à une fréquence égale à quinze fois celle du premier, $f_1$. Le circuit comporte deux diodes varicap (à capacité variable) ; la tension relativement élevée nécessaire à leur fonctionnement est fournie par un convertisseur continu-continu. Les potentiomètres de réglage de la fréquence prélèvent une fraction de cette tension pour l'appliquer aux diodes varicap. On réalise ainsi l'accord parfait de l'oscillateur 2 sur $f_2 = 15 \times f_1 - \Delta f$. Le terme $\Delta f$ est la fréquence du signal audible en permanence dans le casque. Un étage tampon évite les interférences de l'oscillateur 1.

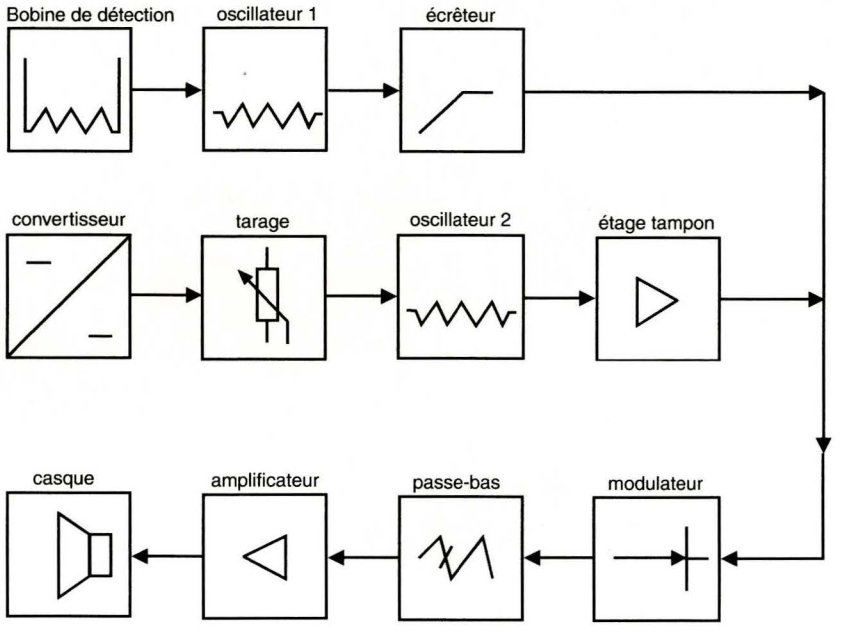



**Figure 1.20 -** Synoptique d'un détecteur auto-oscillant.

La tension de sortie de l'écrêteur et celle du tampon sont appliquées ensemble à l'entrée d'un modulateur. Parmi d'autres produits du mélange, la sortie du modulateur présente une tension à basse fréquence $15 \times f_1 - f_2 = \Delta f$, laquelle est appliquée au casque par l'intermédiaire d'un amplificateur BF. Toutes les fréquences supérieures sont rejetées par un filtre passe-bas.

Si du métal passe à portée, la fréquence $f_1$ se décale d'une quantité $\Delta f_1$. Il en résulte une nouvelle fréquence $f_2 = f_1 + \Delta f_1$. Le modulateur délivre une nouvelle fréquence différence :

$$15 \times f_1 - f_2 = 15 \times f_1 - f_2 + 15 \times \Delta f_1 = \Delta f + 15 \times \Delta f_1$$

Dans cette expression, $\Delta f$ est la nouvelle fréquence permanente. Le terme $15 \times \Delta f_1$ représente la différence de hauteur du son audible dans le casque en présence de métal. Comme la variation de fréquence est quinze fois plus grande que celle de l'oscillateur 1, la sensibilité de détection est augmentée aussi.

### 1.3.3 Méthode de la quadrature

Ce système n'exploite pas les variations de caractéristiques de la bobine, mais le fait que les variations de champ sont mesurables (désaccord du champ). Les deux bobines sont disposées à 90° l'une par rapport à l'autre (voir la figure 1.21). La bobine d'émission est verticale, alors que la bobine de réception est horizontale. On appelle « facteur de découplage » l'entraxe des bobines. La bobine de réception ne capte qu'un signal minime (elle est pratiquement hors de portée des lignes de champ). Si un objet métallique vient perturber le champ, d'un niveau électrique quasi-nul dans la bobine de réception, les lignes de champ s'en trouvent modifiées. Cette perturbation est captée par la bobine de réception pour être appliquée à un amplificateur BF qui fait suite à un générateur de son.

La plupart de ces appareils comportent deux étages amplificateurs distincts : l'un pour produire la puissance d'émission maximale, l'autre pour rendre compte des tensions très faibles captées par la bobine de réception lors d'un désaccord du champ.

L'un et l'autre fonctionnent à partir de sources de tension séparées (batteries distinctes pour l'émetteur et le récepteur), de façon à éviter les couplages indésirables par les alimentations.

Ce système présente la particularité de se prêter aussi bien aux hautes qu'aux basses fréquences. La méthode de la quadrature convient particulièrement à la détection d'objets enfouis profondément, mais aussi à celle de petites particules de métal à la surface du sol. Les fabricants d'appareils qui appliquent cette méthode n'exploitent pas encore, à notre connaissance, toutes les possibilités de cette technique. Des recherches sont en cours et il faudra en suivre les résultats de près ; tout reste à faire quant à l'amélioration des performances, d'autant plus que ce système réserve des possibilités exceptionnelles en matière de discrimination des matériaux. Mais toute médaille a son revers : ce système souffre d'un défaut de maniabilité.

### 1.3.4 *Pulse-induction*, impulsion-induction

La conception théorique et pratique de l'*induction pulsée* a été décrite et testée par un certain M. Colani (pas le *designer* bien connu). Il a déposé un brevet portant sur le résultat de ses recherches. Tous les développements dans le domaine PI reposent sur ses découvertes.

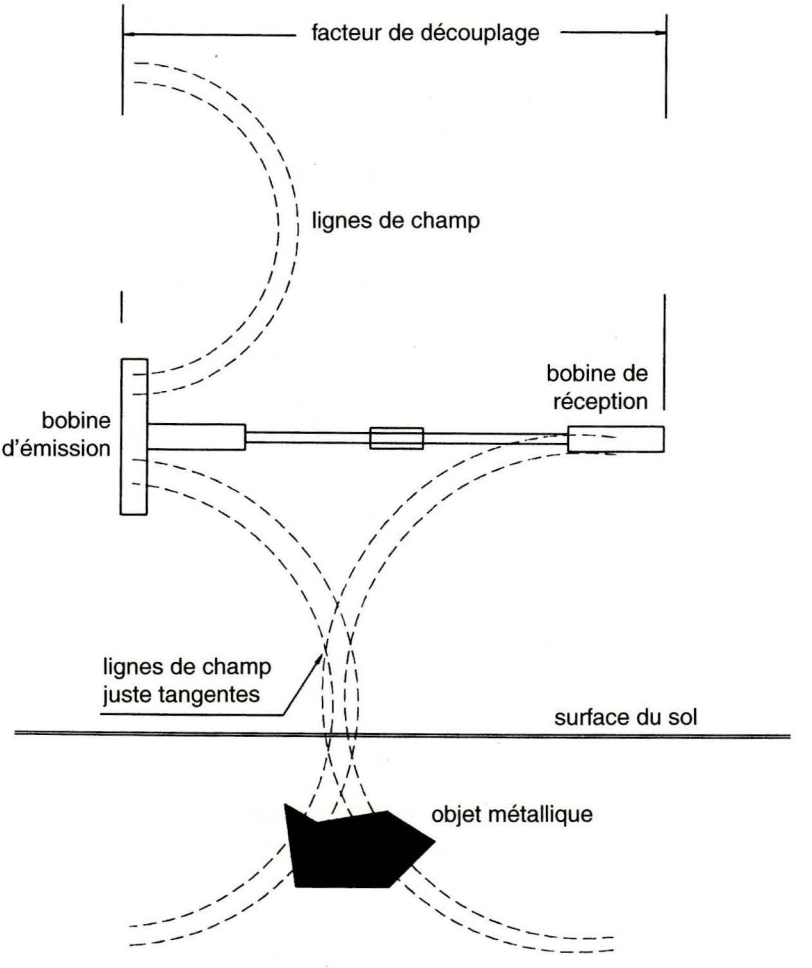



**Figure 1.21 -** Construction des champs et orientation des bobines dans un système à quadrature.

On utilise ici une autre forme de signaux adaptés à la détection et à la discrimination des métaux, avec des avantages très particuliers. Le plus appréciable de ces avantages est la portée de la détection, ou la profondeur, puisque la valeur maximale théorique est de dix mètres. Le système DBP 2010 nous permet déjà d'atteindre, avec la grande boucle en option (cadre de 1 m au carré) une profondeur de détection de 4,5 m. Ces conditions d'utilisation sont celles de la localisation en profondeur d'objets métalliques de taille moyenne ou grande. Avec des

temps de mesure plus courts, ce procédé est applicable aussi pour la recherche des très petites particules. Les domaines d'application possibles sont les suivants :

1. Chasse au trésor sur terre ou sous l'eau, pour l'amateur ou le professionnel
2. Archéologie
3. Bâtiment (par exemple recherche de canalisations ou de chemins de câbles enfouis)
4. Sécurité (contrôle de personnes et marchandises)
5. Nettoyage de champs de bataille (bombes, mines, grenades, munitions, etc.)

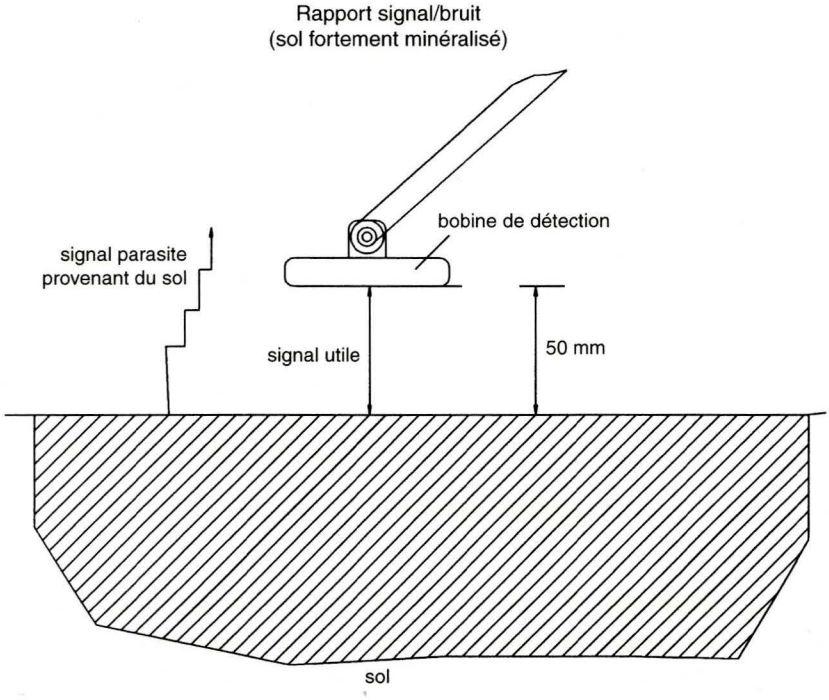



**Figure 1.22 -** Signal et utile et signal parasite.

Contrairement à la technique sinusoïdale, on utilise ici des impulsions brèves qui doivent présenter des fronts très raides, sous une tension de 30 à 400 V (de crête à crête) avec une fréquence de 30 Hz à 10 kHz ; elles sont appliquées à une bobine d'émission qui sert aussi de bobine de réception après commutation par le système de synchronisation. Dans le système PI, nous avons encore et toujours

affaire à des bobines. Et ici aussi, la mise en œuvre de configurations de bobines diverses permet de s'affranchir de l'influence du sol (par exemple un sol très conducteur) comme on en rencontre dans l'Eifel ou le Siegerland (en Allemagne)[1], sans faire de concession sur la sensibilité du détecteur. Le technicien parle ici du rapport signal/bruit, rapport entre le signal total (somme du signal utile et du signal parasite) et le signal parasite (par exemple signal du sol).

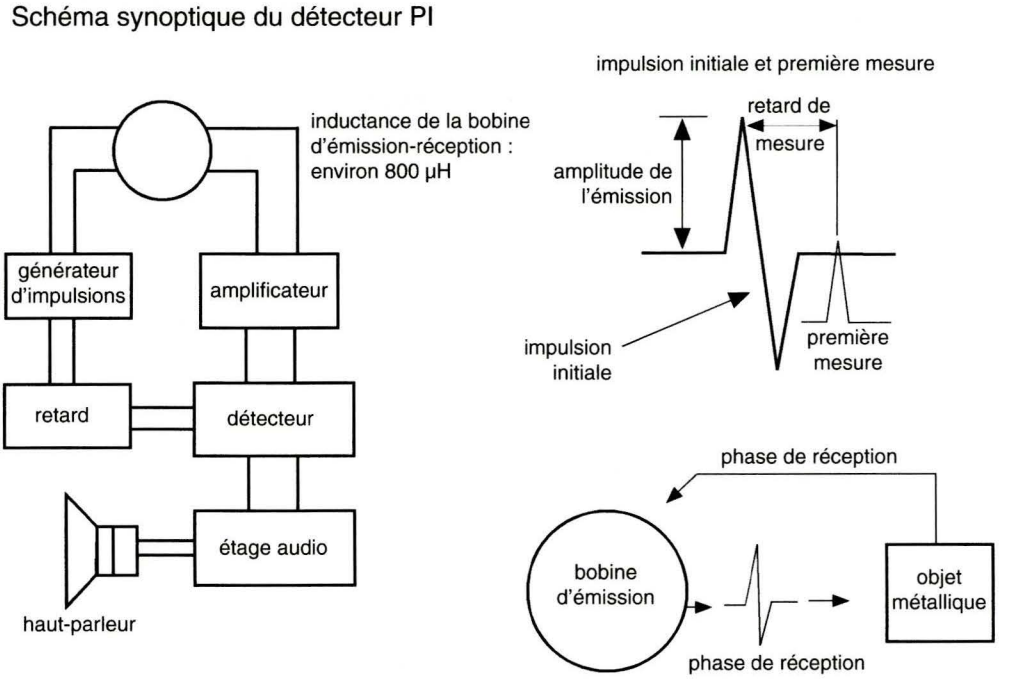



**Figure 1.23 -** Schéma synoptique du détecteur DBP 2010.

Toutefois la pratique montre clairement que, dès qu'on applique une mesure de compensation de la forte conductivité du sol, il faut s'attendre à une perte plus ou moins grande de puissance ou de sensibilité de détection. Dans la vie, tout a un prix.

Vous trouverez dans la partie pratique du livre des descriptions plus détaillées de la construction du détecteur PI DBP 2010.

1. N.d.T. : ces régions d'Allemagne sont comparables, vues par le détecteur de métaux, aux zones minéralisées (comme les plages de sable mouillé d'eau de mer).

### 1.3.5 Technique du magnétomètre

La technique du magnétomètre est une grande nouveauté par son principe de fonctionnement et son mode de construction ; elle se classe dans les détecteurs passifs. Nous allons nous pencher de plus près sur toutes les propriétés et applications de ce système.

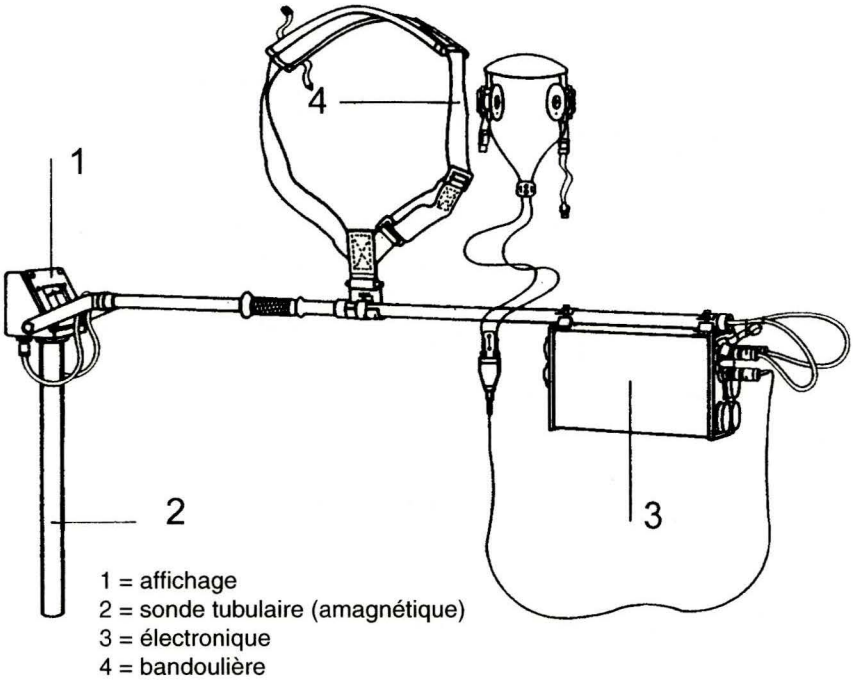



**Figure 1.24 -** Conception matérielle d'un magnétomètre.

Ce système n'émet aucun signal, il détecte les accidents d'homogénéité. Le champ magnétique terrestre est homogène par nature ; nous avons déjà étudié ses effets et son orientation. Toute particule métallique, magnétisée par le champ terrestre, perturbe plus ou moins intensément cette homogénéité, en fonction de sa taille, de sa position et de ses propriétés métallurgiques. Ces appareils sont connus sous la dénomination « magnétomètres différentiels ». Le principe de base repose sur deux bobinages sensibles aux champs magnétiques montés en opposition de phase, de façon à donner du champ magnétique une mesure électronique nulle (annulation). Si l'une des bobines (c'est généralement la bobine inférieure) rencontre un champ perturbateur, la différence cesse d'être nulle, ce qui fait naître une tension de mesure alternative. La condition impérative est le

parallélisme parfait et l'orientation exacte dans un espace libre. Si les bobines présentent un défaut d'alignement, la compensation n'est plus exacte et l'appareil est inutilisable. La différence entre un appareil inutilisable et un bon magnétomètre se mesure au centième de millimètre (à titre de comparaison, le diamètre d'un cheveu est d'environ 5/100 mm).

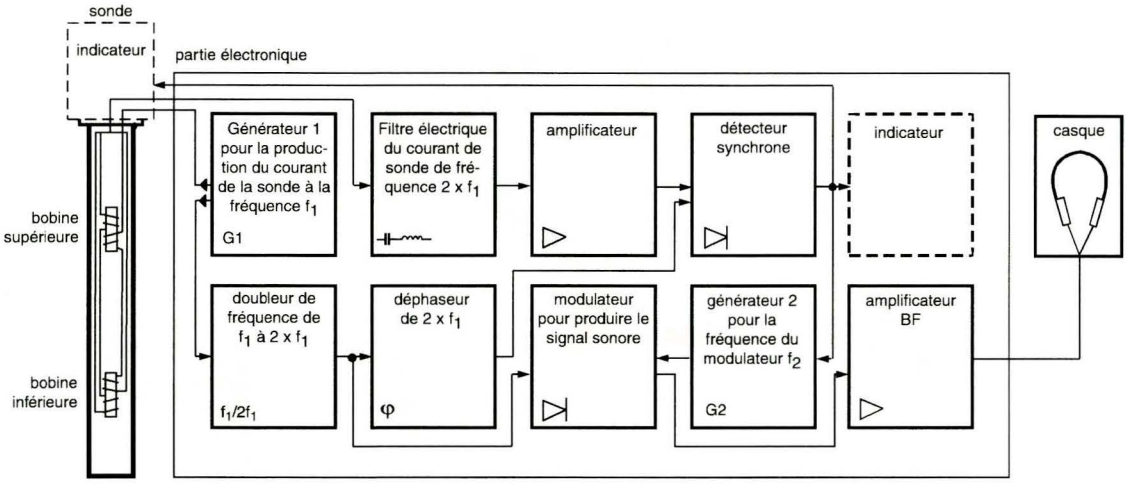



**Figure 1.25 -** Schéma synoptique d'un magnétomètre.

## Principe de fonctionnement

Le générateur 1 produit le courant d'alimentation des deux bobines d'induction, lesquelles servent aussi de bobinages de mesure. Si le champ magnétique terrestre homogène produit un flux inégal – les inégalités sont dues en particulier aux corps métalliques enfouis dans le sol (mais aussi à des cavités importantes), la sonde produit l'harmonique 2 de $f_1$ du générateur 1. Le reste du circuit effectue le filtrage, l'amplification et la détection synchrone – à l'aide d'un doubleur de fréquence et d'un déphaseur, pour attaquer un afficheur analogique. Le signal acoustique auxiliaire est produit par le générateur 2 et le signal harmonique 2 du générateur 1.

Ces systèmes sont attrayants par leur énorme sensibilité, limitée toutefois aux métaux ferreux. Le système ne permet pas de localiser les métaux non ferreux, puisqu'ils ne sont pas magnétisables et ne peuvent donc pas perturber le champ magnétique homogène de la terre.

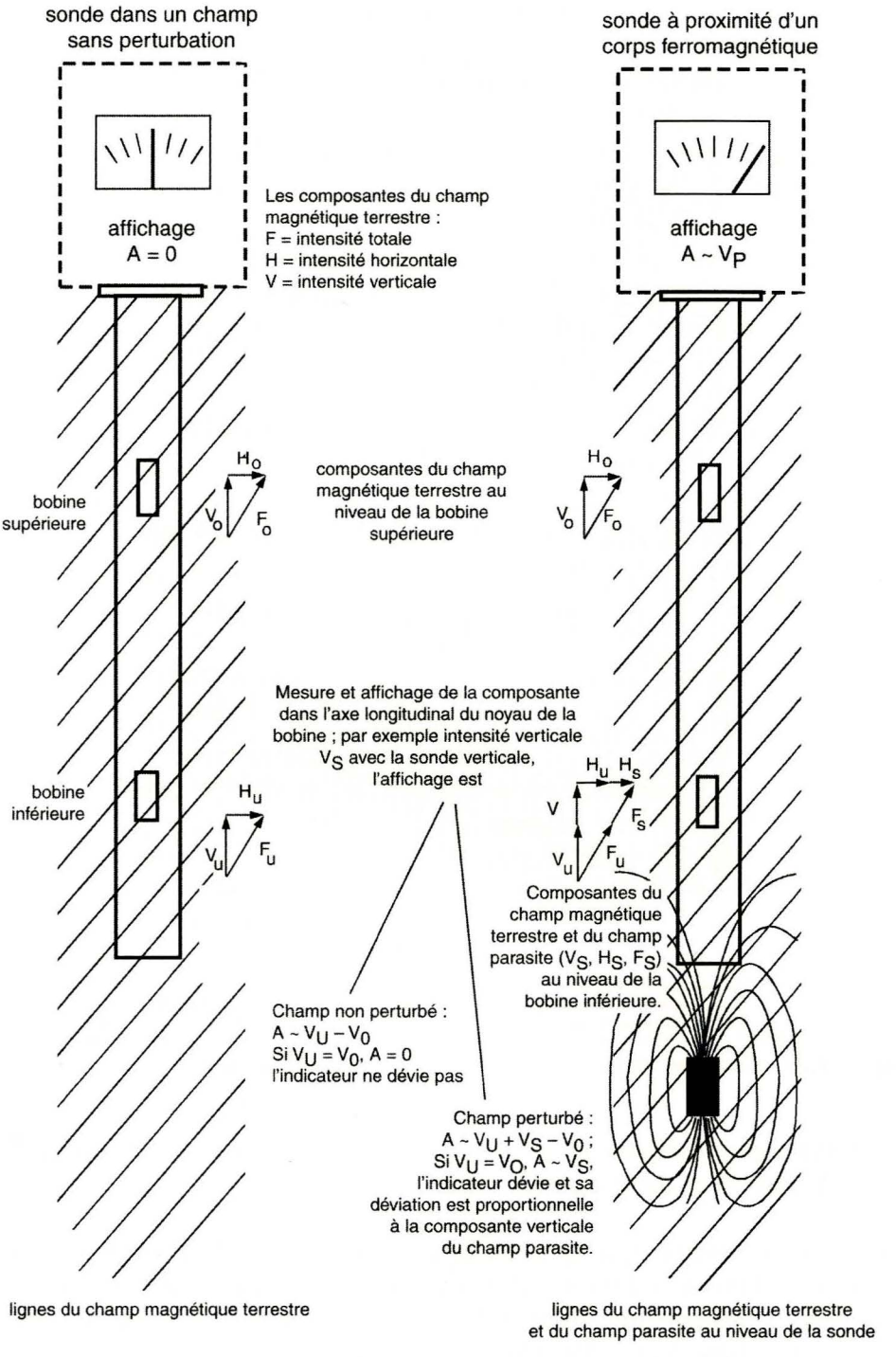



**Figure 1.26 -** Principe de fonctionnement de la sonde du magnétomètre.

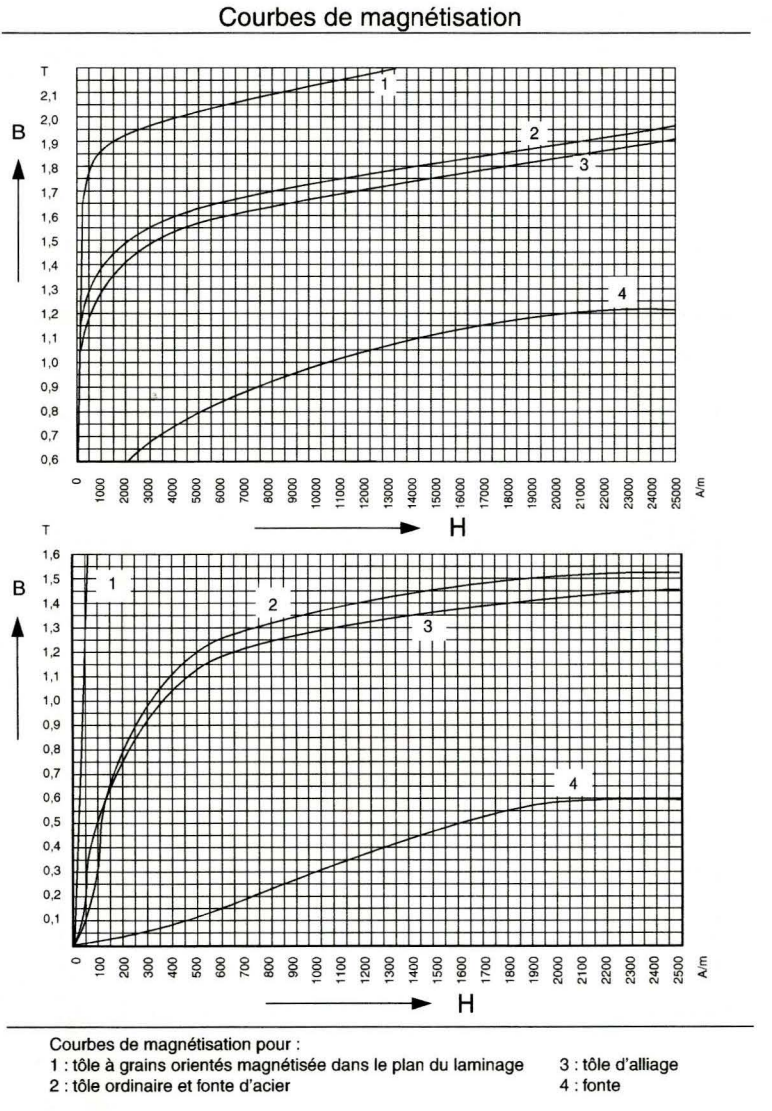



**Figure 1.27 -** Courbes de magnétisation de différents matériaux.

Les données physiques ont été explorées scientifiquement par le chercheur Pierre Weiss. Il a décrit sa théorie comme suit.

Dans un métal magnétique, qui a tendance à toujours orienter ses particules dans la direction d'un champ nord-sud, la structure moléculaire contient d'innombrables aimants élémentaires. Sans influence extérieure, ces aimants forment dans le métal des zones bien délimitées, les domaines de Weiss. Dans ces zones, les

minuscules aimants élémentaires sont totalement désordonnés, c'est-à-dire sans orientation nord-sud, serrés les uns contre les autres. Si un champ magnétique extérieur intense vient agir sur ce matériau magnétisable, les aimants élémentaires s'orientent instantanément dans la direction des lignes de champ imposées par le champ extérieur. La perméabilité est une grandeur d'importance primordiale ; c'est le rapport entre l'intensité du champ magnétique et la densité de flux ; on la représente par une courbe de magnétisation. Les matériaux à haute perméabilité offrent des propriétés magnétiques supérieures ; dans notre domaine d'application, ils conviennent, associés aux bobines, pour la détection des métaux (nous en verrons plus en détail dans l'exemple du DBP 2010, comme sondes pour crevasses, puits, etc.).

En-dehors de la recherche d'armes et de décorations militaires, on connaît d'autres applications typiques des magnétomètres différentiels pour le nettoyage de champs de bataille, la recherche de bombes, grenades et munitions de toutes sortes. La portée de l'appareil atteint environ six mètres de profondeur. Un avantage décisif de ces appareils est la possibilité de déterminer la position et la taille d'un corps explosif éventuel.

L'appareil reconnaît la zone négative de la répartition du champ magnétique, de même que la zone nulle (c'est-à-dire la zone de transition) et la zone positive.

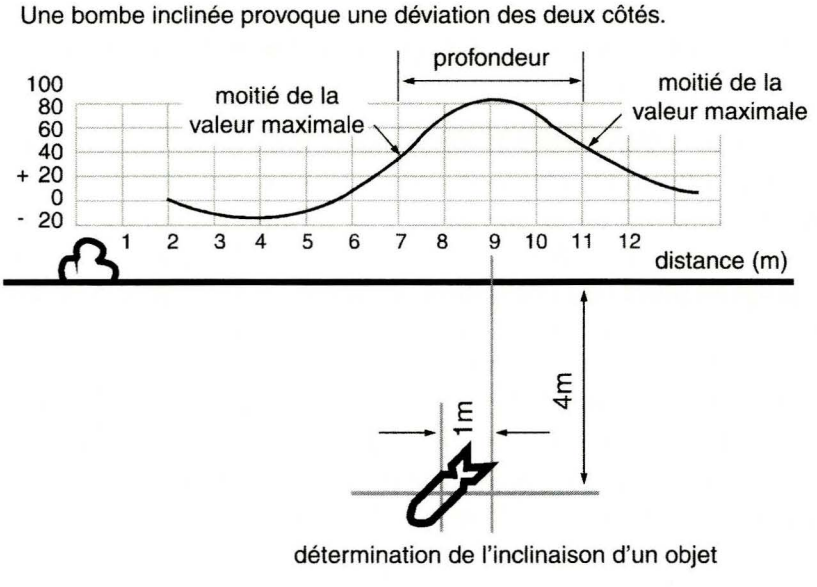



**Figure 1.28 -** Détermination de la position et de l'orientation au moyen d'un magnétomètre.

Voici différents scénarios qui montrent clairement comment interpréter les indications du magnétomètre.

Exemple 1 : un clou est enfoui dans le sol suivant un angle de plus en plus aigu. La déviation de l'aiguille est de plus en plus petite quand la sonde est placée à proximité, jusqu'à ne plus dévier du tout, ou presque, dans le dernier cas.

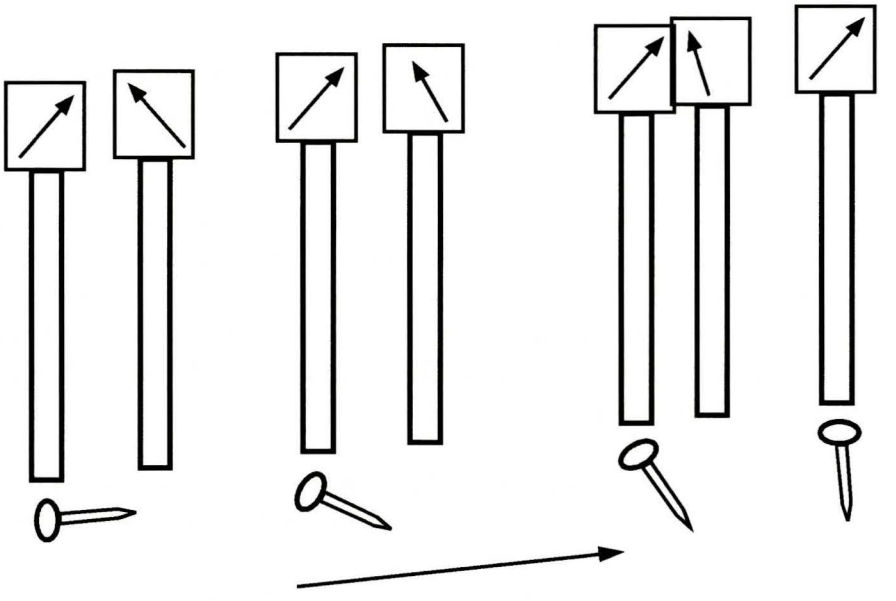


**Figure 1.29 -** Caractéristiques de l'affichage en fonction de la position de l'objet.

Exemple 2 : pour expérimenter la détermination de la profondeur d'enfouissement d'un corps dans le sol, on enterre verticalement à environ 50 cm un morceau de rail de chemin de fer ou de profilé en T de 30 cm de long. On commence par rechercher l'endroit où la déviation de l'aiguille est la plus forte. Ensuite on continue jusqu'au point où la déviation de l'aiguille est revenue à la moitié de la déviation maximale précédente ; on repère au sol la position de la sonde. On repasse par l'endroit où la déviation était la plus forte, on le dépasse jusqu'à trouver à nouveau une déviation de la moitié de la déviation maximale ; on repère au sol cette nouvelle position de la sonde. La distance entre les deux repères correspond à peu de chose près à la profondeur d'enfouissement de l'objet localisé (distance entre le bas de la sonde et le milieu de l'objet).

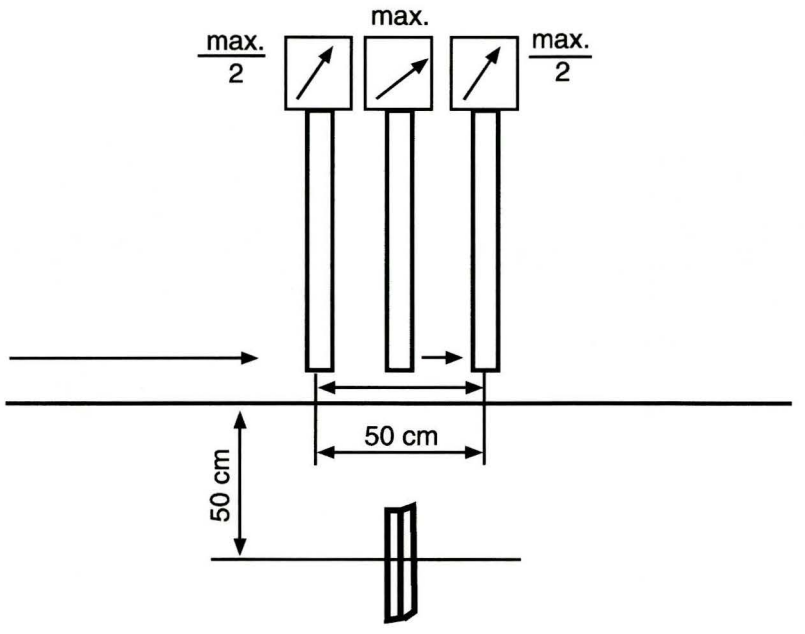
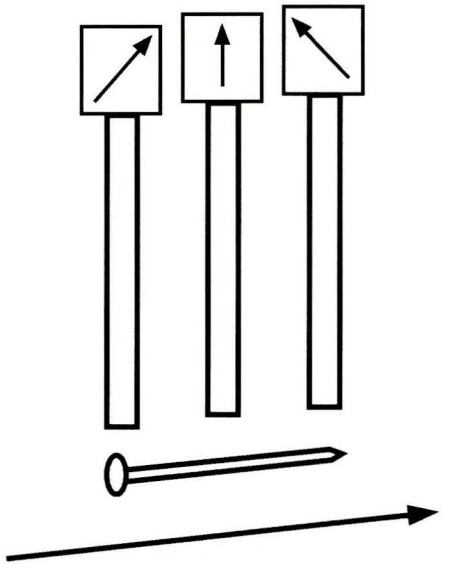



**Figure 1.30 -** Détermination de la profondeur d'enfouissement d'un objet.



Si l'objet est placé horizontalement, l'affichage est symétrique par rapport à la déviation nulle correspondant au milieu.

Voici quelques applications caractéristiques du magnétomètre.

**Figure 1.31 -** Affichage caractéristique de l'orientation d'un objet horizontal.

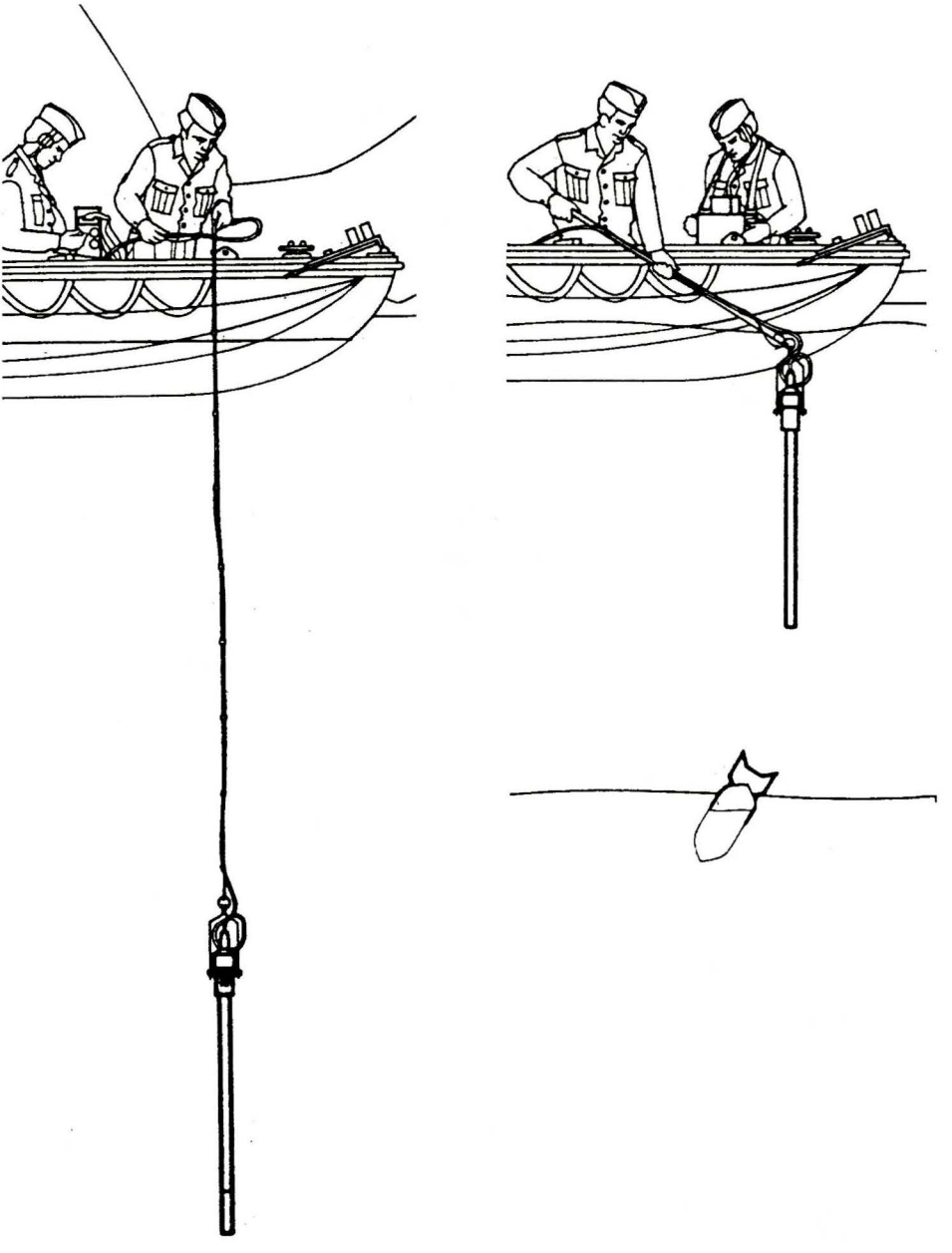


**Figure 1.32 et figure 1.33 -** Nettoyage de plans d'eau jusqu'à trente mètres de profondeur (à gauche) et en eau peu profonde (à droite).

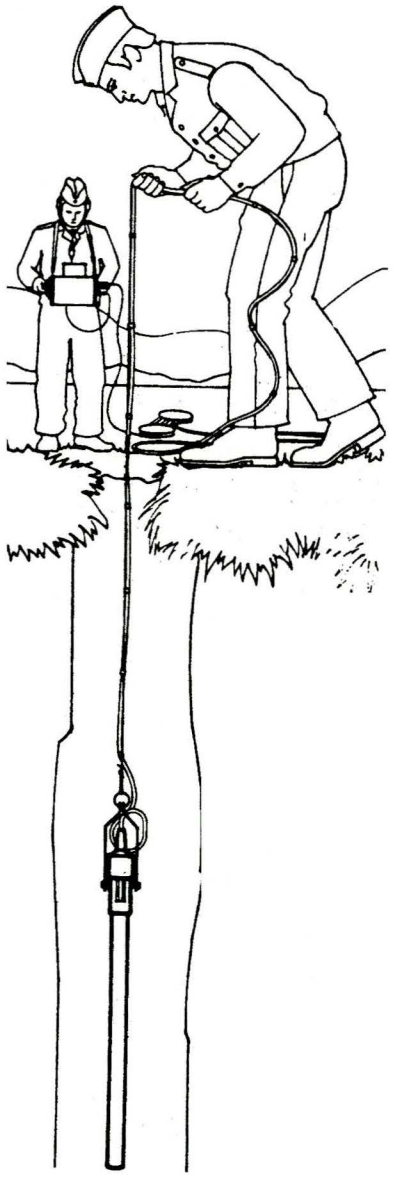


**Figure 1.34 -** Exploration de puits.

Pour obtenir des résultats satisfaisant avec le magnétomètre, un calibrage rigoureux, par des mouvements pendulaire et rotatif, est indispensable. Comme il est naturel que l'utilisation du magnétomètre s'accompagne de déplacements de la sonde dans l'espace, cette source d'erreur doit être éliminée par un calibrage de la sonde. Pour cela la sonde est soumise comme le montre la figure 1.35 à des mouvements rotatifs et à des mouvements pendulaires (20°) et réglée de telle façon que la déviation maximale soit de ±3 divisions de l'échelle (par rapport au zéro central). Nous ne cherchons pas à évaluer la conductivité de l'opérateur mais à détecter la présence, la position et la taille d'objets métalliques.

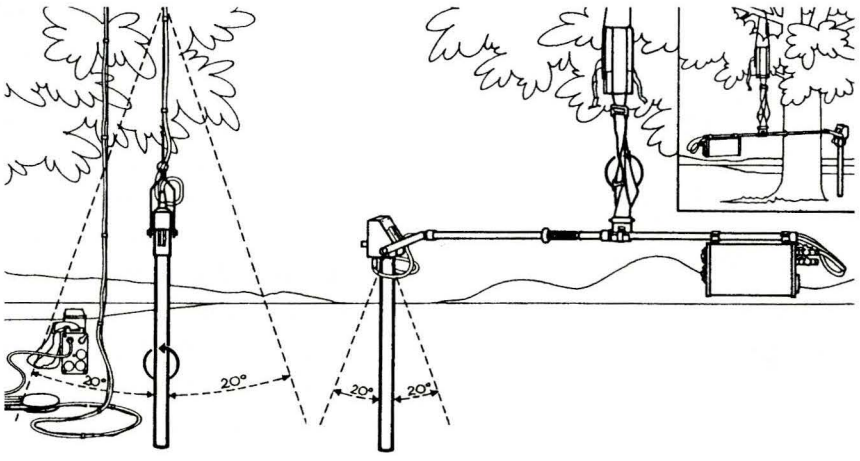



**Figure 1.35 -** Calibrage du magnétomètre par mouvements rotatif et pendulaire.

### 1.3.6 Autres procédés de détection

Naturellement, il existe quelques autres techniques efficaces, par exemple les capteurs sensibles au champ magnétique et les « magnistors ». Ces derniers offrent certes une sensibilité nettement inférieure à celle du magnétomètre que nous venons de décrire, mais leur rapport performances/prix les qualifie parfaitement pour les tâches de localisation simples.

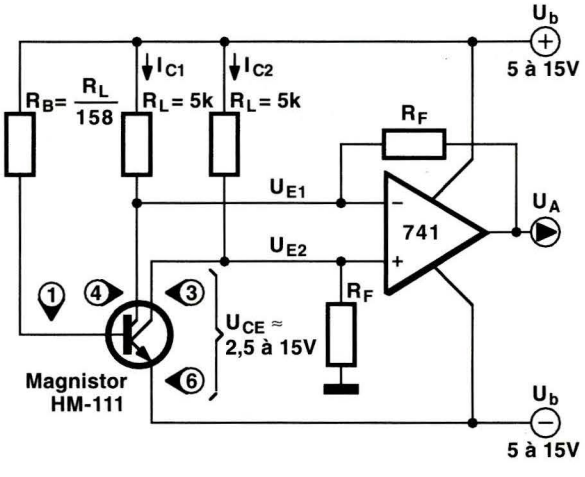



**Figure 1.36 -** Montage de test d'un *magnistor.*

La société Honeywell propose par exemple, avec sa série HMC/HMR, un système dont le capteur magnéto-sensible est capable de détecter l'intensité, la direction et les variations du champ magnétique. Les feuilles de caractéristiques citent expressément, parmi les applications de ce système, la localisation de corps ferro-magnétiques.

### 1.3.7 Détecteur spécial TM 5-6665-293-13

Au long du développement de la technique des armes, on a toujours déployé beaucoup d'efforts en vue de rendre invisibles à l'ennemi autant les troupes que les armes. Du fait qu'il existe maintenant des mines anti-personnel fabriquées entièrement en matériaux non-conducteurs, comme les PVC, ABS et autres matières plastiques, les détecteurs de métaux usuels n'ont pas la moindre chance de localiser ces mines en matière plastique. Il a fallu pour cela mettre au point quelque chose de complètement nouveau. L'appareil cité ci-dessus exploite une technique spéciale qui lui permet de localiser à coup sûr ces engins de mort.

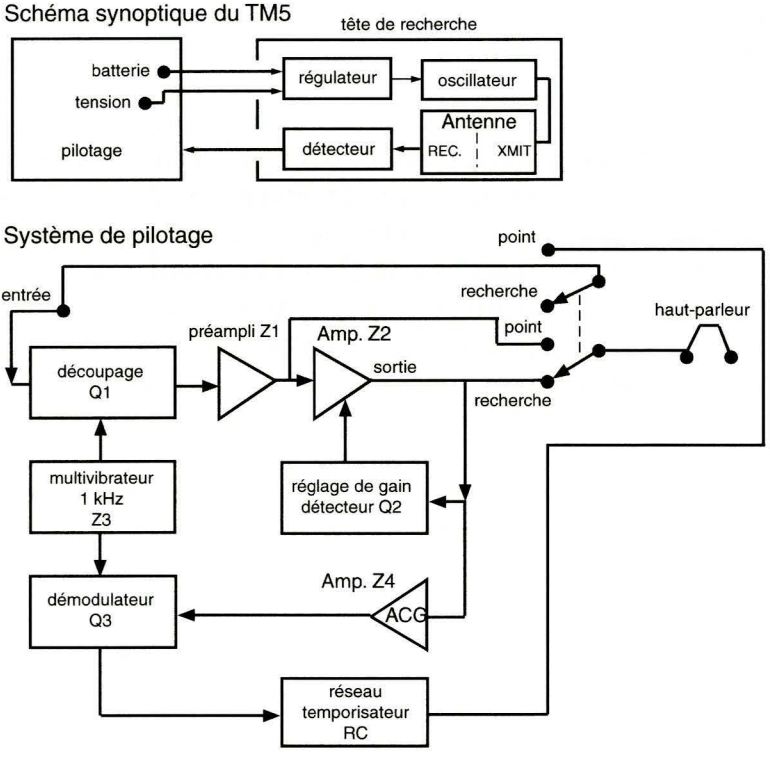



**Figure 1.37 -** Schéma synoptique du détecteur TM5.

Nous venons de rafraîchir nos connaissances sur les champs ; tant mieux, parce que cette science va nous être très utile pour comprendre le mode de fonctionnement de ce type de détecteur.

Pour bien capter le sujet, il convient de se rappeler que le champ magnétique terrestre est homogène et que tout corps introduit dans ce champ y produit des anomalies diverses. C'est sur la détection des anomalies que repose le fonctionnement du TM5. Un émetteur HF « contamine » le champ terrestre par des rayonnements HF émis avec une puissance donnée.

Chaque objet absorbe les radiations injectées, ou les altère d'une façon déterminée. La mesure électronique permet d'évaluer l'importance de cette absorption, par comparaison avec la valeur injectée.

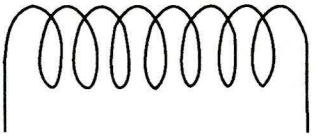
Le schéma de cet appareil des plus intéressants se trouve en annexe.

### 1.3.8 Le système EMFAD UG 12

Le système EMFAD UG 12 est une autre nouveauté mondiale que nous allons présenter ici.

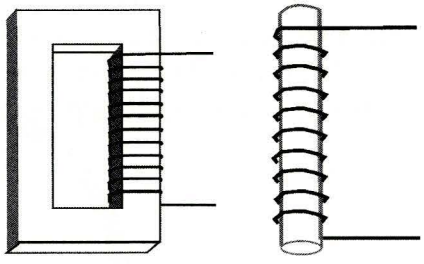
Le système UG 12 détecte les variations anormales sans émission ni émetteur. Il mesure et enregistre les anomalies comme des lignes d'alimentation métalliques, fûts, dépôts de munitions, etc. mais aussi des tunnels, bunkers, crevasses rocheuses, déformations, réservoirs d'eau souterrains ou autres décharges avec des fuites d'électrolytes. L'appareil est très petit ($35 \times 15 \times 8$ cm) et ne pèse que 1500 g. Pour la détection, il suffit de parcourir la zone au pas avec l'appareil en main. Si la zone recèle de gros objets métalliques ou des cavités, tunnels, etc. ces variations anormales sont détectées, mesurées et mémorisées. Les données sont ensuite transférées vers un PC ou portable. La zone explorée apparaît alors en couleurs à l'écran. La terre normale apparaît en vert, les objets métalliques en rouge ou orange, les cavités ou tunnels en bleu ou gris. Malheureusement cet appareil coûte quelque chose comme quinze mille euros et on n'y a recours que pour des applications spéciales.

## 1.4 Bobines



Symbole d'une bobine simple sans noyau

**Figure 1.38 -** Bobine à air (sans noyau ferreux).



Représentation schématique de bobines à noyaux de fer

**Figure 1.39 -** Bobines à noyaux.

Leurs caractéristiques physiques placent les bobines parmi les composants les plus intéressants de l'électronique et de l'électrotechnique. Alors que les résisteurs[1], par exemple, se contentent de provoquer une chute de tension mesurable, la bobine se caractérise par un critère beaucoup plus important, mesurable et exploitable : son effet magnétique ou inductance. Dans notre approche des détecteurs de métaux, la bobine est tout simplement un élément essentiel. Il en existe de toutes formes et configurations, mais toutes ont pour fonction de capter ou d'émettre des grandeurs électriques ou magnétiques. Dans les détecteurs de métaux, les bobines ont deux rôles essentiels. Pendant la phase d'émission, les métaux enfouis sont magnétisés conformément aux caractéristiques connues des champs magnétiques émis. Pendant la phase de réception, la bobine capte la magnétisation rémanente, qui se manifeste sous la forme de courants de Foucault avec les intensités les plus diverses, pour transmettre un signal correspondant à un amplificateur avant que le métal ait fini d'absorber cette énergie. Lors de cette phase de réception, la magnétisation rémanente est toujours liée directement aux variations d'induction dans la bobine.

1. L'existence en français du seul mot résistance pour désigner à la fois le composant (résistance) et la grandeur électrique (résistance) n'est pas de nature à favoriser la clarté des énoncés. C'est pourquoi nous préconisons, pour désigner le composant (et le composant seulement !) le recours au néologisme « résisteur », calqué avec bon sens sur « condensateur » ou « transformateur ». Ici, résistance désigne donc seulement la grandeur électrique, tandis que résisteur désigne seulement le composant proprement dit.

### 1.4.1 Facteur de qualité des bobines

Une bobine est toujours constituée de fil conducteur qui présente une résistance ohmique. Plus cette résistance est élevée, moins la bobine est bonne. Le facteur de qualité Q exprime le rapport entre la résistance réelle et la résistance au courant alternatif, ou résistance apparente, ou encore impédance.

$$Q = X_L/R$$

Plus cette valeur est élevée, meilleure est la bobine. Les bobines de fort facteur de qualité permettent par exemple de réaliser des filtres à bande très étroite (très sélectifs). La présence de cette résistance fait que le déphasage est toujours inférieur à 90°. La bobine présente une impédance ou résistance apparente qui résulte de la composante réelle de la résistance R (composante ohmique), de la réactance $X_L$ et du déphasage $\varphi$. Un calcul dans le plan complexe ou, comme ici, l'application du théorème de Pythagore, permet de connaître l'impédance :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{et} \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

### 1.4.2 Conception des bobines de détection

Les bobines de détection utilisées dans les détecteurs sont désignées en fonction de la disposition relative des éléments émetteur et récepteur. Les six illustrations suivantes représentent des agencements différents.

Les bobines que nous étudierons pour nos applications sont réalisées habituellement en fil de cuivre émaillé. Comme leur nom l'indique, il s'agit de conducteurs recouverts d'une couche isolante susceptible de durcir à chaud. Ainsi est-il possible, une fois le bobinage réalisé, de faire passer dans la bobine un « courant de cuisson » qui fige sa forme un fois pour toutes. Dans les cas particuliers, il est possible que la bobine soit réalisée en fil d'argent ou avec un autre matériau bon conducteur (naturellement sous forme de fil). Pour les détecteurs à impulsions « rapides », nous recommandons d'utiliser des fils à couche d'émail épaisse, de façon à augmenter l'espace entre les spires et limiter l'effet de condensateur, connu mais indésirable. Nous ne nous attarderons pas sur les supra-conducteurs, de toute façon hors de portée des applications normales. La supra-conductivité

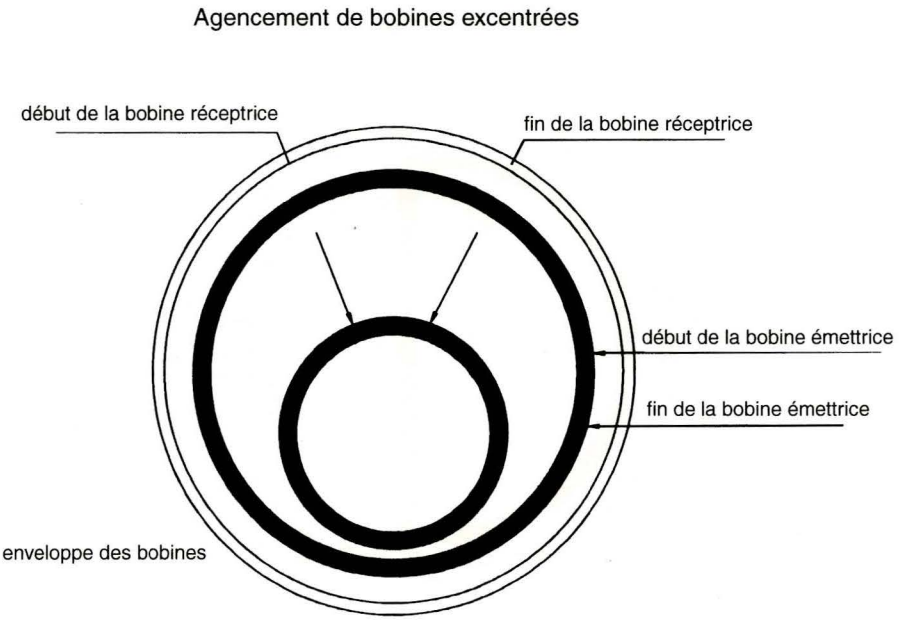



**Figure 1.40 -** Bobines de détection excentrées.

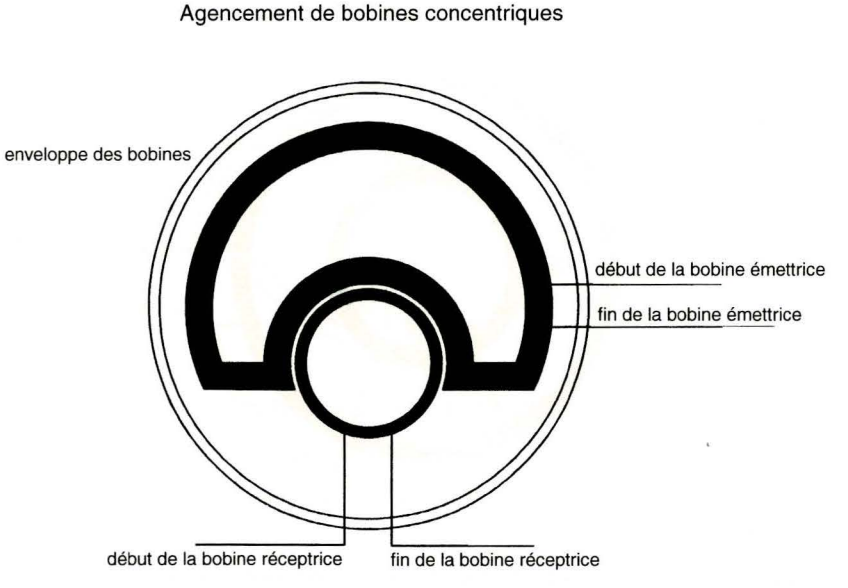



**Figure 1.41 -** Bobines de détection à disposition concentrique.

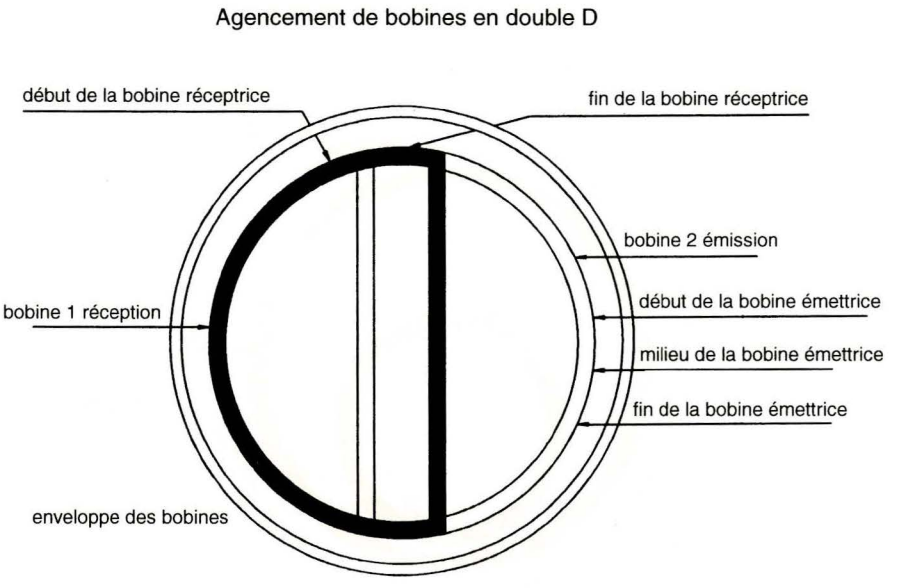



**Figure 1.42 -** Bobines de détection en double D.

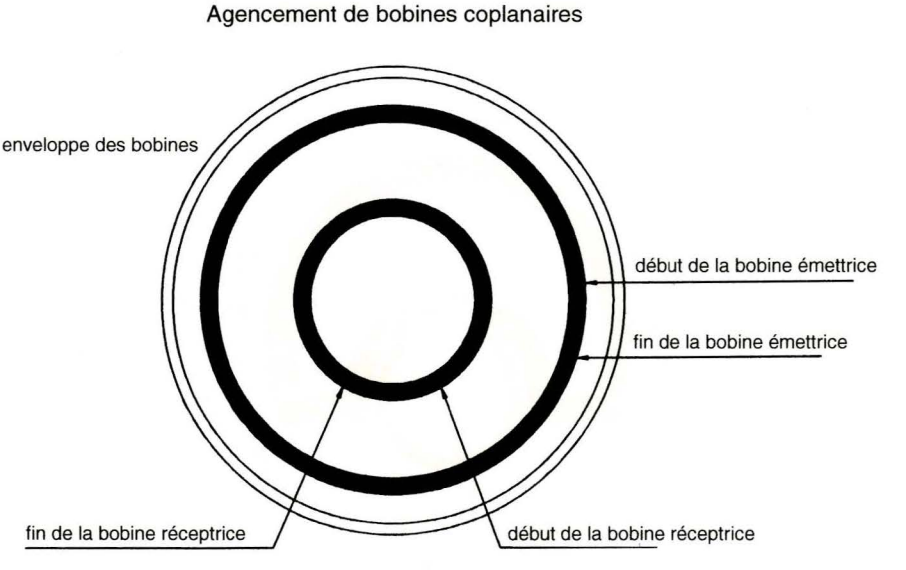



**Figure 1.43 -** Bobines de détection circulaires et concentriques.

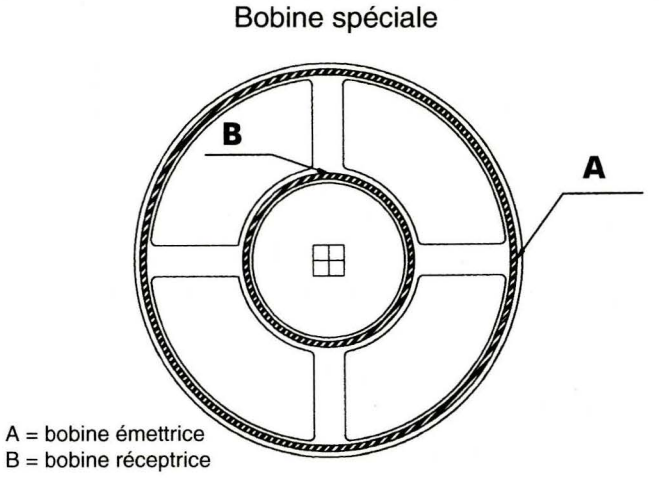



**Figure 1.44 -** Conception spéciale des bobines : bobine d'émission et réception.

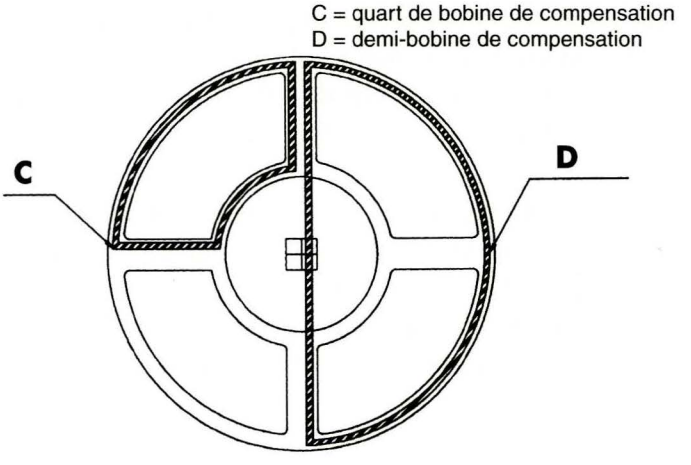



**Figure 1.45 -** Emplacement des bobines de compensation.

s'obtient en principe par un fort refroidissement, par exemple à l'azote liquide. La résistance de la bobine est réduite à une valeur quasi-nulle, ce qui en fait le composant le mieux adapté par ses caractéristiques physiques.

### 1.4.3 Les bobines et leur comportement par rapport au sol

Lors de l'étude de nos détecteurs, la pratique a montré que la constitution du sol est toujours d'un grand intérêt. Qu'il s'agisse de sable, comme sur une plage, de glaise, de schiste, de tourbe, d'humus ou de sol composés, chaque sol présente une conductivité différente, selon sa teneur en eau et sa minéralisation. Disons tout de suite ici que lors de l'utilisation pratique des détecteurs dans la nature, chaque sol impose un nouveau réglage de la compensation de sol, si l'appareil n'est pas équipé d'une « compensation automatique de sol ».

La grande diversité de la composition des sols fait que chacun a un effet caractéristique sur la bobine des détecteurs. La difficulté, vue par le détecteur, est que les sols ont des conductivités très différentes. C'est pourquoi il faut distinguer ici deux sortes de signaux qui se présentent dans les détecteurs. D'abord le signal utile, qui agit avec une puissance donnée sur la bobine de détection, ensuite le signal parasite, produit par le sol (voir la figure 1.22, page 33).

Dans la plupart des détecteurs, lors de la compensation du sol, la bobine de détection est placée au plus près du sol (environ 5 cm), pour compenser le plus efficacement possible la perturbation par le sol. Si on place la bobine notablement plus haut que ces cinq centimètres, l'effet de sol réduit la portée réelle du détecteur et on capte en permanence des informations fausses.

Il faut donc que l'électronique puisse considérer que le sol est sans perturbation, de façon à ne pas modifier l'intensité du signal utile. Dans le cas du système DBP 2010 décrit page 118 et suivantes, cette compensation est réalisée par une fonction d'échantillonneur-bloqueur (*sample & hold*). Ainsi le décalage du point zéro qui résulte de la présence de métal peut être exploité pour signaler la détection.

### 1.4.4 Dimensions des bobines

La détermination des dimensions des bobines d'émission et de réception pour les détecteurs décrits dans ce livre prendra en compte les points suivants : un diamètre de bobine plus faible correspond à une portée réduite, mais aussi à une plus grande sensibilité aux petits objets métalliques. L'inverse est vrai : une bobine de grand diamètre donne une grande portée, mais une sensibilité réduite aux petits objets.

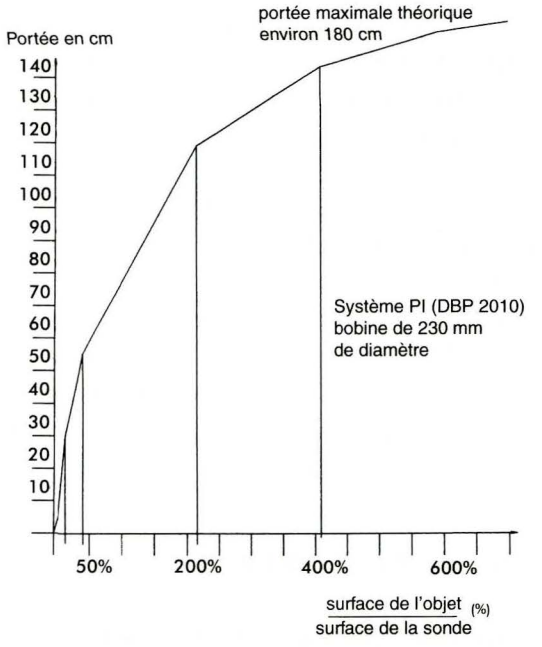



**Figure 1.46 -** Portée des bobines de 230 mm dans le système à impulsions.

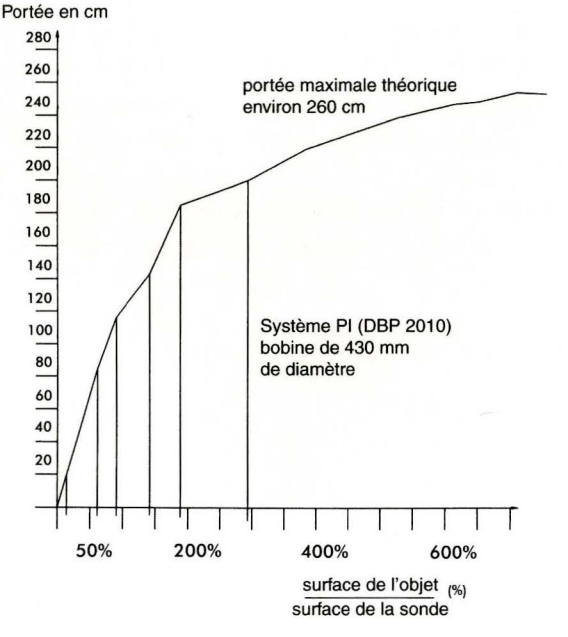



**Figure 1.47 -** Portée des bobines de 430 mm dans le système à impulsions.

Le choix de cette caractéristique essentielle détermine déjà les performances de base du détecteur utilisé. Nous avons constaté, lors de l'utilisation du système DBP 2010 en technique P-I, que la meilleure portée est obtenue pour les petits objets avec un diamètre maximal de 250 mm, de 450 mm pour les objets moyens et grands, pour les très grosses pièces avec une bobine de 1000 × 1000 mm.

On entend par petits objets des pièces de la taille d'une punaise de tableau d'affichage (1 mm de diamètre et quelque 10 mm de longueur) jusqu'à celle d'une pièce de monnaie, environ 50 mm de diamètre. On classe parmi les moyens et gros des objets qui vont de la grenade à main jusqu'à la caisse de munitions (20 × 15 × 25 cm). Parmi les très gros objets, on trouve par exemple des tôles d'acier de 400 × 400 mm et au-delà. Nous reviendrons, à propos des grandes bobines, sur la relation entre la portée maximale et la surface couverte par les bobines.

### 1.4.5 Technique des grandes bobines

C'est en particulier avec le système PI pour la localisation d'objets métalliques de grande taille (gros comme un poing ou plus) que la technique des grandes bobines a fait ses preuves. Elle permet de sonder de grandes étendues de terrain dans le minimum de temps. La présence des plus petits objets métalliques, comme par exemple des éclats, des capsules, etc. ne se manifeste plus. Les dimensions des grandes bobines peuvent être fixées presque librement, il suffit d'un amortissement et d'une intégration adaptés du côté de l'électronique. La description du kit DBP 2010 traite et explique complètement ce système spécial.

Les tableaux suivants résument les données empiriques recueillies lors de recherches sur le terrain avec divers systèmes de détecteurs et différentes tailles de bobines.

**Tableau 1.2 :** portées pratiques constatées.

| **Bobines de détection standard** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Objet** | **Matériau** | **Dimensions** | **Portée et diamètres de bobine** | | |
| | | | **DBP 2010 230 mm** | **DBP 2010 430 mm** | **VLF770 230 mm** |
| Monnaie | argent 800 | 40 × 3 mm | 32 cm | 39 cm | 36 cm |
| Bague | or 750 | D = 23 mm | 18 cm | 15 cm | 29 cm |
| Tôle | acier 52 | 100 × 100 mm | 68 cm | 87 cm | 60 cm |
| Projectile | cuivre | D = 20 mm | 45 cm | 61 cm | 48 cm |
| Grenade | fonte acier | D = 50 mm | 61 cm | 75 cm | 51 cm |
| Jerrycan | acier 52 | 280 × 180 mm | 118 cm | 145 cm | 93 cm |
| Rondelle | cuivre | 12 × 1,5 mm | 21 cm | 18 cm | 24 cm |
| Monnaie | alliage | pièce 1 DM | 20 cm | 16 cm | 25 cm |
| Jerrycan | acier 52 | 300 × 500 mm | 143 cm | 185 cm | 104 cm |

**Figure 1.48 -** La grande bobine sur le terrain.

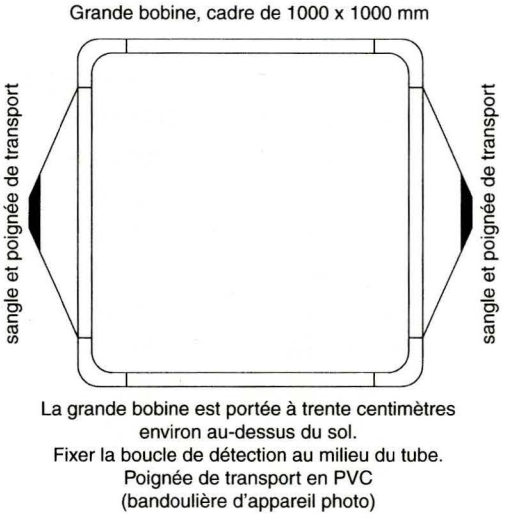



**Figure 1.49 -** Modèle de grande bobine.

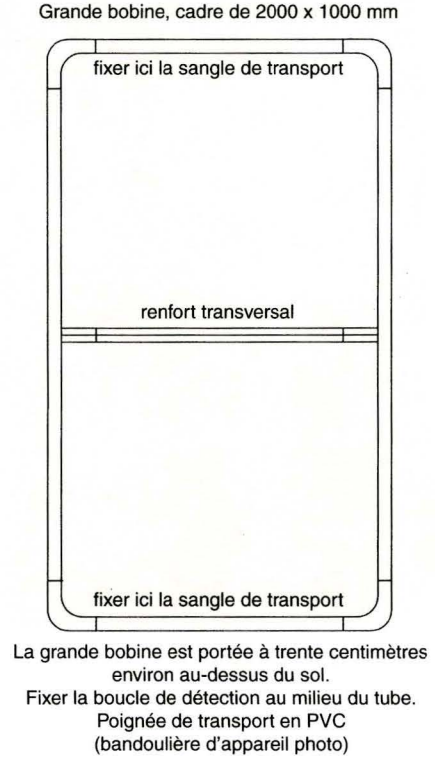



**Figure 1.50 -** Autre modèle de grande bobine.

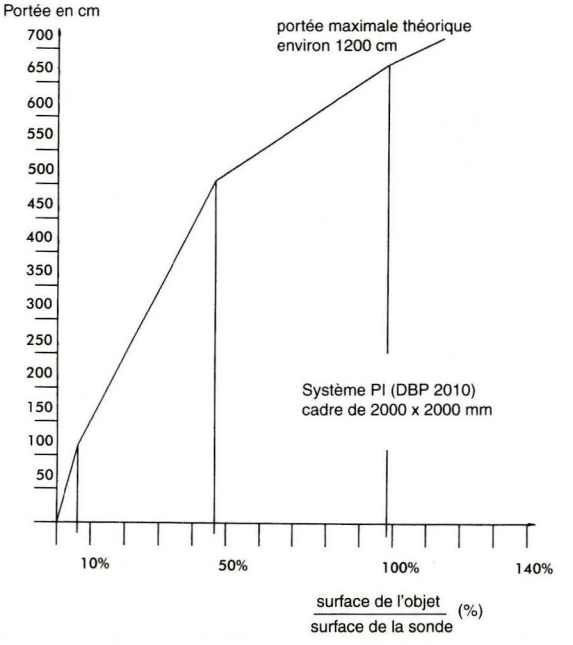



**Figure 1.51 -** Diagramme de portée de la grande bobine 2000 × 2000 mm.

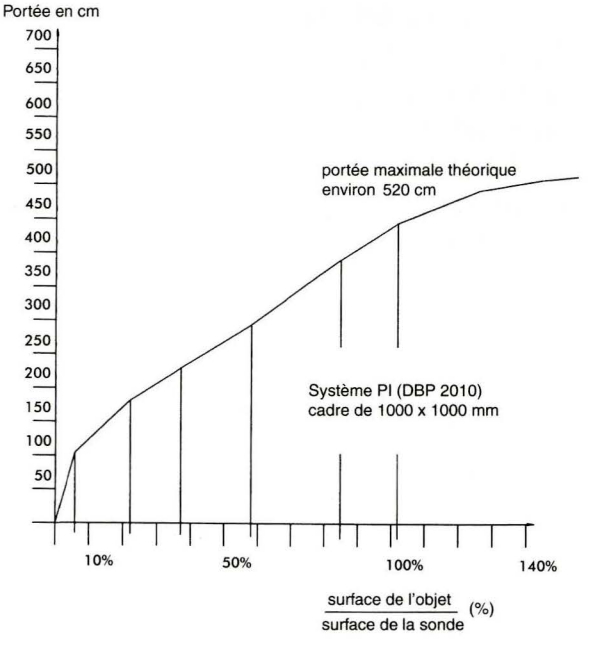



**Figure 1.52 -** Diagramme de portée de la grande bobine 1000 × 1000 mm.

**Tableau 1.3 :** portées pratiques constatées.

| **Grande bobine et DBP 2010** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Objet** | **Matériau** | **Dimensions** | **Portée avec bobine 1000 × 1000** | | |
| Grenade | fonte acier | D = 50 mm | 105 cm | grenade | fonte acier |
| Boîte Coca | fer blanc | D = 65 mm | 110 cm | boîte Coca | fer blanc |
| Tôle | acier 52 | 100 × 100 mm | 115 cm | tôle | acier 52 |
| Tôle | acier 52 | 200 × 200 mm | 172 cm | tôle | acier 52 |
| Jerrycan | acier 52 | 280 × 180 mm | 225 cm | jerrycan | acier 52 |
| Tôle | acier 52 | 500 × 500 mm | 265 cm | tôle | acier 52 |

### 1.4.6 Sinus et PI : comparaison de la portée

La comparaison (figure 1.53) entre les diagrammes de portée des systèmes sinus et PI, avec des bobines de même taille (diamètre de 230 mm dans les deux cas), montre à l'évidence que le système sinus présente quelques avantages dans le domaine des petits objets jusqu'à une profondeur de 55 cm environ. La technique PI présente des avantages essentiels en termes de portée (profondeur de détection) pour un rapport donné entre la taille de l'objet et la surface couverte par la bobine. Pour pouvoir chiffrer ces différences, on parle de facteur de portée. Sa valeur est de 3,3 à 3,5 pour les systèmes PI par rapport au système sinus. C'est-à-dire que la portée des systèmes PI à grandes bobines est, à taille de bobine égale (230 mm), 3,3 fois plus grande que celle des détecteurs à sinus. Les performances du système PI sont donc notablement supérieures en termes de portée. Le principe même des détecteurs sinus ne leur permet pas de mettre en œuvre la technique des grandes bobines. Leur portée maximale se limite à quelque 120 cm.

Qu'il s'agisse de détecteurs à système PI, sinus ou à amortissement, le mode de signalisation lors de la détection est très similaire. Seule la taille de l'objet influe sur la nature et l'intensité du signal sonore.

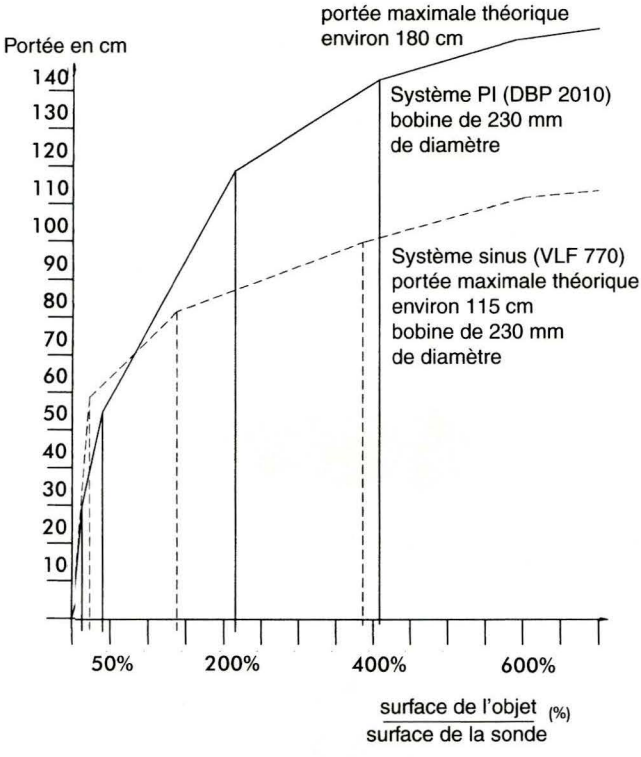



**Figure 1.53 -** Comparaison entre les systèmes PI et sinus, avec des bobines de même taille.

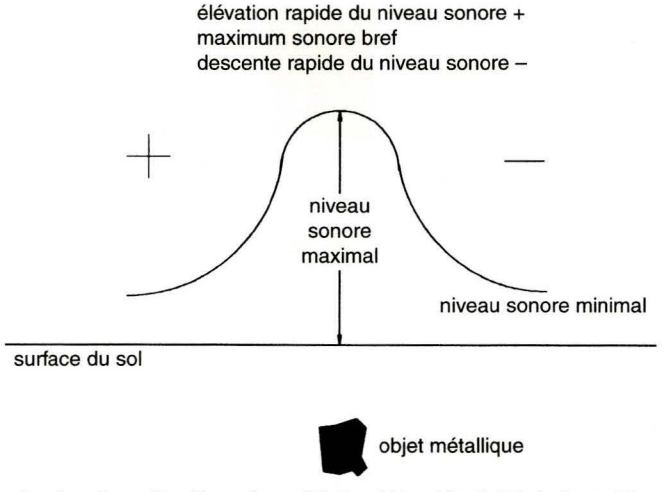



**Figure 1.54 -** Mode de signalisation des objets détectés (objet de petite taille).

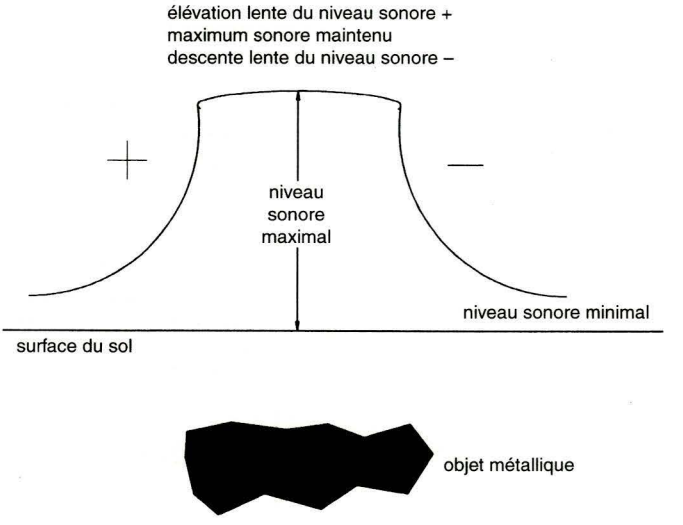



**Figure 1.55 -** Mode de signalisation des objets détectés (objet de grande taille).

## 1.4.7 Sonde

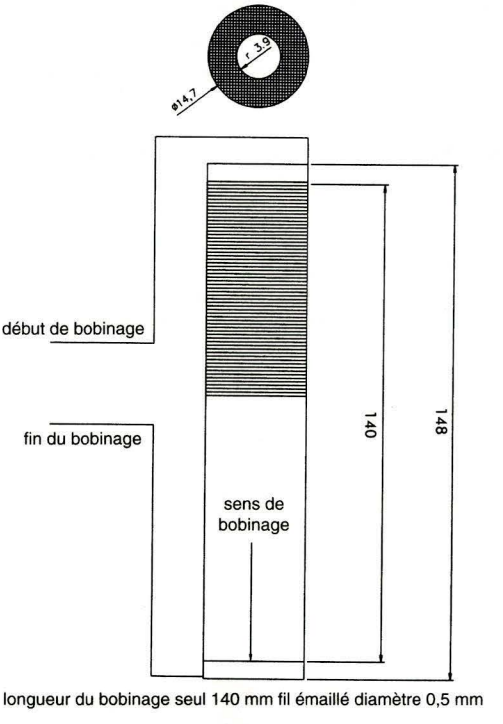



**Figure 1.56 -** Exécution standard d'une sonde

En principe une sonde est un dipôle qui sert à détecter des objets métalliques dans des crevasses de rochers étroites, des puits ou des carottages. Grâce à sa forme allongée, cette sonde émet un champ magnétique très concentré et permet une détection très précise dans un espace restreint. Elle est constituée d'un noyau très perméable qui offre ses meilleures propriétés sous la forme d'un tube (c'est-à-dire avec un alésage central), avec un bobinage régulier en fil émaillé sur toute la longueur. De plus grandes portées sont obtenues grâce à l'assemblage de plusieurs tubes en un faisceau autour duquel on réalise le bobinage. Comme le système PI s'accommode de câbles de 25 m, il est possible ainsi d'atteindre à peu de frais des objets métalliques inaccessibles autrement.

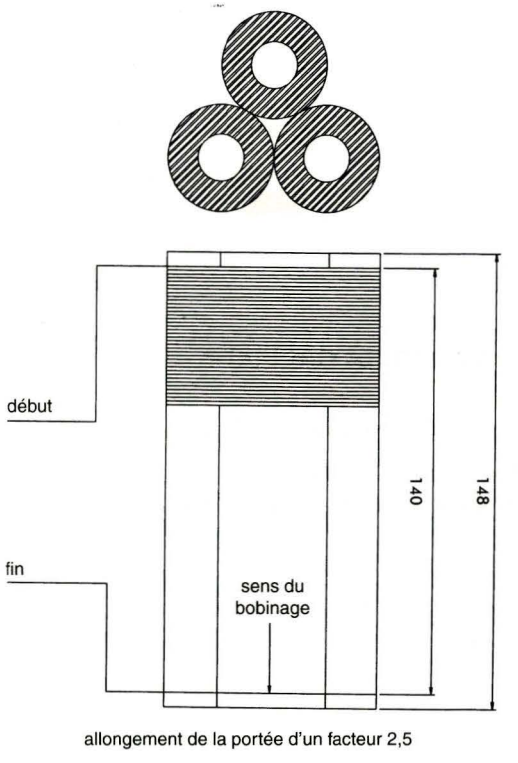



**Figure 1.57 -** Augmentation de la sensibilité par l'assemblage de trois noyaux tubulaires.

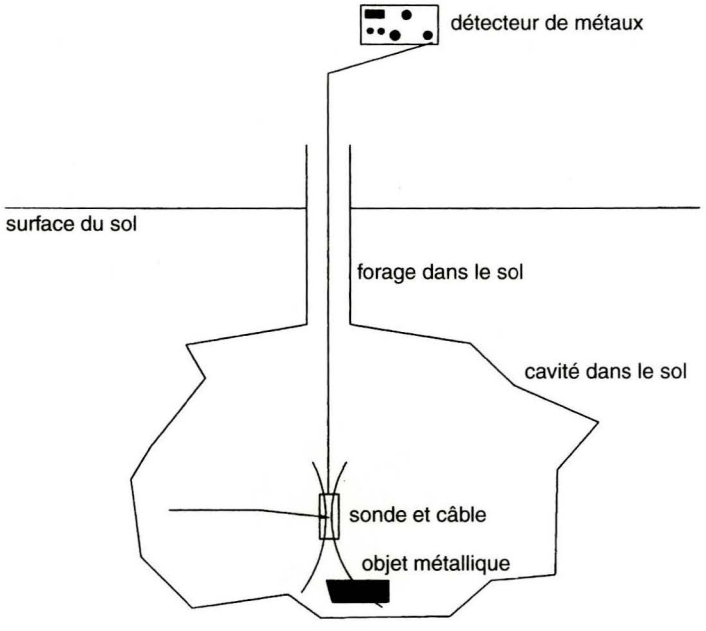



**Figure 1.58 -** La sonde à l'œuvre.

### 1.4.8 Bobine dans un circuit oscillant

Puisque nous utilisons les bobines comme éléments déterminants de la fréquence dans des circuits oscillants, il n'est pas inutile de jeter un œil sur leur comportement à la fréquence de résonance d'un assemblage LC.

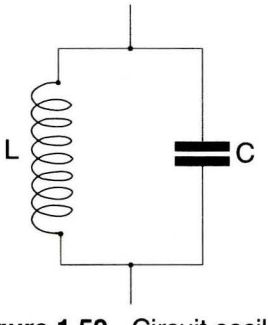



**Figure 1.59 -** Circuit oscillant parallèle.

Dans l'idéal, la résonance se produit lorsque pour une fréquence $f_0$ (fréquence de résonance) la réactance du circuit s'annule. Il faut pour cela que les réactances des deux composants soient égales ($X_L = X_C$). Du fait du déphasage entre L et C,

les deux réactances sont de signe opposé et s'annulent. L'impédance se résume alors à la résistance ohmique, Z = R, c'est-à-dire que le circuit oscillant se comporte comme une résistance pure. Comme $X_L$ et $X_C$ présentent une résistance liée à la fréquence, la condition de résonance ne se présente qu'à une seule fréquence. La condition de la résonance s'écrit :

$$X_L = X_C \; ; \; \omega_0 \times L = \frac{1}{\omega_0 \times C} \; ; \; \omega_0^2 = \frac{1}{L \times C}$$

et

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \text{ avec } \omega_0 = 2 \times \pi \times f_0$$

On en déduit la formule de Thomson du circuit oscillant.

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \times C}}$$

## Circuit oscillant série

La résistance apparente du circuit oscillant série est très faible à la résonance. Cela signifie qu'un courant maximal peut circuler avec une chute de tension minimale.

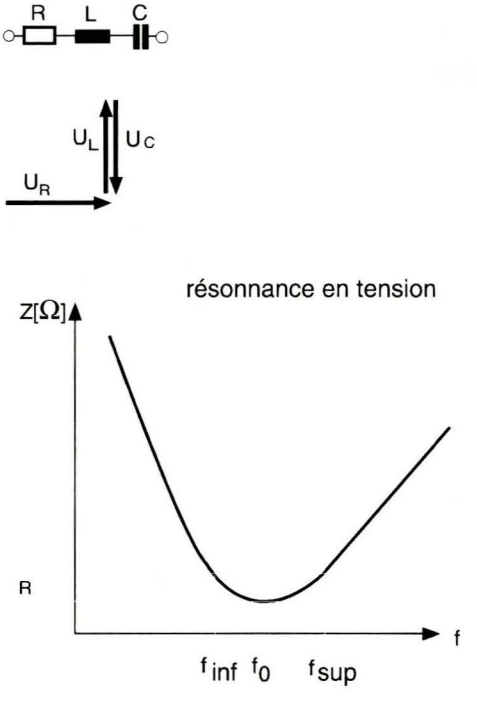
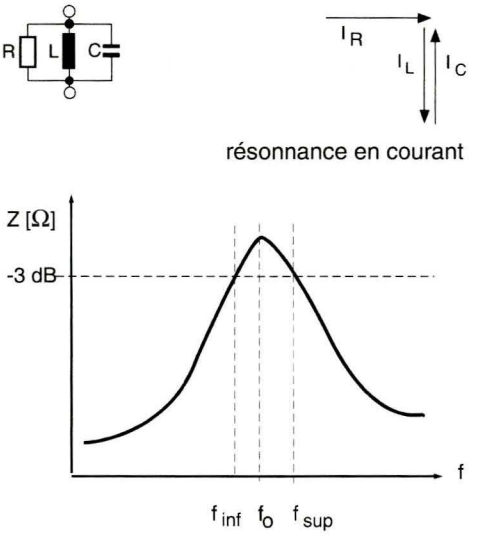



**Figure 1.60 -** Circuit oscillant série.

## Circuit oscillant parallèle




Dans le circuit oscillant parallèle, la résistance apparente est très grande à la résonance, la tension est maximale et la courant minimal. D'où le nom de circuit bouchon.

**Figure 1.61 -** Circuit oscillant parallèle.

## Optimisation des valeurs de L et C pour la fréquence de résonance

Comme les valeurs de L et de C peuvent être quelconques pour une même fréquence de résonance, il existe une infinité de combinaisons qui permettent la résonance. Il est naturellement illogique de choisir pour un oscillateur à fréquence élevée une bobine de forte inductance qui correspondrait à un condensateur minuscule ; ou inversement pour une fréquence basse de combiner une très petite bobine avec un condensateur énorme. C'est pourquoi on détermine par l'expérience les composants à utiliser. Le diagramme ci-contre, établi avec des valeurs empiriques, permet de dimensionner un circuit oscillant équilibré. Ce diagramme repose sur la formule :

$$X_0 = 10^{(4,25 - 0,25 \times \log(f_0))}$$

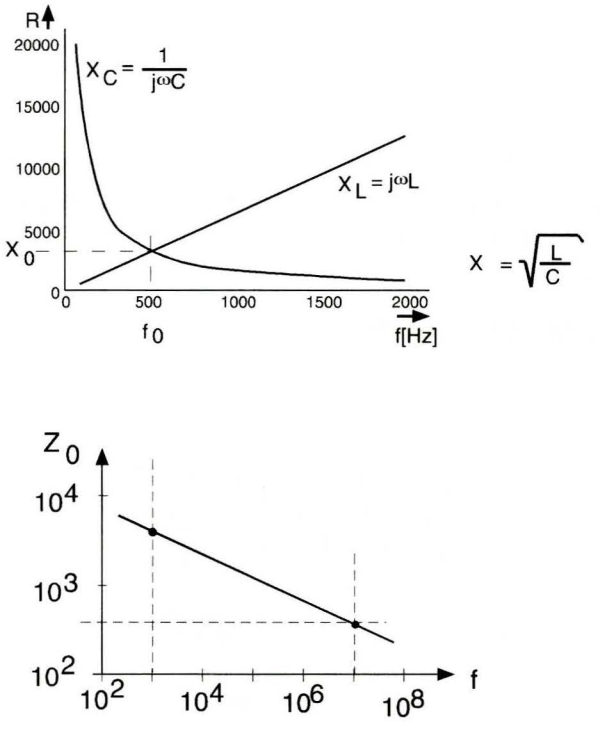



**Figure 1.62 -** Au point d'intersection des courbes de réactance, $X_C = X_L$. C'est à ce point que la résonance est atteinte (en haut).
En bas : diagramme auxiliaire pour la conception d'un circuit oscillant équilibré.

À l'aide de cette valeur de $X_0$ (réactance à la résonance), on peut déterminer l'inductance et la capacité dans les formules

$$L = \frac{X_0}{\omega} \quad \text{et} \quad C = \frac{1}{\omega \times X_0}$$

## Transformation des valeurs de L et C

Les valeurs calculées pour L et C sont remplacées par des valeurs normalisées des séries E sans changement de la fréquence de résonance. Il est possible pour cela de choisir un condensateur de valeur normalisée et d'utiliser une inductance variable (à noyau réglable) pour produire la fréquence voulue. On commence par calculer la pulsation $\omega_0$ ($\omega_0 = 2\ \pi\ f$) suivant la formule :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 \times C_0}}$$

On calcule ensuite les valeurs transformées de L et C avec les formules :

$$L_1 = \frac{1}{\omega_0^2 \times C_1} \text{ et } C_1 = \frac{1}{\omega_0^2 \times L_1}$$

Dans la pratique il faut, en plus des calculs d'inductance et de capacité proprement dits, prendre en compte des éléments comme la résistance interne, le facteur de qualité et le facteur de pertes.

### 1.4.9 Réalisation des bobines

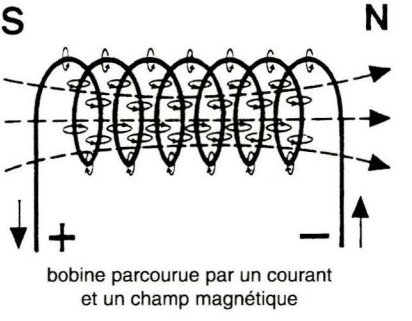



**Figure 1.63 -** Champ magnétique d'une bobine traversée par un courant.

Toutes les bobines que nous utilisons sont de fabrication industrielle, de façon à garantir une standard de qualité élevé et une bonne compatibilité en cas de remplacement d'une bobine. Les bobines sont faites de fil de cuivre émaillé, lequel offre de bonnes caractéristiques électriques tout en se laissant travailler sans trop de frais. La fabrication fait appel à des tours à bobiner spéciaux. Ils sont constitués de deux demi-coquilles qu'on sépare après le processus de bobinage pour extraire la bobine. Le fil est bobiné aussi serré que possible, de façon à présenter l'inductance recherchée dans le plus petit volume possible. La bobine, toujours sur le mandrin, est chauffée brièvement par un courant dont l'intensité est préconisée par le fabricant. L'échauffement fait fondre la couche de vernis qui entoure le fil, ce qui rend solidaires les fils voisins. Après refroidissement et extraction du mandrin, on obtient une bobine solide.

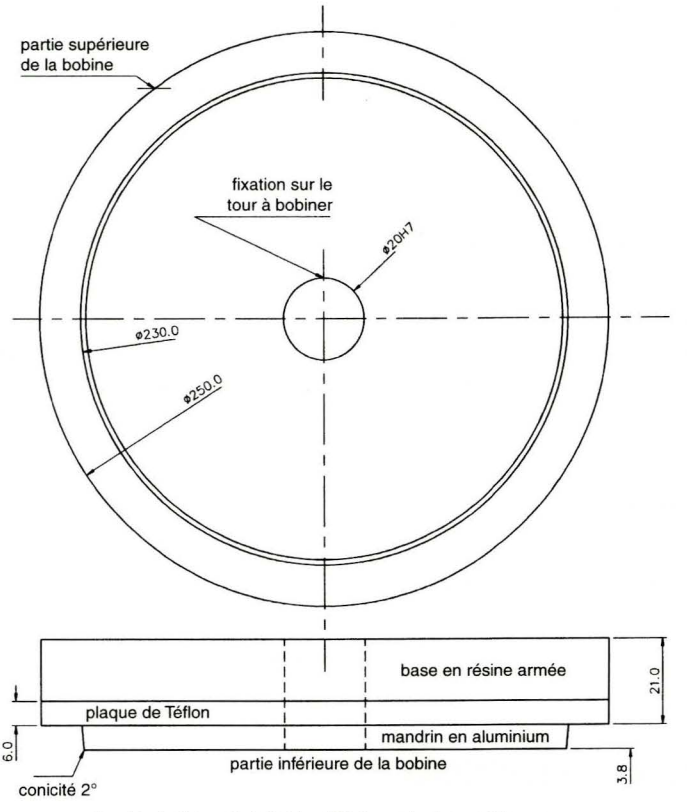



**Figure 1.64 -** Mandrin de bobinage.

Pour éviter les pertes thermiques lors de la cuisson des bobines, la base du mandrin est réalisée le plus souvent en Pertinax ou en résine. Les joues sont en téflon et le mandrin proprement dit, qui donne sa forme à la bobine, est en aluminium avec une forme légèrement conique pour faciliter l'extraction de la bobine.

Les grandes bobines sont faites de câbles très souples, constitués de fils divisés très fins, $256 \times 0{,}01$ mm dans notre cas, connectés en série. Vous trouverez des instructions complètes pour la réalisation d'une grande bobine dans la description du kit DBP 2010, à partir de la page 135.

Après avoir constaté qu'un métal dans le voisinage d'une bobine de détection modifie les caractéristiques électriques – principalement l'inductance – de la dite bobine, nous allons continuer par l'étude des changements qui interviennent dans le circuit oscillant et affectent entre autres l'amplitude et la phase (ou la fréquence).

En présence de très gros objets métalliques, les bobines sont portées à saturation. La saturation se reconnaît à un signal sonore continu et à sa persistance si on continue à déplacer la bobine. Notre système DBP 2010 est doté d'un réglage continu de la sensibilité et de la puissance, ce qui lui permet de localiser de très grosses pièces sans risque de saturation, même avec de petites bobines.

## 1.5 Oscillateurs

Deux types principaux d'oscillateurs nous intéressent : générateurs d'impulsions et générateurs sinusoïdaux. Le générateur d'impulsions est connu aussi sous le nom de multivibrateur, il produit des ondes rectangulaires.

### Générateurs sinusoïdaux

Ils fonctionnent le plus souvent en *push-pull* et constituent une source très stable de signal sinusoïdal, ce qui est la condition du bon fonctionnement de tout détecteur.

On obtient facilement des signaux sinusoïdaux au moyen du circuit de la figure 1.66. Bien qu'il ressemble fort, à première vue, à un montage multivibrateur, il produit des signaux sinusoïdaux grâce à la faible rétroaction. La contre-réaction contribue à la « propreté » de la sinusoïde. Par contre-réaction on entend une tension de commande appliquée ici à l'émetteur ; elle peut être réglable par un potentiomètre, son effet est opposé à celui de la tension appliquée à la base.

### Générateur sinusoïdal LC régulé

Le schéma suivant présente un oscillateur sinusoïdal LC qui nécessite peu de composants. Sa fréquence est adaptable de 900 Hz à 8 MHz et il délivre une sinusoïde très propre, c'est-à-dire exempte de distorsion. Un examen détaillé nous

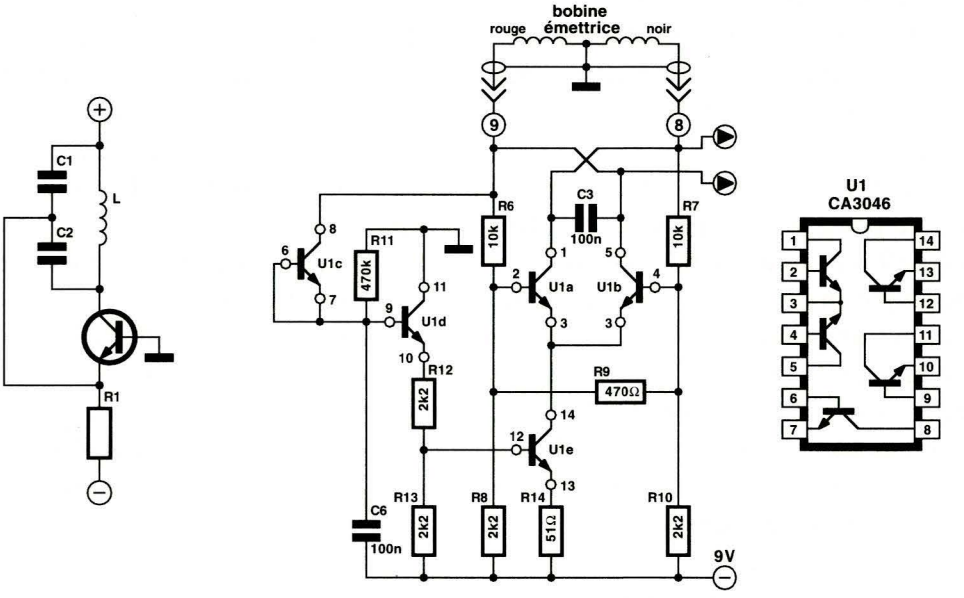



**Figure 1.65 -** Exemple de générateur sinusoïdal : l'oscillateur Collpits.
**Figure 1.66 -** Exemple d'oscillateur *push-pull* tiré d'un détecteur de métaux. (à droite)

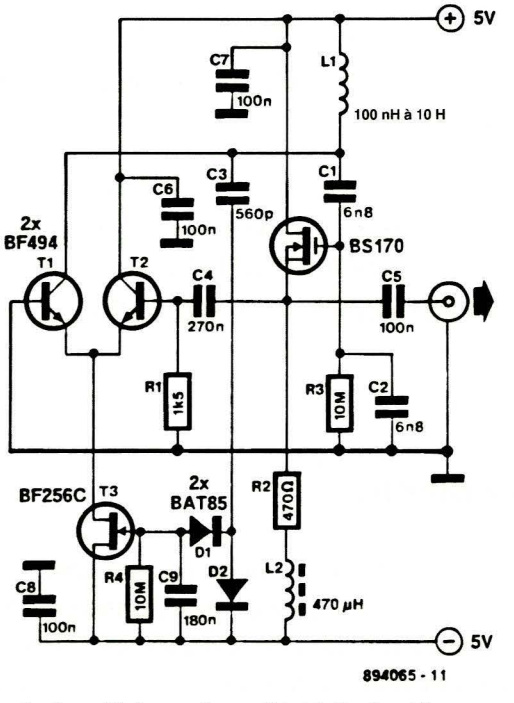



**Figure 1.67 -** Schéma de l'oscillateur sinusoïdal LC régulé.

permet de distinguer cinq sous-ensembles. D'abord le circuit oscillant constitué par $L_1$ et $C_1$ ; il est installé dans la boucle de contre-réaction d'un amplificateur $T_1/T_2$. Dans ce circuit amplificateur, $T_2$ se charge de l'adaptation d'impédance (émetteur-suiveur) et $T_1$ monté en base commune de l'amplification. Le gain est déterminé par l'impédance de $L_1$ dans le circuit de collecteur et par l'intensité du courant d'émetteur. La rétroaction s'applique, depuis la sortie de $T_1$ (collecteur), par le point nodal du diviseur de tension capacitif $C_1/C_2$, la source suiveuse du BS170, sur l'impédance d'entrée constituée de $C_4/R_1$. Le signal de sortie est appliqué au BS170 par l'intermédiaire de $C_5$. Le dispositif intéressant est la régulation d'amplitude par la source de courant construite autour du transistor à effet de champ $T_3$ (BF256C). Deux diodes Schottky redressent le signal ; la tension redressée pulsée, lissée par $C_9$, pilote le courant dans $T_3$. Cela a pour effet d'augmenter le gain de $T_1$ quand l'amplitude du signal diminue. Il en résulte une oscillation assurée et un fonctionnement sans distorsion, puisque l'amplificateur ne peut pas être saturé.

La fréquence d'oscillation se calcule par :

$$f = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{\frac{L_1 \times C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}}}$$

Les valeurs de composants représentées permettent un réglage de la fréquence entre 863 Hz ($L_1$ = 10 H) et 8,63 MHz ($L_1$ = 100 nH). La consommation est d'environ 10 mA.

Cet oscillateur est bien adapté à la mesure du facteur de qualité des bobines. Il suffit de raccorder un potentiomètre en parallèle sur $L_1$ et de le régler de façon à faire doubler le courant de l'amplificateur, on a alors :

$$Q = \frac{R_p}{2 \times \pi \times f \times L}$$

## Circuits multivibrateurs

Ces oscillateurs produisent une oscillation rectangulaire sans signal d'entrée ni autre signal de commande. Le principe de fonctionnement repose sur deux transistors qui se commandent à tour de rôle. Ce sont les tolérances de fabrication de composants théoriquement symétriques qui décident si l'un ou l'autre commence. Comme les composants qui déterminent la durée dans le circuit de base ont les

mêmes valeurs ($C_1 = C_2$, $R_1 = R_2$ et $R_3 = R_4$), on obtient des impulsions rectangulaires propres de rapport 1:1, c'est-à-dire un signal carré. Le diagramme des impulsions représente la tension sur le collecteur des deux transistors.

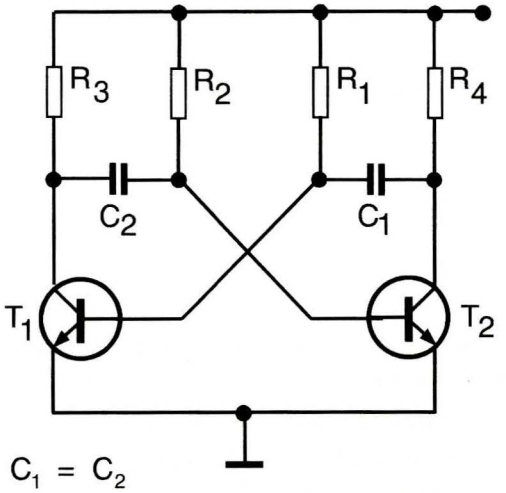
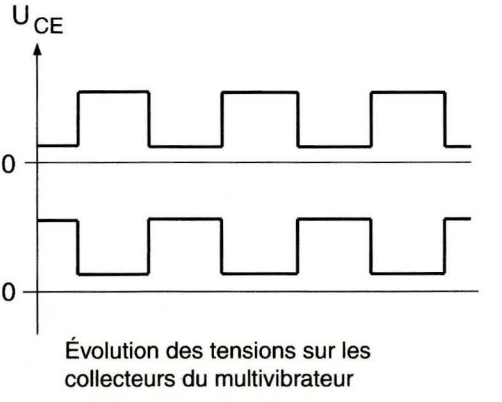



**Figure 1.68 -** Circuit de base d'un multivibrateur astable.




Évolution des tensions sur les collecteurs du multivibrateur

**Figure 1.69 -** Diagramme des impulsions du multivibrateur astable.

## Oscillateur rectangulaire à réglage numérique de fréquence

Ce circuit est construit autour du diviseur 4059, qui offre des possibilités surprenantes. On connaît les circuits les plus répandus de la série CMOS et leurs rapports de division limités aux puissances de deux. Ce circuit-ci permet de programmer un diviseur quelconque. Toutes les valeurs comprises entre 3 et 15999 sont possibles, suivant la configuration des entrées J1 à J16 et Ka à Kc.

On voit sur le schéma que le circuit est cadencé simplement par deux portes NON-ET à *trigger* de Schmitt montées en oscillateur. En principe, tout autre oscillateur est utilisable (par exemple un oscillateur à quartz). La bascule de sortie est indispensable, parce que la durée des impulsions de sortie à la broche 23 du diviseur est liée à la fréquence d'horloge. La division par deux transforme ces impulsions brèves en un carré parfaitement symétrique. Le réglage du diviseur

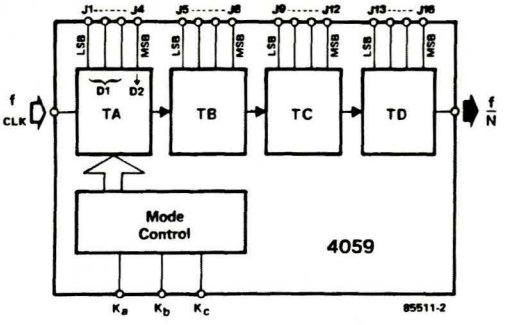



**Figure 1.70 -** Schéma interne du circuit intégré CMOS 4059.

n'est pas vraiment simple. Commençons par les entrées J1 à J16 : elles sont divisées en quatre groupes (TD, TC, TB et TA) de lignes de commande. Les lignes du groupe TA se séparent encore en deux groupes, D1 et D2. Ainsi les seize lignes J1 à J16 représentent cinq entrées de données, avec un seul bit pour celle de poids le plus faible (D2). En plus de ces seize lignes, le circuit intégré dispose des trois entrées de commande de mode (*mode control*) Ka, Kb et Kc. Leur codage donne une valeur de 2, 4, 5, 8 ou 10. Si K=10, le format de D1 est de quatre bits (J4 appartient alors à D1). Dans ce cas, la valeur du diviseur est déterminée par la formule 2. La programmation du circuit intégré peut être assurée aussi bien par un microcontrôleur que par un compteur-décompteur ou à la main (comme dans l'exemple qui suit).

Formule pour K différent de 10, diviseur = N, D1 = J1,J2,J3 et D2 = J4 :

$$N = D1 + K \times (1000 \times D2 + 100 \times TD + 10 \times TC + 1 \times TB)$$

Formule pour K = 10, diviseur = N, D1 = J1,J2,J3 et D2 = J4 :

$$N = 100 \times TD + 100 \times TC + 10 \times TB + D1$$

La figure 1.72 représente d'autres oscillateurs HF qu'on rencontre couramment.

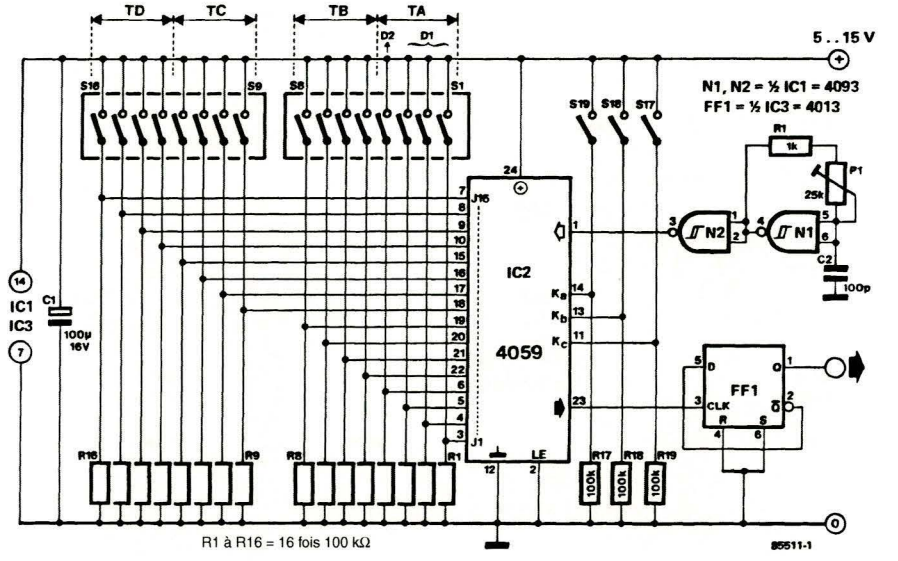



**Figure 1.71** - Schéma de l'oscillateur rectangulaire à réglage numérique de la fréquence.

| K | Ka | Kb | Kc |
|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 0 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 0 |

## 1.6 Le construire ou l'acheter ?

Les magazines ne présentent habituellement que des détecteurs aux performances limitées, avec des résultats souvent décevants dans la pratique. Ce livre propose la description détaillée de détecteurs dotés d'une grande portée, d'une bonne sensibilité et d'une bonne immunité aux parasites. Ils représentent effectivement un choix envisageable de préférence aux détecteurs du commerce, de fabrication industrielle.

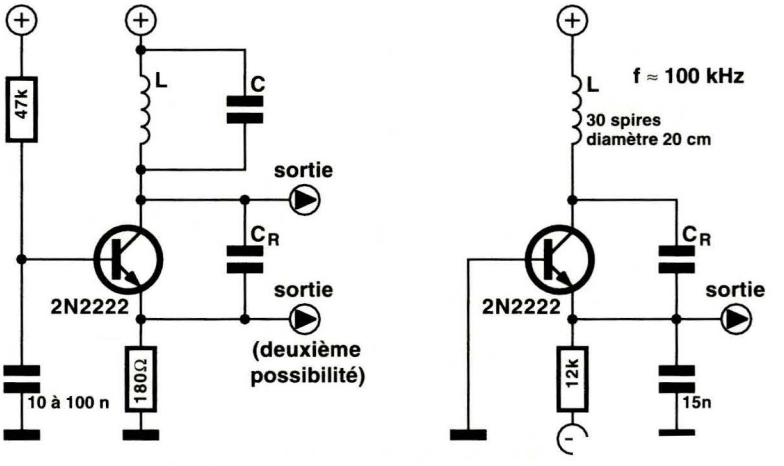



**Figure 1.72 -** Différentes configurations d'oscillateurs HF.

**Figure 1.73 -** Détecteur PI à l'œuvre avec une bobine normale de 430 mm.

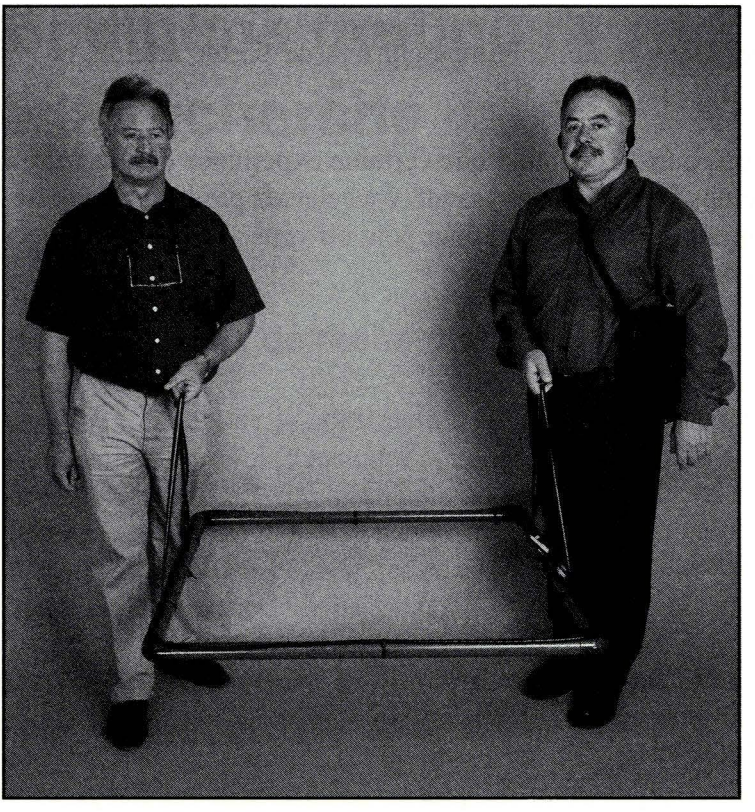


**Figure 1.74 -** Grande bobine en action.

Il va de soi qu'il existe déjà des détecteurs, nombreux et divers, qui exploitent l'un ou l'autre des principes présentés et donnent des résultats plus ou moins bons. Dans tous les cas il reste vrai qu'un seul et même détecteur ne pourra pas résoudre tous les problèmes. Avec le choix, on a aussi l'embarras du choix ! Des appareils bon marché aux environs de 125 € n'apportent pas les satisfactions qu'on en attend, mais plutôt des frustrations et de la colère à cause de la portée insuffisante, du manque de résolution, du manque de fiabilité sur le terrain. Notre expérience montre qu'il est toujours payant de faire l'acquisition d'un détecteur PI qui pourra répondre aux plus grandes exigences de l'utilisateur. La technique de cet appareil le rend très simple à utiliser et sa manipulation pose beaucoup moins de problèmes que celle d'un appareil sinusoïdal.

Pour ce qui est de la construction d'amateur, ce livre décrit deux types différents de détecteurs PI très souples, dotés d'options très intéressantes (utilisation de bobines multiples, de grandes bobines, fonction sonde, détection subaquatique)

et qui n'ont rien à craindre de la comparaison avec des matériels de fabrication industrielle. Dans ce domaine, les chiffres de portée atteinte en pratique sont éloquents.

Dès que vous aurez accumulé une certaine expérience et que votre intérêt pour ce passe-temps fascinant aura grandi, vous devrez passer à un appareil qui utilise la technique sinus (BFO, VLF) pour pouvoir vous attaquer avec succès à tous les problèmes de détection.

# 2 Conditions pratiques de la recherche

## 2.1 Trouver les zones de recherche

Avant de passer aux détails de la construction de détecteurs et à leur mise en œuvre pratique, nous allons voir dans quelles zones les recherches sont les plus intéressantes. Comme cette activité n'échappe pas au champ d'application de la Loi, nous allons aussi nous intéresser aux textes applicables. Vous trouverez quelques indications utiles dans l'appendice de ce livre sous le titre « Règles pour le chasseur de trésor », à partir de la page 160.

Il est possible en principe n'importe où sur terre, ou sous l'eau, de détecter des objets de grande valeur ou sans valeur, mais aussi des objets dangereux, grenades, munitions, bombes etc. Comme l'être humain est doué de la faculté particulière de communiquer, une conversation est toujours utile, en particulier avec des gens plus âgés ; de nombreux trucs obtenus de cette façon méritent d'être rassemblés dans un fonds particulier. Naturellement, l'étude de l'histoire locale de la colonisation, des champs de bataille, des installations ou camps de prisonniers apporte aussi des indications propres à enrichir ce fond. Il ne faut pas négliger non plus les constructions sur les frontières antiques (*limes* de l'Empire romain), les vestiges de châteaux médiévaux et de fortifications, les bunkers récents, les galeries de mines abandonnées qui ont pu servir de cachette ; tout cela est exploitable.

Des épaves d'avions abattus lors des combats aériens de la dernière guerre mondiale sont enfouies jusqu'à six mètres de profondeur ; les trouver, en particulier au moyen de grandes bobines ou de la technique du magnétomètre, se révèle rentable : un moteur d'avion de ce genre se chiffre jusqu'à cinq mille euros dans les cercles d'amateurs.

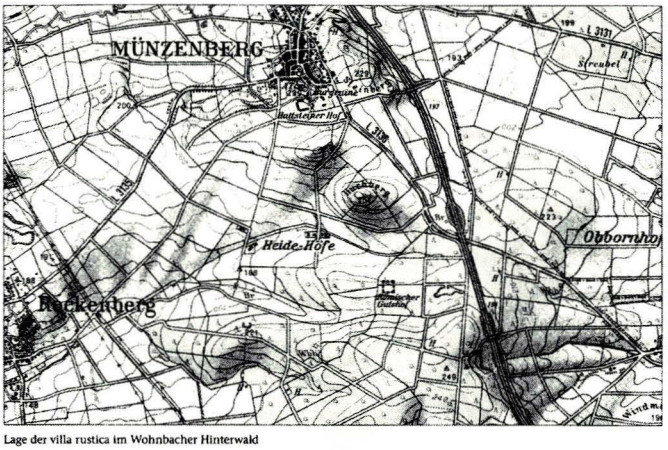
Dans le domaine de la recherche aquatique et subaquatique, on s'intéressera naturellement aux naufrages de toutes sortes, aux gués par où traversaient hommes et animaux, aux rivages habités et aux sources.

Dans les champs et les prairies, on peut souvent repérer des traces d'habitation enfouies dans le sol par des indices comme une croissance moindre des céréales, une coloration plus foncée des chaumes et des feuilles sur les murs ; ce sont en général des sites faciles à explorer.

**Figure 2.1 -** Exploration à la sonde en rase campagne.

Naturellement, nous ne pouvons pas nous dispenser d'avertir les chercheurs des dangers particuliers : la plus grande prudence est de mise lors de l'exploration des mines abandonnées, galeries, cavités, stations de pompage. Les impondérables dans ces environnements peuvent présenter un danger de mort. Il n'est pas facile de donner des règles générales qui permettraient de travailler en sécurité dans ces zones, parce que chaque endroit présente ses particularités et ses dangers propres. Faites toujours prévaloir les plus grandes précautions et la plus grande prudence, ne vous placez jamais dans des situations dont vous ne sauriez pas évaluer les dangers potentiels.

Lors de l'exploration de galeries, cavités etc. laissez toujours à quelqu'un des informations sur l'endroit que vous comptez visiter, de façon à pouvoir compter sur une aide extérieure en cas d'urgence. En prévision de tels cas, ayez toujours des vêtements imperméables et résistants, des chaussures solides, une lampe de




Lage der villa rustica im Wohnbacher Hinterwald

Ansicht einer villa rustica (Illustration: A. Marzell)

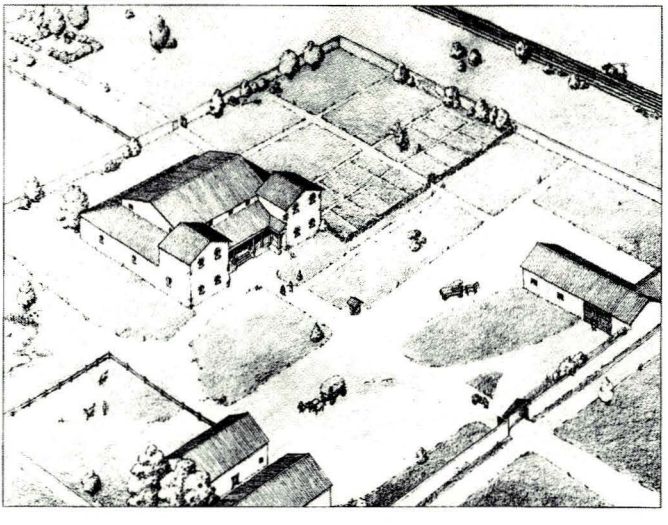


**Figure 2.2 -** Situation d'une *villa* antique.

poche et des piles de rechange, un casque de sécurité et une bonne corde. Il est prudent aussi d'avoir des fusées de détresse et de ne pas oublier une trousse de pharmacie.

Il faut toujours s'attendre, dans les zones de sources et de puits, à des accumulations de gaz qu'on ne peut pas reconnaître par l'odorat. Un détecteur de gaz simple serait une bonne assurance-vie, parce qu'il existe des risques d'empoisonnement ou d'explosion. Naturellement, il est interdit de fumer.

Dans les zones de maisons et bâtiments de toutes sortes, on s'en tire au mieux avec les sondes dont nous avons examiné le principe dans la partie précédente. Elles permettent, grâce à la concentration de leur champ (elles sont construites comme des dipôles), des localisations ponctuelles très précises, même dans des zones complètement contaminées par des métaux.

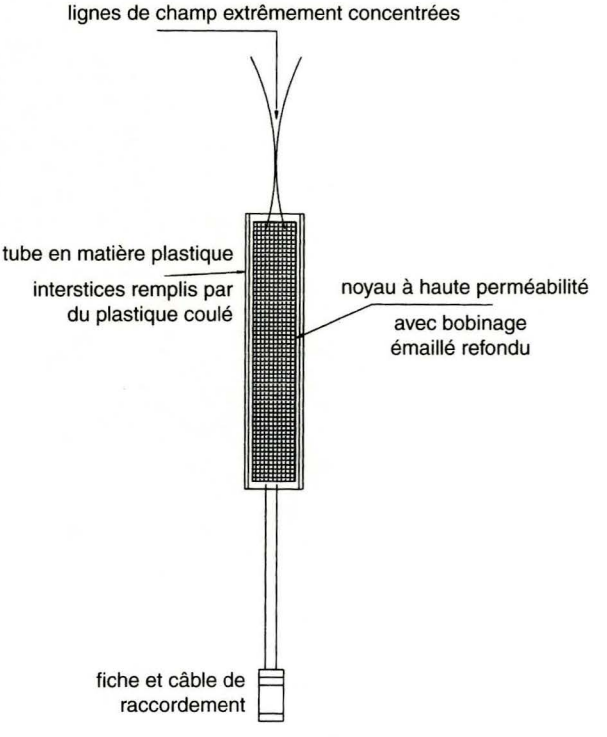



**Figure 2.3 -** Une sonde avec ses lignes de champs très concentrées.

La complexité du sujet est trop grande pour que ce livre traite davantage qu'un extrait limité des bases de la détection.

Les endroits les plus appropriés restent :

- plages (en particulier les dunes)
- aires de jeux (en particulier à proximité des tremplins et des balançoires)
- sources, puits, grottes (soyez très prudents, à cause des risques d'effondrement et autres dangers)

- les châteaux, fortifications, remparts, *redoutes*, lieux de culte, monuments, réseaux de chemins, d'assainissement, zones désertes, exploitations agricoles, ceintures fortifiées (on reconnaît de loin la structure des fortifications)
- fermes, villages, colonies abandonnés (désertés en une nuit au moyen âge à cause d'épidémies, de peste par exemple, ou de l'arrivée de seigneurs guerriers)
- sommet de collines, points élevés, visibles de loin
- champs de batailles de toutes les époques (sur terre et sous l'eau)
- frontières de l'empire romain (*limes*) et fortifications
- cartes géographiques des anciennes dénominations (éventuellement photos aériennes)
- terrassements de toutes sortes (la récolte est toujours bonne sur les remblais des centres villes ou des anciennes villes)
- grands arbres anciens, comme les chênes, hêtres, ifs et autres essences à croissance lente, situés sur des hauteurs et qui ont toujours représenté des cachettes potentielles pour toutes les générations. Si en plus il y a une source à proximité, vous avez de bonnes chances de détecter quelque chose.

Respectez les dispositions légales et comportez-vous correctement.

Si vos recherches vous amènent sur des restes humains, des pierres tombales, du charbon de bois, avertissez immédiatement les autorités.

Si vous trouvez des armes, grenades, munitions, mines ou autres objets dangereux, marquez précisément l'endroit et signalez aussitôt votre trouvaille au poste de police ou de gendarmerie le plus proche. Les démineurs feront alors le nécessaire pour écarter tout danger. Votre intervention sera utile à tous, la société vous en sera reconnaissante et vous donnerez une image positive de la confrérie des chasseurs de trésors.

Vous trouverez d'autres indications plus loin dans l'appendice A3 « Code de conduite du chasseur de trésor ».

## 2.2 Exploration raisonnée en rase campagne

Naturellement il faut veiller, pour entreprendre la détection, à porter dans votre habillement aussi peu de métal que possible. Trousseaux de clefs, montre-bracelets, boucles de ceintures ou même chaussures de sécurité à bout en acier :

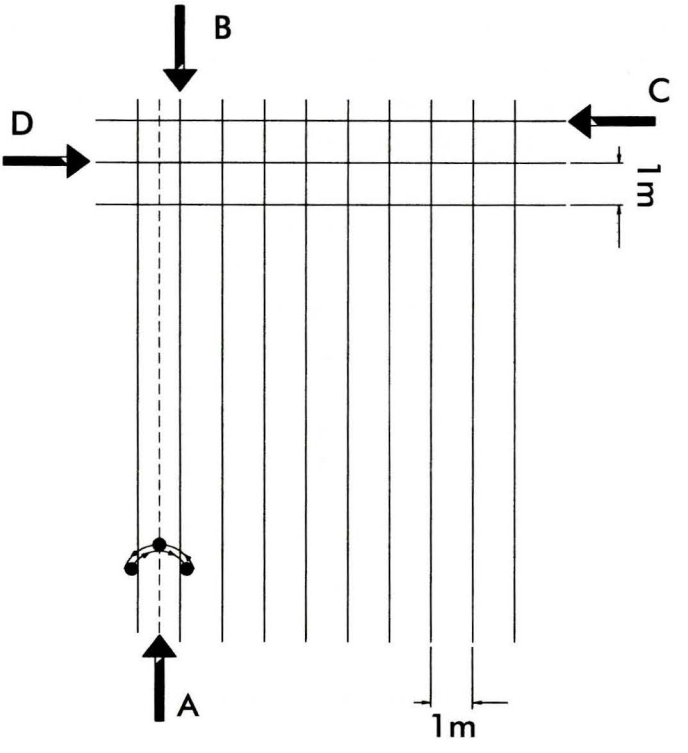



**Figure 2.4 -** Découpage de la zone de recherche en couloirs longitudinaux et transversaux. En marchant, faites osciller la bobine de détection de façon à superposer les pistes.

voilà qui risque de causer beaucoup de déceptions. Attention à tout cela en particulier avec les magnétomètres, qui en plus doivent être alimentés par des accumulateurs amagnétiques, de même qu'avec les grandes bobines.

Aussitôt rendu sur les lieux que vous comptez explorer, réglez votre bobine parallèle au sol. Avant de commencer, prenez vos repères sur des points caractéristiques du paysage, ou mieux : quadrillez et jalonnez d'avance la zone de recherche. C'est important si vous voulez promener votre bobine de façon optimale sur toute la surface de la zone de recherche. Vous éviterez ainsi de passer deux fois au même endroit et vous en laisserez le moins possible vous « passer sous le nez ». Constituez par exemple des « couloirs » contigus d'un mètre de large que vous longerez successivement (et que vous parcourrez ensuite en travers par mesure de sécurité). Marchez d'un pas régulier, le buste droit pour ne pas

trop vous fatiguer ; faites osciller la bobine latéralement de façon à superposer les plages du sol. Marquez la position des objets avec des branches ou autre chose de bien visible, de façon à reprendre par la suite une détection plus précise.

Dans le cas où vous sortiriez en groupe avec des appareils sinusoïdaux, veillez à maintenir un écart de cinq à six mètres entre les porteurs de détecteurs ; avec les systèmes PI, portez cette distance à dix ou quinze mètres. Ce n'est pas votre voisin que vous cherchez à détecter !

## Mesures croisées à 90°

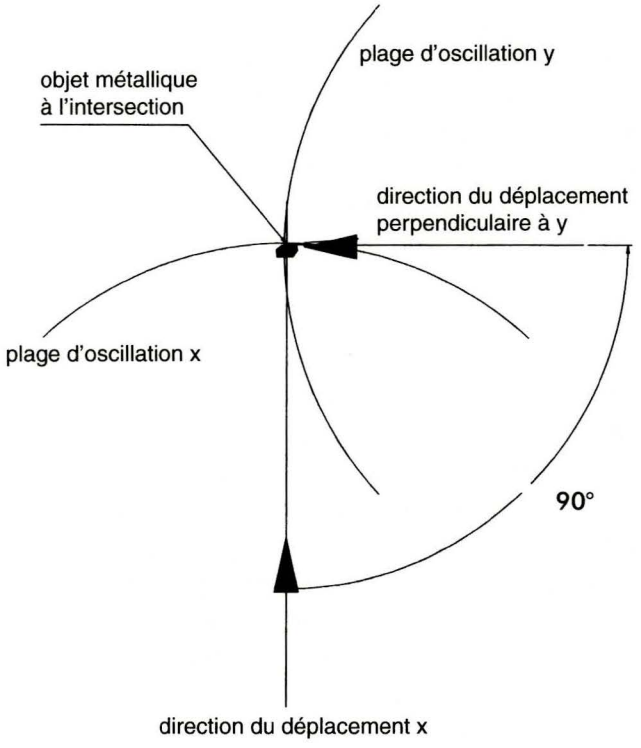



**Figure 2.5 -** Détermination de la position par la mesure à 90°.

Dès qu'un objet a été localisé, il faut déterminer sa position exacte. De notre propre expérience, il ressort que la mesure dite « à 90° » est la mieux adaptée. Elle consiste simplement à faire osciller la bobine au-dessus de l'objet jusqu'à obtenir l'intensité maximale du signal sonore. Ensuite faire osciller la bobine suivant une

direction perpendiculaire au-dessus du même objet. L'objet se trouve au point d'intersection des lignes d'intensité sonore maximale. Si la zone de détection tombe sur un très gros objet, réduisez la puissance du détecteur jusqu'à ce qu'un maximum soit clairement reconnaissable.

## 2.3 Technique et outillage pour les fouilles

Pour déterrer à coup sûr les objets détectés, métalliques ou non, ne vous laissez pas emporter par la joie de la découverte ; n'oubliez pas que votre trouvaille est encore momentanément un objet inconnu et potentiellement dangereux, comme une bombe, une grenade ou des munitions. Une manipulation inadaptée risque de provoquer l'explosion, cela représente un danger de mort pour vous comme pour les autres. N'attaquez jamais les couches de terre fébrilement, brutalement, violemment, à la bêche ou au pic. Un outillage léger, comme un vieux tournevis ou quelque chose de comparable, permet de sonder avant de creuser. On commence cette recherche préalable d'un côté, pour se déplacer lentement vers le centre. Non seulement cette méthode est plus sûre, mais en plus elle est très efficace, car il arrive souvent qu'on prenne plusieurs objets groupés pour un seul.

Pensez toujours à l'environnement quand vous déterrez votre trouvaille. Détachez proprement les mottes de terre, déposez-les sur le côté, de façon à pouvoir, une fois votre trouvaille extraite, refermer la fouille et ne pas laisser derrière vous un piège pour un piéton éventuel, le propriétaire des lieux ou un chasseur. Les gens qui ont subi ce genre d'expérience avec les chasseurs de trésors font en sorte, à cause de ces incidents, que des gens comme nous ne soient plus tolérés dans le quartier. Comportez-vous correctement, pour que ce passe-temps formidable ne nous soit pas un jour interdit par la loi. Il suffit le plus souvent de demander poliment au propriétaire des lieux pour obtenir l'autorisation d'explorer des endroits privés. Malheureusement il y aura toujours des brebis galeuses pour s'écarter de la légalité.

Nous avons fabriqué nous-mêmes nos outils de terrassement avec les matériaux les plus simples. Nous avons soudé à des tiges métalliques d'environ 30 cm de longueur et 8 à 10 mm de diamètre diverses tôles et pointes. Si cela vous est possible, choisissez de l'acier inoxydable V2A (ou mieux V4A) ; ces matériaux amagnétiques introduisent beaucoup moins de perturbations que le fer ordinaire quand ils se trouvent dans le champ de la bobine de détection (détections intempestives). Ces outils vous permettent de piquer, creuser, sonder et gratter. À

l'autre bout de la tige métallique, nous avons fixé un manche de lime du commerce, pour ne pas nous blesser les mains. Ainsi vous pourrez exercer une force suffisante pour déplacer la terre et en retirer l'objet. Rien ne limite votre imagination et en définitive c'est en fonction de vos goûts que vous fabriquerez de bons ou de mauvais outils de terrassement.

Si la fabrication de vos outils vous paraît trop compliquée, vous pourrez toujours en trouver dans le commerce spécialisé. On y trouve des sondes, des pelles, des tamis et des ustensiles très divers pour chaque cas d'utilisation.

## 2.4 Autres accessoires

Le petit détecteur Merlin SXL Pro est un outil de détection très efficace, avec lequel on peut localiser très précisément l'objet après le repérage proprement dit. Cet appareil tient dans une poche de veste, il fonctionne sur une simple pile de 9 V avec une autonomie garantie d'environ 80 h. En somme un appareil pratique pour l'après-détection et la localisation. Comme la tige de détection de cet appareil pour petites pièces n'a que 1,5 cm de diamètre, il est très bien adapté à la recherche de petits objets métalliques dans les trous et les crevasses les plus petits.

Pour les sources et les crevasses dans la roche, nous recommandons les aimants permanents. On en trouve de différentes sortes dans les magasins de bricolage. Leur magnétisation est produite à la fabrication par le champ résultant d'un courant de quelque 30000 A. Cela leur confère une force magnétique élevée pour un volume relativement petit. De plus, ils sont prévus pour être utilisés sans dommage dans l'eau, même salée. Dans les conditions optimales, c'est-à-dire si toute la surface polaire est en contact avec l'objet, on peut soulever jusqu'à 64 kg de métal. Cette force magnétique élevée est utile aussi pour déterrer de petites charges : elle est nécessaire si les objets sont rouillés, peints ou isolés, et s'ils présentent une surface irrégulière. En général, on peut attacher aux aimants une corde de longueur quelconque, pour sonder jusqu'à trente mètres de profondeur ou plus.

## 2.5 Dispositions légales

Naturellement, il ne suffit pas d'acheter ou de construire un ou plusieurs bons détecteurs de métaux. Avant sa première excursion à la recherche de trésors, il faut se renseigner très exactement sur les dispositions légales locales et les dispositions générales de la protection des sites classés. À ne pas observer ces prescriptions, on risque un réveil douloureux. Il est plus que désagréable d'être pris en contravention. Pour ne pas s'exposer à des sanctions pénales, il faut s'en tenir strictement aux prescriptions légales. Les réglementations nationales sont souvent complétées par des dispositions et des interprétations locales. C'est à vous de vous renseigner pour chaque endroit où vous comptez opérer.

## 2.6 Nettoyage des objets trouvés

Pour le nettoyage manuel de vos trouvailles, enlevez la crasse de surface avec un pinceau et de l'eau savonneuse tiède. Rincez fréquemment à l'eau claire pour repérer la crasse qui subsiste. Si le pinceau n'a plus d'effet, passez à la brosse à ongles à poils naturels. Évitez les produits fortement abrasifs, le chlore et les acides, les brosses métalliques et la paille de fer. L'effet abrasif violent de ces procédés ramollit souvent les contours, quand il ne les détruit pas irrémédiablement. Une fois la crasse évacuée, nous conseillons de laisser l'objet vingt-quatre heures dans l'essence de térébenthine. Les objets en cuir seront d'abord nettoyés avec un savon à selle qu'on trouve dans les boutiques d'équitation, puis graissés, par exemple avec de la graisse à ballon.

Pour rendre présentable votre trouvaille plus ou moins précieuse, vous ne pouvez pas vous passer de l'électronique, en ce début de vingt et unième siècle. La technique des ultra-sons nous donne sans peine un nettoyage parfait. Les produits de nettoyages adaptés, tels qu'ils sont cités dans la suite (ce sont les fluides qui transmettent les vibrations à l'objet à nettoyer) permettent un nettoyage extraordinaire de tous les objets et leur conservation ultérieure. Comme il est possible de suspendre des objets pour les laisser tremper dans le bac, on peut nettoyer très efficacement aussi des objets gros et encombrants.

Voyons maintenant brièvement sur quels critères se base le nettoyage aux ultrasons. L'effet de nettoyage des objets de toutes sortes en milieu aqueux dépend fondamentalement des conditions suivantes :

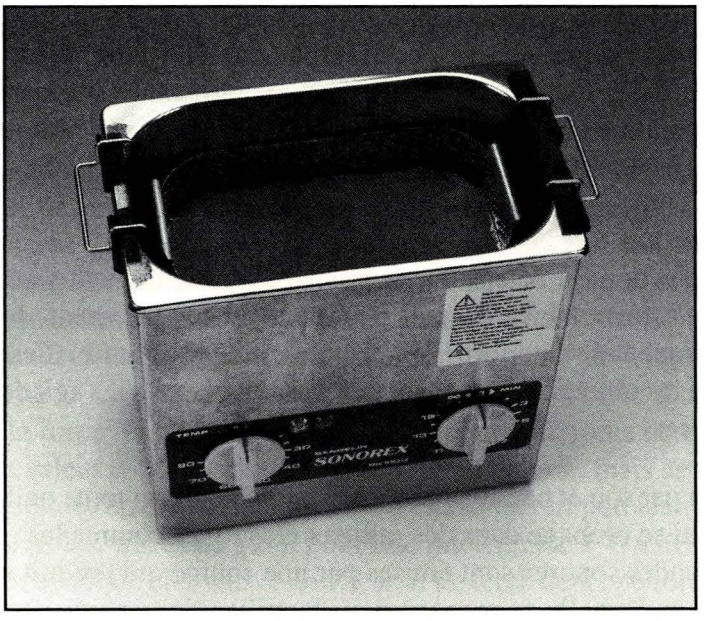



**Figure 2.6 -** Bac de nettoyage aux ultra-sons de marque Bandelin.

- **Force mécanique appliquée**
  C'est l'effet mécanique des ultra-sons qui augmente l'effet nettoyant de la solution. La crasse dans laquelle le fluide nettoyant s'est infiltré est détachée puis éloignée par la cavitation que provoquent les ultra-sons. D'autres effets mécaniques, comme la projection, l'agitation du fluide ou l'agitation de l'objet, peuvent aussi améliorer l'effet nettoyant des bains. Ces procédés se montrent quelquefois plus efficaces que les ultra-sons pour les grosses pièces, mais elles ne les remplacent pas pour les objets petits et délicats.

- **Solutions de nettoyage chimiques**
  Le fluide de nettoyage doit mouiller complètement l'objet à nettoyer, de façon à établir un bon contact mécanique avec la surface. C'est la nature de la crasse qui déterminera le choix du fluide de nettoyage. Il devra être à même d'imprégner et de décoller la crasse. Il faut absolument veiller à ce que le fluide de nettoyage n'attaque ni l'objet à nettoyer ni l'appareil de nettoyage.

- **Température de la solution**
  Tout processus chimique est accéléré par une élévation de la température. C'est vrai aussi dans notre cas. Le nettoyage optimal aux ultra-sons est obtenu à une température comprise entre 50 et 60 °C. Les bulles de cavitation sont les plus fortes à cette température.

- **Durée d'action**
  La durée d'action est déterminante pour l'efficacité du nettoyage. Des durées courtes sont souvent insuffisantes pour nettoyer correctement, des durées trop longues risquent de détériorer l'objet et même de le détruire. C'est critique surtout quand les objets à nettoyer sont en métal léger ou s'il s'agit de composants électroniques.

Qu'entend-on par son et par ultra-son ? On entend par son toute onde de pression mécanique qui se propage dans des milieux élastiques comme les gaz, fluides et solides. Les ondes sonores sont émises par une source qui produit une déformation mécanique, laquelle se propage dans le milieu de transmission. C'est pourquoi le son ne se propage pas dans le vide, faute de milieu de transmission. Le sifflement qui accompagne le rayon des canons à laser dans les films de science-fiction est donc totalement irréaliste. Les effets de la propagation du son dans le milieu dépendent essentiellement de la forme de l'onde, de la nature du milieu et de l'énergie (intensité) dégagée par la source sonore (pression acoustique). Ainsi ne se propagent dans les fluides et les gaz que des ondes longitudinales. Cela signifie que les ondes sonores appliquent des pressions et dépressions périodiques dans la direction de l'oscillation.

En acoustique (la science des sons) on distingue les plages de fréquence suivantes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 Hz | à | 20 Hz | infra-sons |
| 16 Hz | à | 20 kHz | plage audible |
| 20 kHz | à | 500 kHz | ultra-sons |
| > 500 kHz | | | hyper-sons |

On désigne par ultra-sons des ondes sonores des plages supérieures à la plage audible par l'homme. Ils peuvent contenir beaucoup plus d'énergie (« volume » plus élevé) que les sons audibles. Dans la technique des ultra-sons, on distingue en gros les applications à faible puissance (puissance < 1 W/cm$^2$, f >100 kHz

pour le test de métaux, les diagnostics médicaux) des applications à forte puissance comme le nettoyage, avec une puissance supérieure à 1 W/cm$^2$ et des fréquences inférieures à 100 kHz.

Comment s'exerce l'effet nettoyant des ultra-sons ? Les fluides sont maintenus par l'attraction des molécules (cohésion). La taille des molécules détermine la viscosité du fluide. Les ultra-sons se propagent dans les milieux fluides sous la forme d'une onde longitudinale. Les variations de pression acoustique provoquent des amincissements et des épaississements locaux du milieu. La force d'attraction pendant l'amincissement (aspiration) produit des vides microscopiques dans le fluide, ce phénomène s'appelle cavitation. À partir d'une puissance de 1 W/cm$^2$, la force d'aspiration est déjà supérieure à la force de cohésion d'un fluide, dont la valeur est de quelque 100 kp/cm$^2$ en théorie, mais se trouve ramenée en pratique aux environs de 1 kp/cm$^2$ à cause des impuretés (particules de poussière insolubles, traces de gaz). Pour une intensité de 1 W/cm$^2$ environ, soit une pression acoustique alternative de 1,8 at, il s'exerce déjà une force de traction de 1,8 kp/cm$^2$ et la dépression produit les vides microscopiques dans le fluide. Ces bulles de cavitation (les particules de poussière, de saleté et autres « points faibles » comme les surfaces de contact avec les objets en cause, se comportent comme des germes dans le fluide) peuvent se remplir d'air ou de gaz contenus dans le fluide. On distingue deux sortes de cavitation :

- **Cavitation gazeuse (fausse cavitation)**
  Les fluides contiennent le plus souvent de grandes quantités de gaz dissous ou en suspension sous la forme de bulles invisibles de diamètre inférieur à 0,1 mm). Pendant la phase de dépression, elles se dilatent à la fréquence de 25 kHz, se regroupent sous l'effet de la pression de rayonnement et grossissent au point de devenir visibles.

- **Cavitation en phase vapeur (cavitation véritable)**
  C'est seulement dans des fluides purifiés et complètement dégazés que les vides microscopiques se remplissent de vapeur. Pendant la phase de compression, ces bulles se rassemblent et produisent localement (dans des zones qui se mesurent en microns) une très forte surpression (jusqu'à 1000 at).

Les implosions produisent donc des ondes de pression qui se manifestent dans le voisinage microscopique par des accélérations mille fois supérieures à celle de l'onde ultra-sonore initiale. Comme les surfaces rugueuses ou encrassées sont aussi des germes de cavitation, les particules de crasse sont littéralement éjectées

des surfaces immergées et rejetées dans le fluide. L'efficacité de la cavitation dépend de la pression extérieure, de la température, de la fréquence du son, de la viscosité du fluide et de la surface de l'objet à nettoyer.

Les inconvénients du nettoyage aux ultra-sons sont qu'une utilisation régulière prolongée provoque un retrait notable de la matière (érosion par cavitation).

# 3 Construction des détecteurs

## 3.1 Détecteur de lignes électriques « Buzzer »

Pour nous mettre en train, commençons par la description d'un détecteur de lignes relativement simple. Ces appareils font partie des détecteurs de métaux au sens le plus large, même si leur principe de fonctionnement est tout différent.

Le « ronflement » du secteur se manifeste par des champs électrique et magnétique à la fréquence de 50 Hz ; la composante magnétique est captée par l'antenne, pour parvenir à travers une résistance de protection au circuit intégré 4069, un sextuple inverseur. Le circuit intégré est gréé de telle façon que seules les fréquences proches de 50 Hz activent le transistor 2N2222. Dès qu'une onde à 50 Hz est détectée, le transistor conduit et alimente le vibreur piézo. La taille de l'antenne a une influence déterminante sur la sensibilité d'entrée de l'appareil.

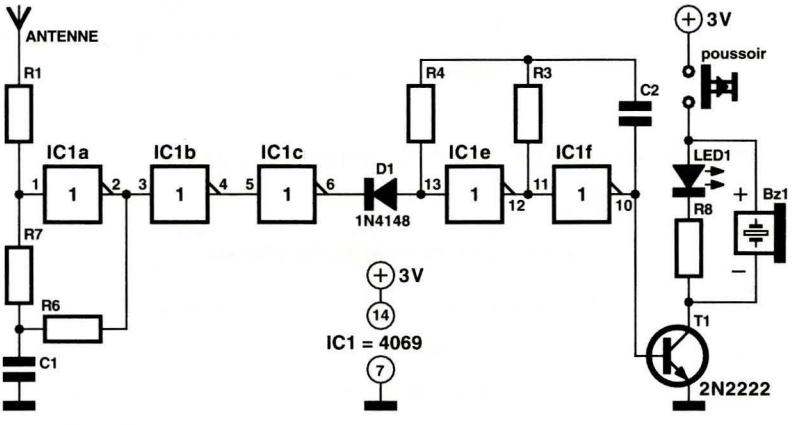



**Figure 3.1 -** Schéma du *Buzzer*. Les valeurs sont données dans la liste des composants.

Notre *Buzzer* est un appareil simple mais très utile pour détecter les lignes sous tension dans les murs, plafonds etc. Les dimensions du coffret seront d'abord déterminées en fonction de celles du circuit imprimé, tel qu'il est représenté à l'échelle 1 par la figure 3.2, ou celles d'une platine pastillée perforée si vous

choisissez cette solution. Les catalogues courants des revendeurs de composants en proposent une foule de modèles. Choisissez-en un qui soit prévu pour loger les deux piles AA ou AAA. Le vibreur peut être monté à n'importe quel emplacement dans le coffret au bout de fils de longueur quelconque. Il en va de même pour le poussoir et la LED. On commencera le câblage par les composants les moins hauts, résisteurs et diode 1N4148. On montera ensuite les condensateurs, transistors et enfin le circuit intégré (U1, CD4069). Ne soudez pas à une température trop élevée et évitez de surchauffer en restant trop longtemps au même endroit. Une fois la platine câblée, montez la LED (soit directement sur la platine, soit au bout de deux fils). Raccordez les piles et appuyez sur le poussoir « Marche ». Si le câblage est correct, l'appareil manifeste son approbation par un bip bref.

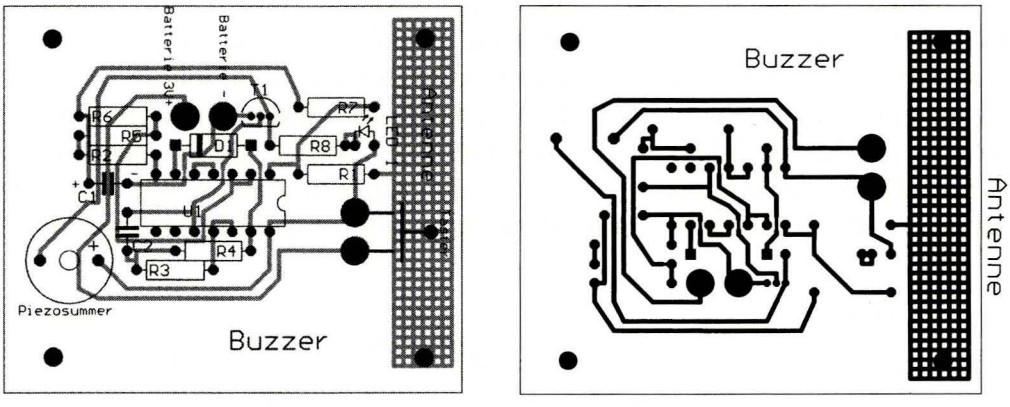



**Figure 3.2 -** Plan d'implantation et dessin des pistes du *Buzzer*.

| Liste des composants du *Buzzer* | | |
|---|---|---|
| **Résisteurs** | **Condensateurs** | **Divers** |
| R1 = 3,3 MΩ | C1 = 1 µF tantale | Poussoir NO |
| R2 = 26,7 kΩ | C2 = 820 pF céramique | Vibreur piézo actif |
| R3 = 499 kΩ | | 2 piles 1,5 V (AA ou AAA) |
| R4 = 332 kΩ | **Semi-conducteurs** | |
| R5 = 4,64 kΩ | D1 = 1N4148 | |
| R6 = 97,6 kΩ | D2 = LED rouge | |
| R7 = 8,2 MΩ | T1 = 2N2222 | |
| R8 = 38,3 Ω | U1 = 4069 | |

Nota bene : les résistances sont celles de modèles de précision à 1%. On peut parfaitement monter un résisteur de 100 kΩ au lieu de 97,6 kΩ ; autrement dit les valeurs à 5% de la série E12 conviennent.

Si vous amenez maintenant l'appareil à proximité d'un conducteur sous tension, il fait entendre un son intermittent. L'antenne est dimensionnée de façon à détecter un conducteur à 80 mm. Le conducteur est repéré quand le son est maximal, c'est-à-dire quand la fréquence de découpage est la plus élevée. Si l'appareil est trop sensible, il est possible de réduire les dimensions de l'antenne incorporée en meulant quelques pistes du circuit imprimé. Pour déterminer précisément la position, éloignez-vous de la zone repérée jusqu'à ce que le son soit juste audible et rapprochez-vous par une autre direction de l'endroit où le son était maximal précédemment. Vous avez repéré l'emplacement exact du conducteur. Avec une certaine pratique de la manipulation, vous vous trouverez en possession d'un véritable auxiliaire de travail, pour une dépense modeste (le prix total des composants est inférieur à deux euros). Vous pouvez être sûr, en perçant dans une cloison ou un plafond, de ne pas tomber sur une ligne sous tension enfouie dans le crépi, ce qui pourrait, au pire, avoir des conséquences mortelles.

La description de ce détecteur de lignes électriques constitue en fait un entraînement pour les autres appareils décrits. Pour toutes ces opérations, vous vous conformerez aux règles de sécurité en vigueur (AFNOR par exemple). La construction est assez simple et surtout, aucun réglage n'est nécessaire, si bien que vous pourrez mettre l'appareil en service sans instrument spécial de mesure ou de test. Comme les composants sont peu nombreux, il est possible aussi de les assembler « en l'air ». C'est–à-dire de se passer de circuit imprimé, en plaçant les composants sur une platine perforée et pastillée, pour les raccorder par des fils ; la disposition des composants est laissée à votre choix. Vous vous efforcerez toutefois d'avoir les liaisons les plus courtes possibles.

## 3.2 Le détecteur de métaux *8000 Nugget*

Avec ce kit et cette description, nous attaquons vraiment le domaine des détecteurs de métaux. Le système *8000 Nugget* avec deux bobines en D (une bobine d'émission $L_s$ et une bobine de réception $L_e$). Ce circuit, peu coûteux en composants, est un modèle de début intéressant et bon marché. Le principal avantage du *8000 Nugget* est qu'il détecte mieux les métaux non ferreux, comme l'or, que les objets en métaux ferreux.

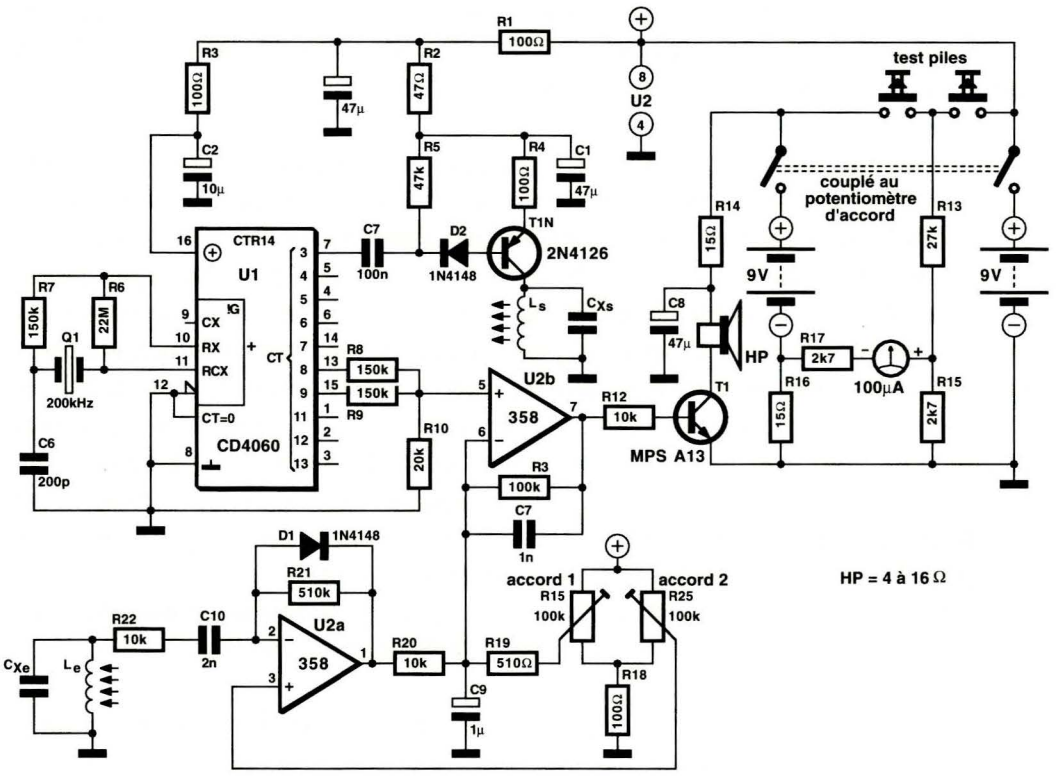



**Figure 3.3** - Schéma du détecteur *8000 Nugget*.

Le montage fonctionne, en gros, comme suit : l'alimentation électrique est assurée par deux accumulateurs compacts de 9 V, 110 mA/h de capacité. Cela permet d'une part d'émettre le signal à 12,5 kHz de 17 V environ d'amplitude ; d'autre part de faire fonctionner le générateur de son et l'indicateur analogique. Le signal d'horloge est produit par le circuit intégré CD4060, monté en diviseur binaire à quatorze étages, cadencé par un quartz de 200 kHz ; ce signal d'horloge est appliqué à la bobine d'émission par le transistor 2N4126. Grâce à un découplage convenable entre les bobines d'émission et de réception, aucun signal ne se présente à l'entrée de l'amplificateur opérationnel LM358 (U2a) en l'absence de métal. Si un métal se trouve sous la bobine de réception, un signal se présente à la sortie de U2a (broche 1) pour être amplifié par le deuxième amplificateur opérationnel LM358 et se retrouver à la sortie (broche 7). Ce signal est transmis par le transistor MPSA13 au transducteur sonore. Le réglage de sensibilité (accord ou *tuning*) est assuré par les potentiomètres P1 et P2 (accord 1 et 2).

Les capacités parallèles $C_{Xs}$ et $C_{Xe}$ (la valeur de $C_{Xs}$ devrait se trouver aux environs de 5,6 nF, celle de $C_{Xe}$ aux environs de 4 nF) seront déterminées comme suit : souder d'abord la bobine d'émission seule. Elle doit voir une tension sinusoïdale à 12,5 kHz avec une amplitude de 17 $V_{CC}$. Cette tension sinusoïdale ne doit accuser aucune distorsion ; on peut l'observer sur la collecteur de T1N (2N4126). Le point de référence pour cette mesure est la masse, à l'émission comme à la réception. Les deux bobines doivent avoir un diamètre de 7,5 pouces environ (190,5 mm). La valeur optimale de la capacité $C_{Xs}$ correspond à l'amplitude recherchée de 17 V crête à crête.

On utilisera de préférence pour ces mesures un oscilloscope analogique à deux voies avec des sondes 1:1 et 1:10. Vous obtiendrez la tension maximale en installant différents condensateurs à l'emplacement de $C_{Xs}$ (C5 sur la platine), puis en affinant le réglage par un deuxième condensateur dans les deux trous supplémentaires. Vous répéterez le processus pour la bobine de réception avec les deux condensateurs $C_{Xe}$, C11 sur la platine, jusqu'à obtenir l'amplitude maximale. Avec ce montage, vous pouvez fixer vous-même la portée optimale du détecteur, par une action adéquate sur l'inductance des bobines et les valeurs de capacité. Le décalage des deux bobines en D permet le découplage de l'émission et de la réception. Connectez l'entrée de l'oscilloscope à l'entrée de la bobine de réception (calibre de 50 mV par division). Écartez maintenant les bobines l'une de l'autre de façon à réduire l'amplitude jusqu'à ne plus voir qu'une amplitude de 50 mV environ. Une fois cette amplitude atteinte, modifiez l'orientation des bobines jusqu'à obtenir un minimum. C'est exactement dans cette plage, dite du passage par zéro (aucun son n'est plus audible), que se trouve la sensibilité maximale du détecteur. Le réglage de base des potentiomètres ajustables devrait alors se trouver à peu près en position médiane. Si un déplacement ultérieur des bobines en double D empêche de retrouver l'annulation du signal sonore, compensez grossièrement le réglage par le potentiomètre *accord 1*. Le réglage fin, jusqu'à l'extinction complète du son, se fait par le potentiomètre *accord 2*. Ce travail de réglage vous permet de toucher du doigt ce que sont l'accord correct et le découplage, et de comprendre comment fonctionne ce type de détecteur. Rappelons ici que ce détecteur est de loin le plus simple de tous les montages décrits dans ce livre et qu'il n'est conçu que comme une entrée en matière. Selon la précision de l'accord, on peut atteindre les portées suivantes (mesurées en laboratoire avec un ronflement léger) :

- ✦ alliance en or 750 18 cm
- ✦ pièce en argent D = 35 mm 24 cm
- ✦ tôle d'alu 45 × 45 mm 28 cm
- ✦ morceau de fer 50 × 25 mm 29 cm

Plutôt bon pour un montage aussi simple, non ?

### 3.2.1 Câblage de la platine

L'assemblage au moyen du plan d'implantation de la figure 3.4 ne devrait pas soulever de difficultés. Procédez comme pour le *Buzzer*, sauf pour ce qui est du montage en l'air ; il ne faut pas l'envisager parce que ce montage-ci est trop compliqué. Les pages suivantes proposent le plan d'implantation et la liste des composants.

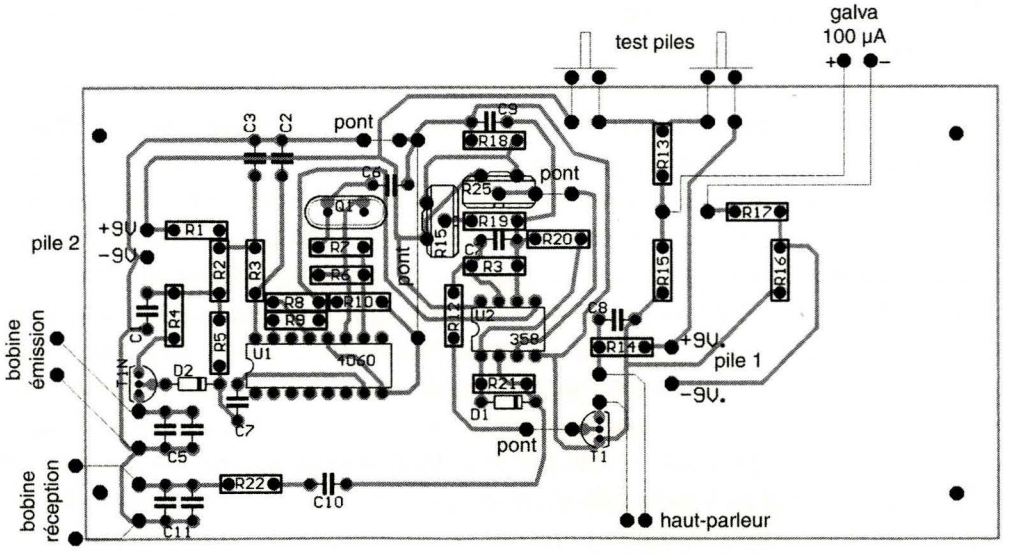



**Figure 3.4 -** Plan d'implantation du détecteur de métaux *8000 Nugget*.

### 3.2.2 Phases du montage

1. Équipez la platine complètement. Attention : montez si possible des potentiomètres multi-tours munis d'un blocage. Si vous n'en trouvez pas, vous assurerez le blocage par une goutte de vernis. Les raccordements se feront

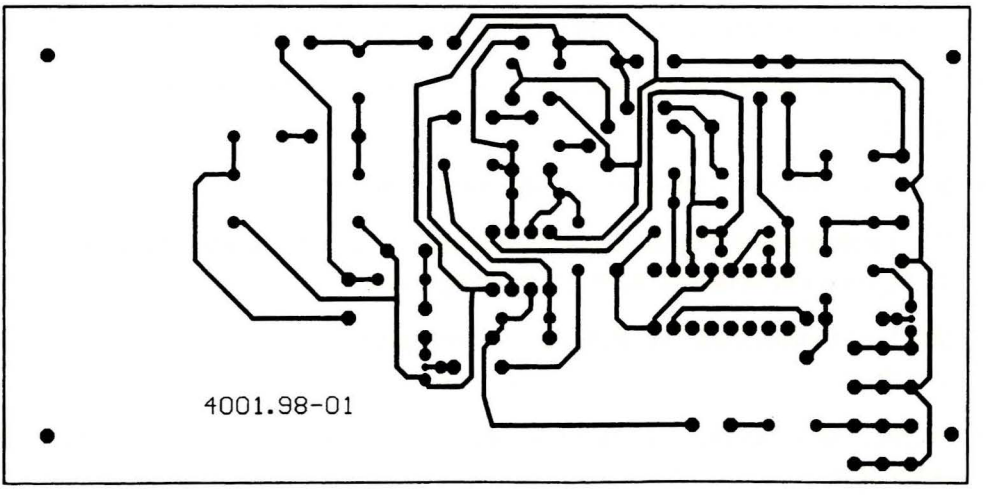



**Figure 3.5 -** Dessin des pistes du détecteur de métaux *8000 Nugget.*

**Liste de composants *8000 Nugget***

| **Résisteurs** | **Condensateurs** | **Divers** |
|---|---|---|
| R1,R3,R4,R18 = 100 Ω | C1,C3,C8 = 47 µF chimique | poussoir à deux contacts NO |
| R2 = 47 Ω | C2 = 10 µF chimique | haut-parleur 4 à 16 Ω |
| R5 = 47 kΩ | C4 = 100 nF | 2 piles compactes 9 V |
| R6 = 22 MΩ | C5 = $C_{Xs}$, voir texte | galvanomètre 100 mA |
| R7,R8,R9 = 150 kΩ | C6 = 200 pF | quartz 200 kHz |
| R10 = 20 kΩ | C7 = 1 nF | 4 ponts en fil |
| R11 = 100 kΩ | C9 = 1 µF chimique | Bobines émission-réception ($L_s$ et $L_e$) : 25 spires fil de cuivre émaillé diamètre 0,5 mm, diamètre moyen du bobinage 190,5 mm, avec blindage |
| R12,R20,R22 = 10 kΩ | C10 = 2 nF | |
| R13 = 27 kΩ | C11= $C_{Xe}$, voir texte | |
| R14,R16 = 15 Ω | | |
| R15,R17 = 2,7 kΩ | **Semi-conducteurs** | |
| R19,R21 = 510 kΩ | D1,D2 = 1N4148 | |
| P1,P2 = 100 kΩ, ajustable multi-tours | T1 = MPSA 13 | |
| | T2 = 2N4126 | |
| | U1 = CD4069 | |
| | U2 = LM 358 | |

impérativement par des fils blindés. Faites des liaisons courtes. La platine sera installée impérativement dans un coffret en plastique (pas de métal).

2. Blindez la bobine d'émission-réception selon la description du VLF 770 (page 111).
3. Soudez la bobine d'émission et son condensateur en parallèle.
4. Recherchez au moyen de diverses valeurs de capacité la tension maximale de 17 $V_{CC}$ (selon la description des pages précédentes).
5. Soudez maintenant la bobine de réception et recherchez l'amplitude maximale.
6. Pressez sur les bobines de façon à leur donner la forme d'un D, puis placez les côtés aplatis l'un contre l'autre.
7. Déplacez les deux bobines jusqu'à ce que l'oscilloscope affiche 50 mV. Faites maintenant l'accord avec les deux potentiomètres pour obtenir la sensibilité maximale.
8. Immobilisez la bobine avec de la résine époxy de façon à empêcher toute altération du découplage des bobines. Avant la coulée, vérifiez tout de même la bonne position et le découplage (remesurez à l'oscilloscope).
9. Il ressort de notre expérience que la valeur de $C_{Xs}$ (position C5 du plan d'implantation) est de 5600 pF et celle de $C_{Xe}$ (position C11) de 4000 pF environ, avec une bobine de 60 spires de 190 mm de diamètre en fil de 0,5 mm. Ce sont vos propres expériences qui vous donneront la valeur de capacité optimale en fonction des dispersions. La largeur de l'intersection entre les deux bobines est de 11 mm environ, mesurés à l'intérieur (voir la figure 3.6).

Avant d'en venir à la construction des détecteurs de métaux VLF 770 et DBP 2010, puis à leur réglage et à leur mise en service, signalons que l'un et l'autre sont déjà disponibles sous la forme de kits complets, avec tous les composants nécessaires, y compris coffret, faces avant et arrière, bobines et leur enveloppe, fixations, résine (composants A et B d'un plastique spécial, qui présente une très bonne constante diélectrique), piles et canne télescopique. Le client trouve les faces avant, arrière et intermédiaire usinées selon les dessins fournis. Ainsi la construction se limitera au câblage de la platine, à l'assemblage des sous-ensembles et instruments et au moulage des bobines. Toutes les étapes de la construction sont expliquées en détail. De nombreuses illustrations et dessins

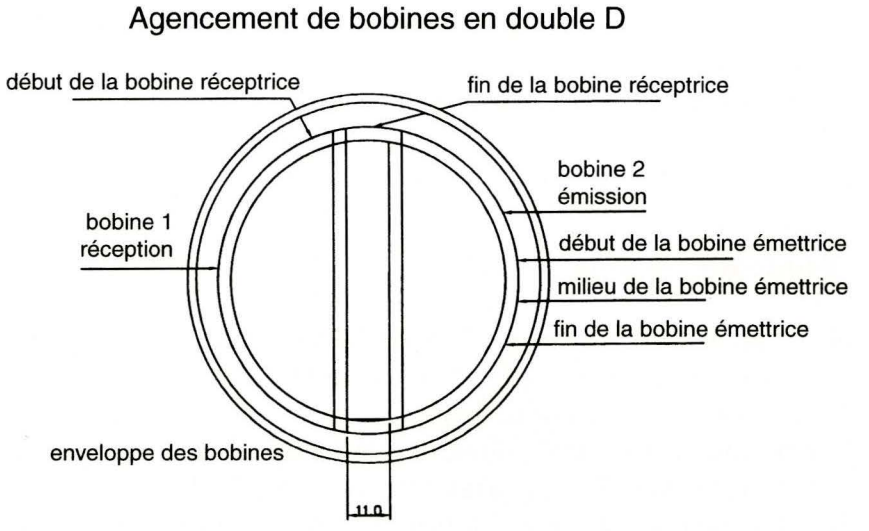



**Figure 3.6 -** Construction de la bobine en double D : pousser les bobines de façon à créer une ouverture de 11 mm environ.

techniques, propres à faciliter la compréhension, accompagnent les kits. Ainsi même les constructeurs les moins expérimentés devraient réussir à construire un détecteur de métaux.

Vous trouverez les indications de prix et de disponibilité de chaque détecteur dans l'appendice. Les kits décrits sont éprouvés en pratique ; ils mettent en œuvre des techniques capables de donner des résultats supérieurs à la moyenne en matière de portée, de résolution et de reproductibilité. Naturellement, vous pouvez aussi bien vous procurer les composants dans le commerce spécialisé et attaquer la construction vous-même.

Parmi les sources de composants, citons Farnell qui fournit à l'auteur tous les composants des kits décrits ici.

## 3.3 Le détecteur de métaux VLF 770

La description complète de cet appareil commence la série des détecteurs les plus sensibles et les plus efficaces dont la construction est traitée dans ce livre.

Le modèle VLF 770 est un système sinusoïdal qui fonctionne en mode TR (*Transmitter-Receiver*, émetteur-récepteur). Les initiales VLF signifient *Very Low Frequency*, très basse fréquence, et il se trouve que l'appareil fonctionne effectivement à très basse fréquence. Dans notre cas, avec les inductances et capacités indiquées, elle est de 9 kHz environ. Cela autorise une détection sans parasites, une bonne portée et une résolution élevée.

### 3.3.1 Étude du schéma

Le métal se signale au détecteur par le biais de deux bobines, l'une pour l'émission, l'autre pour la réception ; elles se recouvrent partiellement et forment un double D. Ce système aussi utilise deux piles de 9 V de 110 mA/h de capacité. Le signal émis avec les valeurs indiquées pour l'inductance et la capacité atteint une amplitude de quelque 18 $V_{CC}$, à une fréquence de 8,5 kHz environ. Le circuit intégré IC1, un réseau de cinq transistors (CA 3040), est gréé en oscillateur *push-pull* de façon à fournir un signal très stable en fréquence qui est appliqué à la bobine d'émission. Du côté réception on voit opérer, avec des bobines correctement découplées, l'amplificateur IC4 avec une amplitude maximale en sortie de 5 mV environ (broche 6). Ce signal est filtré par un passe-bande pour être appliqué au deuxième étage, l'amplificateur opérationnel IC5. On trouve maintenant le signal amplifié à sa sortie (broche 6). Les amplificateurs IC6 et IC7 servent à la compensation de sol, leur signal de correction (déphasage) est appliqué à IC4 par l'intermédiaire de IC7. Ce circuit de compensation du sol permet de passer par-dessus toutes les propriétés particulières du sol. L'amplificateur de différence IC3 détecte le déphasage ; son signal de sortie (broche 6), après un nouveau filtrage passe-bas, attaque le transistor MPSA13 à travers IC8 (LM 741) pour produire le signal sonore. Le compteur IC2 (CD4017) divise la fréquence pour produire un signal audio aux environs de 450 Hz.

L'oscillateur se distingue par sa grande stabilité (très faible dérive thermique liée aux composants et très faible bruit). La bobine émettrice est dotée d'une prise médiane. Lors de la phase d'émission, elle émet une sinusoïde de 18 V d'amplitude à 9 kHz. Si un métal arrive à portée des bobines, il naît une tension de différence qui parvient à l'étage d'entrée par la bobine de réception parce que le découplage entre les bobines est rompu. La réjection du sol est obtenue par le potentiomètre à 10 tours « Réjection sol » ; la compensation en l'air se fait par le potentiomètre à 10 tours « Accord ». L'appareil est équipé d'une bobine de

recherche de 230 mm de diamètre, il s'accorde en l'air et au sol avec seulement deux potentiomètres. Simplicité de mise en œuvre, coût de réalisation réduit plaident en faveur du VLF 770.

### 3.3.2 Préparation du coffret

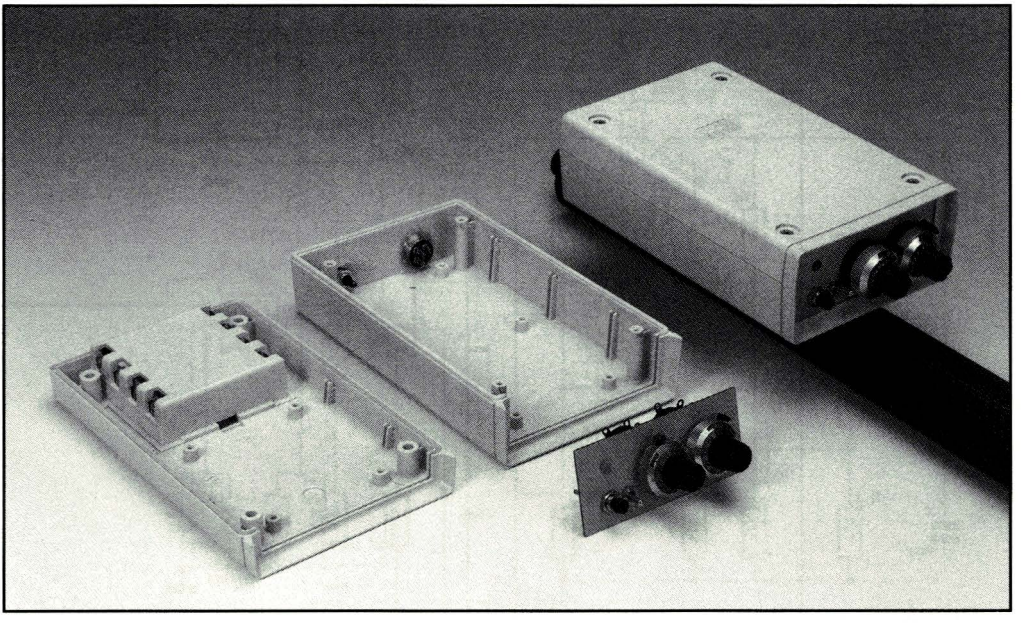


**Figure 3.7 -** Le coffret OKW recommandé pour le détecteur VLF 770.

Le coffret OKW se distingue par sa fonctionnalité alliée à l'élégance de son dessin ; il est conçu en deux demi-coquilles. Comme le logement des deux piles de 9 V est prévu dans l'une des demi-coquilles (partie inférieure), il est possible de construire un appareil des plus compacts. Le pont entre les deux piles est prévu dès la fabrication, inutile de s'en soucier. Attention tout de même à la position des deux piles, de façon à éviter une inversion de polarité. Repérez au feutre la position correcte des piles dans leur logement. Les perçages pour les douilles du casque et de la bobine sont préparés d'avance.

Équipez maintenant l'autre demi-coquille des connecteurs pour :

- le casque (douille Cinch)
- les bobines (douille à quatre points).

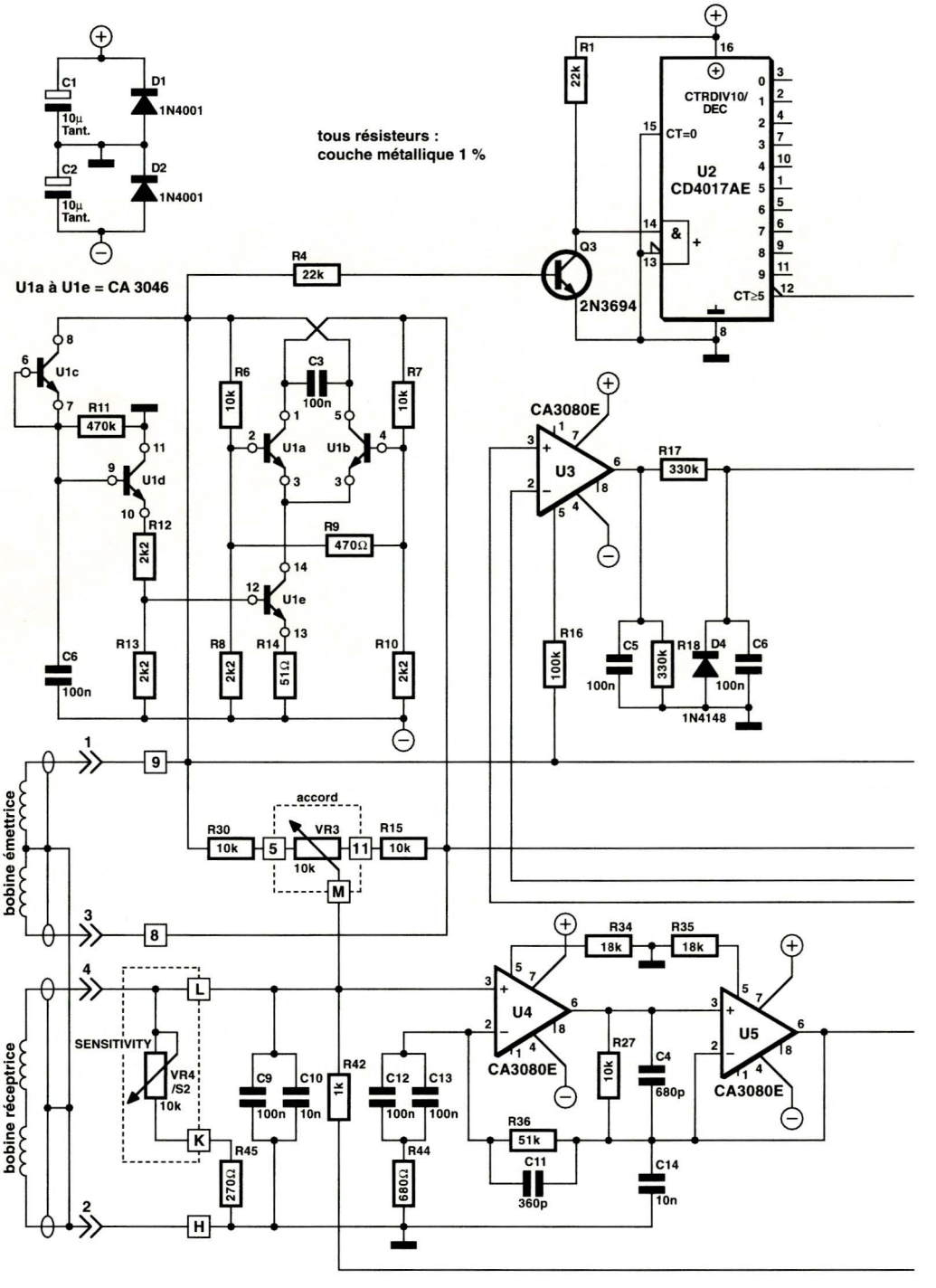
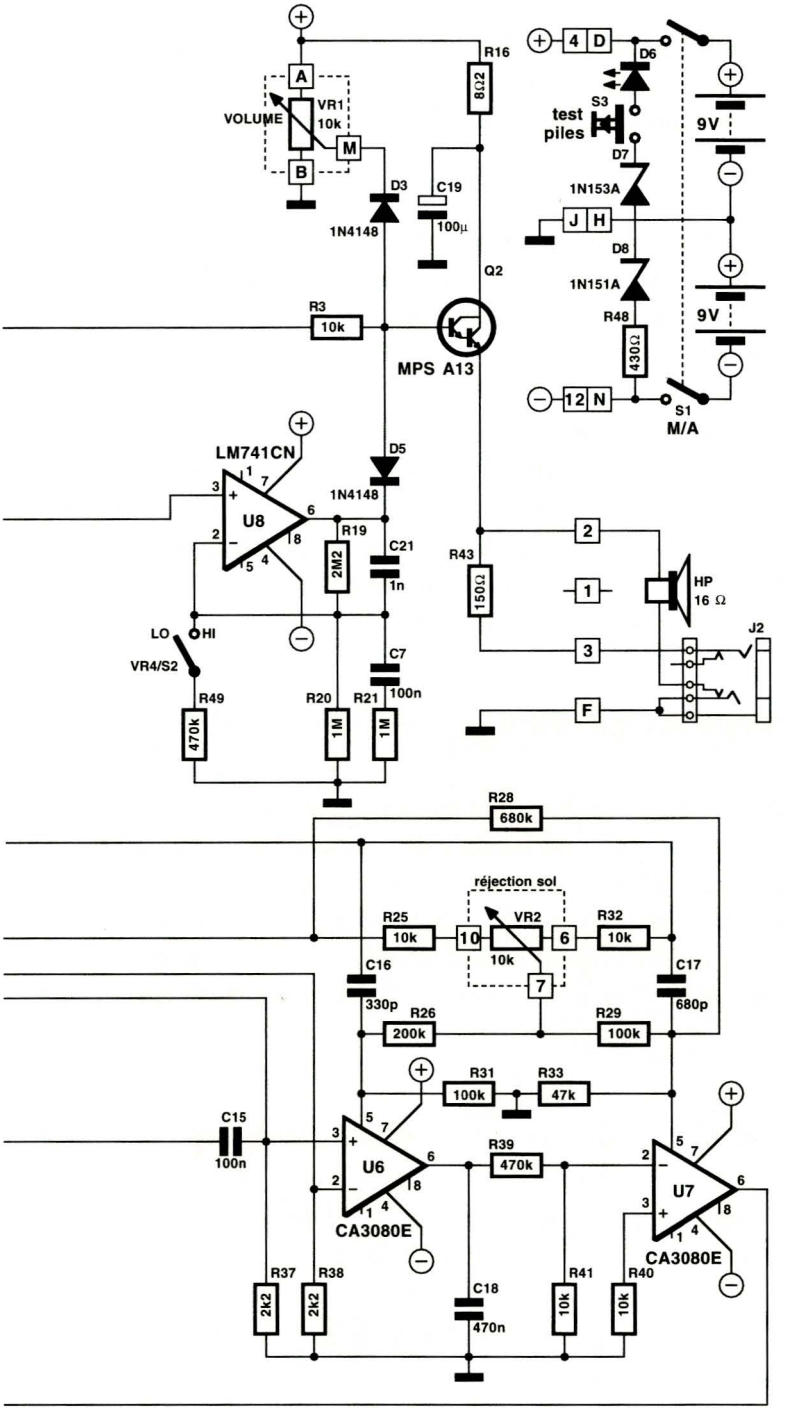



**Figure 3.8 -** Schéma du VLF 770.


A
VOLUME
VR1
10k
M
B
R16
8Ω2
D3
1N4148
C19
100µ
Q2
R3
10k
MPS A13
4 D
D6
S3
test
piles
D7
1N153A
J H
D8
1N151A
R48
430Ω
9V
9V
12 N
S1
M/A
LM741CN
U8
D5
1N4148
R19
2M2
C21
1n
R43
150Ω
2
1
HP
16 Ω
3
J2
F
LO
HI
VR4/S2
R49
470k
R20
1M
R21
1M
C7
100n
R28
680k
réjection sol
R25
10k
VR2
10k
R32
10k
C16
330p
C17
680p
R26
200k
R29
100k
R31
100k
R33
47k
C15
100n
U6
CA3080E
R39
470k
U7
CA3080E
R37
2k2
R38
2k2
C18
470n
R41
10k
R40
10k

Enduisez le pourtour des deux douilles de résine époxy, comme on en trouve dans tous les magasins de bricolage. Le but principal est d'empêcher les douilles de tourner. Notez soigneusement la correspondance entre les différents signaux et les broches de la prise, faites attention lors du montage à la position de la prise des bobines.

C'est le moment de décider si votre appareil sera, ou non, porté à la ceinture avec le clip fourni. Si ce n'est pas prévu, vous préparez dans le coffret des trous de fixation (par exemple sur une canne télescopique). La décision n'est qu'une affaire de préférences personnelles.

Nous conseillons toujours un montage fixe sur un dispositif adapté (éventuellement sur la canne télescopique en matière plastique) parce que cela limite fortement les mouvements du câble de la bobine de recherche et les détections intempestives qu'ils provoquent. En effet, la capacité propre de la bobine par rapport au câble varie avec les oscillations du câble. Avec un câble qui pend, il n'est pas facile de maîtriser les tendances à l'oscillation.

### 3.3.3 Fabrication de la face avant

Montez les deux potentiomètres à dix tours par leur canon fileté et tournez-les à fond à gauche. Viennent ensuite l'interrupteur des accus et le poussoir de test de charge, puis la LED verte. Ici aussi, nous conseillons d'empêcher toute rotation des composants avec une goutte de résine époxy. Tournez les deux échelles graduées en butée à gauche ; placez les boutons compte-tours sur les axes des potentiomètres et immobilisez-les dans la position exacte par la vis pointeau sur le côté (six pans creux).

### 3.3.4 Assemblage et raccordement du circuit imprimé

Vous trouverez ci-dessous le plan d'implantation, la liste complète des composants et le dessin des pistes de la platine à double face.

Pour le soudage, utilisez impérativement un fer de 40 à 60 W et ne dépassez pas le temps de deux secondes par composant.

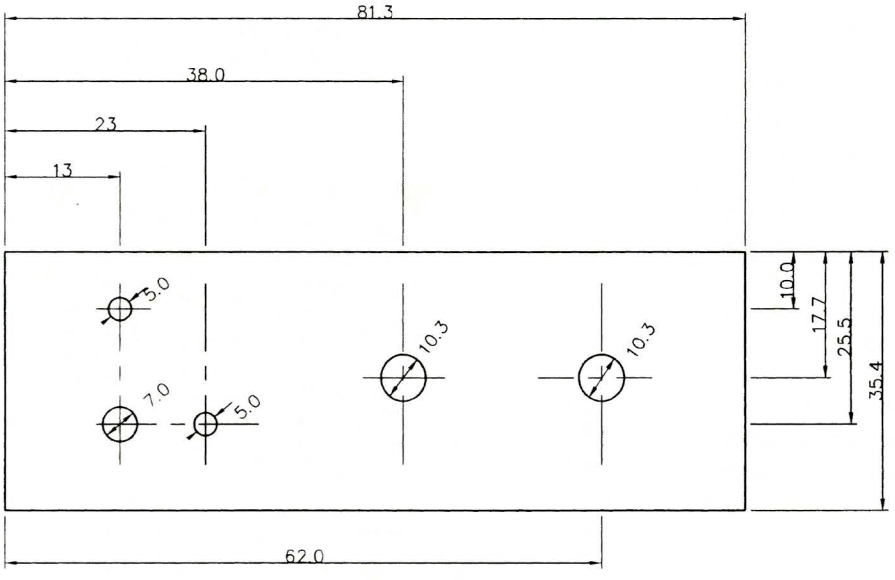



**Figure 3.9 -** Dimensions de la face avant et position des perçages.

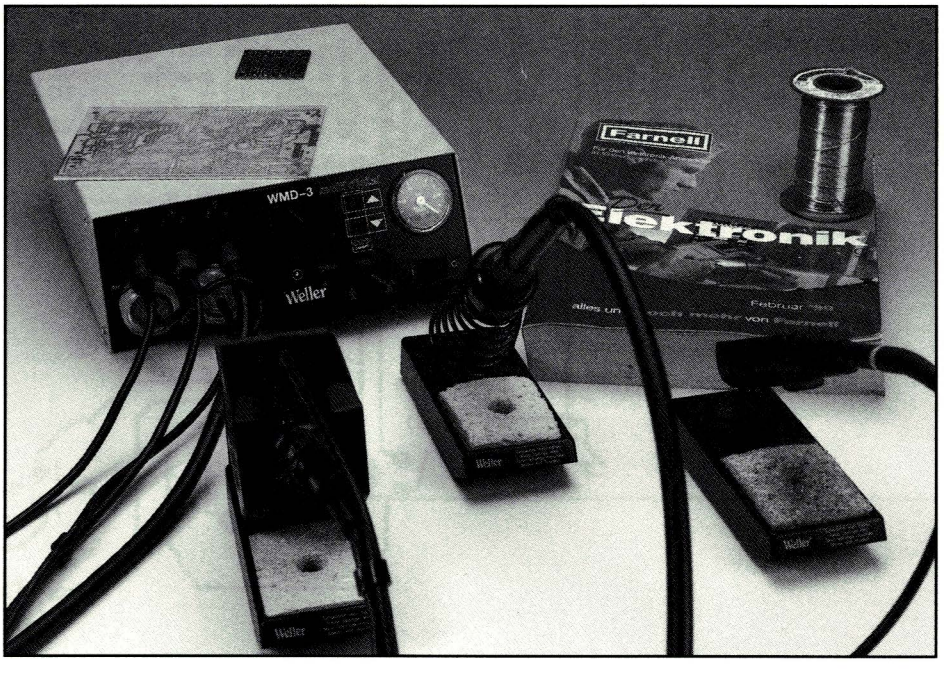



**Figure 3.10 -** Poste de soudage et dessoudage.

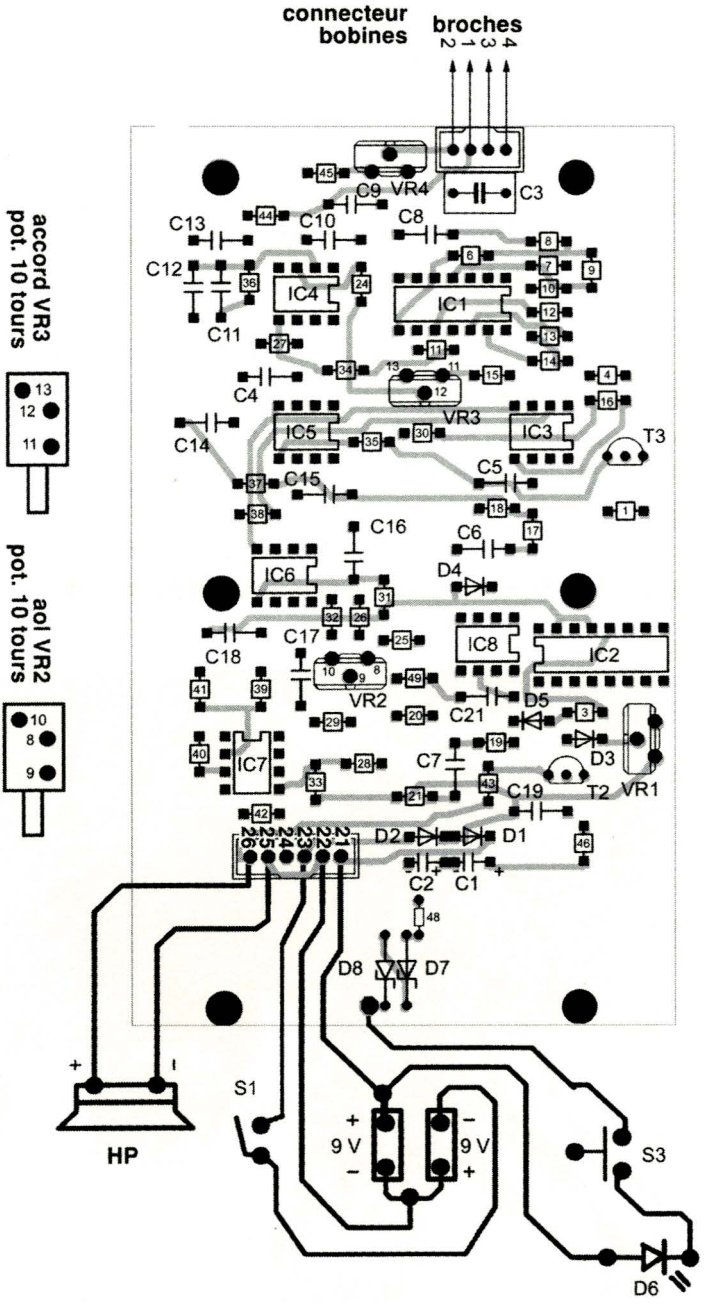



**Figure 3.11 -**
Plan d'implantation du VLF 770.
On peut raccorder éventuellement aux points 24 et 25 (reportez-vous au schéma de principe) un casque optionnel.
L'interrupteur S1, contrairement au schéma, est un modèle unipolaire marche/arrêt simple.
Le modèle double de la liste de composants reste préférable.

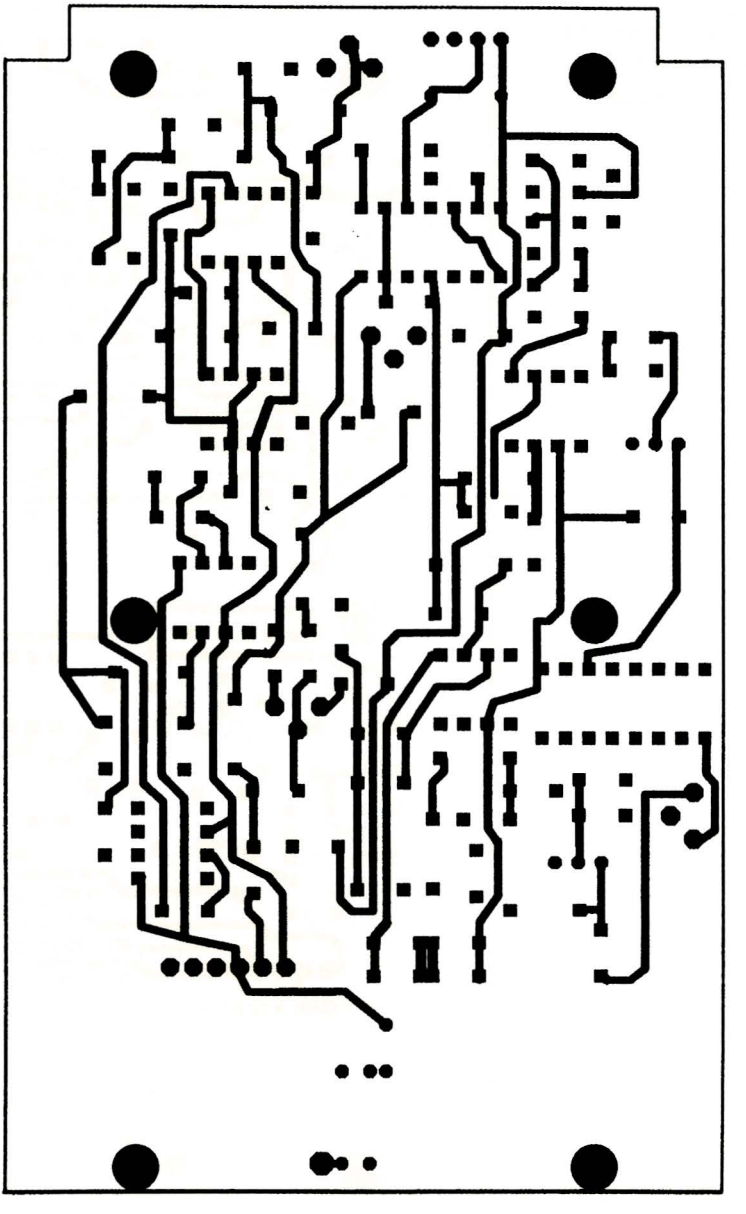


**Figure 3.12 -**
Côté soudures de la platine à double face du *VLF 770*.

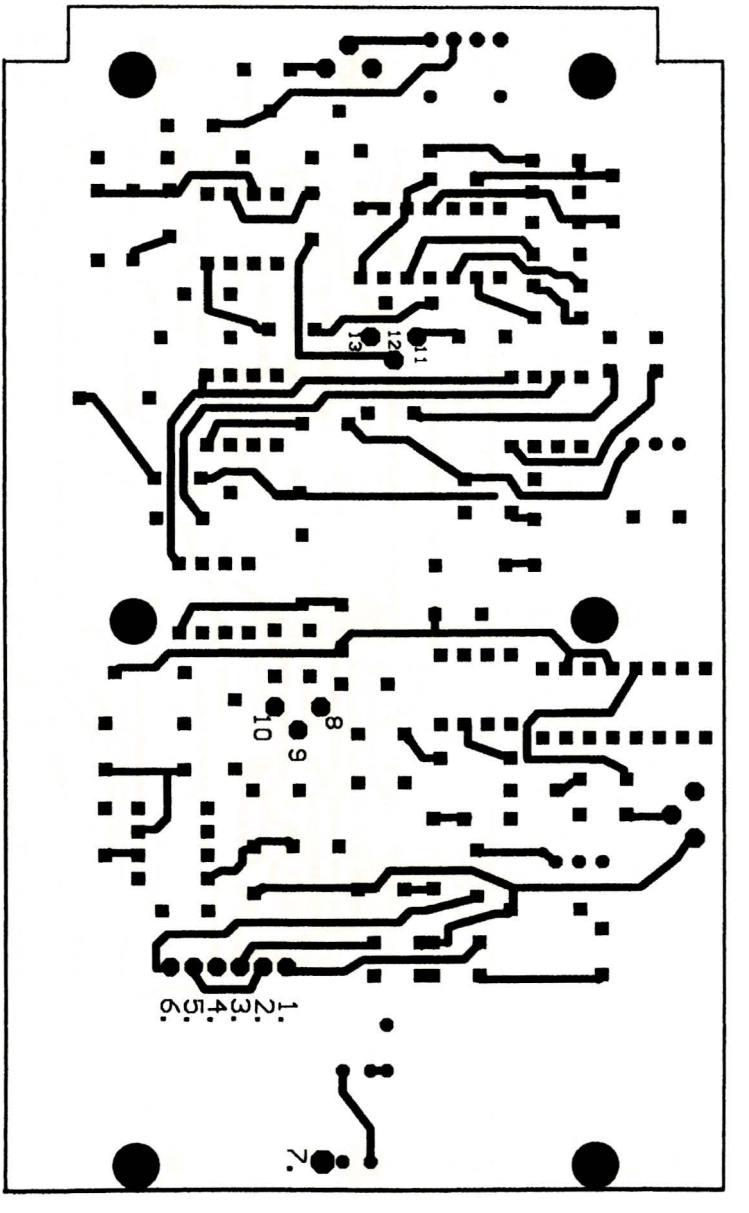



**Figure 3.13 -**
Côté composants de la platine à double face du *VLF 770*.

**Liste des composants VLF 770**

**Résisteurs**
**couche métallique 1/4 W 1%**

R1,R4 = 22 kΩ

R3,R6,R7,R15,R25,R27,
R30,R32,R40,R41 = 10 kΩ

R8,R10,R12,R13,R37,R38 = 2,2 kΩ

R9 = 470 Ω

R11,R39,R49 = 470 kΩ

R14 = 51 Ω

R16,R29,R31 = 100 kΩ

R17,R18,R24 = 330 kΩ

R19 = 2,2 MΩ

R20,R21 = 1 MΩ

R26 = 200 kΩ

R28 = 680 kΩ

R33 = 47 kΩ

R34,R35 = 18 kΩ

R36 = 51 kΩ

R42 = 1 kΩ

R43 = 150 Ω

R44 = 680 Ω

R45 = 270 Ω

R46 = 8,2 Ω

R48 = 430 Ω

VR1,VR4 = 10 kΩ ajustable

VR2,VR3 = 10 kΩ ajustable 10 tours

**Condensateurs**

C1,C2,C8 = 10 µF tantale

C3,C5,C6,C7,C8,C9,C12,
C13,C14,C15 = 0,1 µF MKS

C4,C17 = 680 pF

C11 = 360 pF

C16 = 330 pF

C18 = 0,47 µF MKS

C19 = 100 µF chimique

C21 = 1 nF MKS

**Semi-conducteurs**

D1,D2 = 1N4001

D3 à D5 = 1N4148

D7 = ZD 6V2

D8 = ZD 5V1

1 × LED

T2 = MPSA 13

T3 = BC550C

IC1 = CA3046

IC2 = CD4017AE

IC3 à IC7 = CA3080

IV8 = 741

**Divers**

1 poussoir 1 × NO

1 interrupteur 2 × NO

haut-parleur 16 Ω

2 piles compactes 9 V

Bobines émettrice et réceptrice avec blindage : voir figure 3.16

Évitez de toucher les broches des circuits intégrés. Installez préalablement un fil d'égalisation de potentiel ou utilisez des outils adaptés de façon à ne pas provoquer de dégâts par décharges électrostatiques. C'est valable en particulier pour tous les circuits intégrés CMOS.

Commencez le câblage par les ponts en fil et les résisteurs. Les autres composants suivront par ordre de hauteur. Pour finir, ce seront les picots à souder destinés aux fils de câblage et potentiomètres ; les circuits intégrés viennent en dernier, dans la mesure du possible.

Maintenant, c'est le tour des liaisons par fil vers les composants extérieurs : potentiomètres, interrupteurs, LED, bobine et alimentation. Veillez en particulier à raccorder la bobine par des fils très courts et des soudures propres.

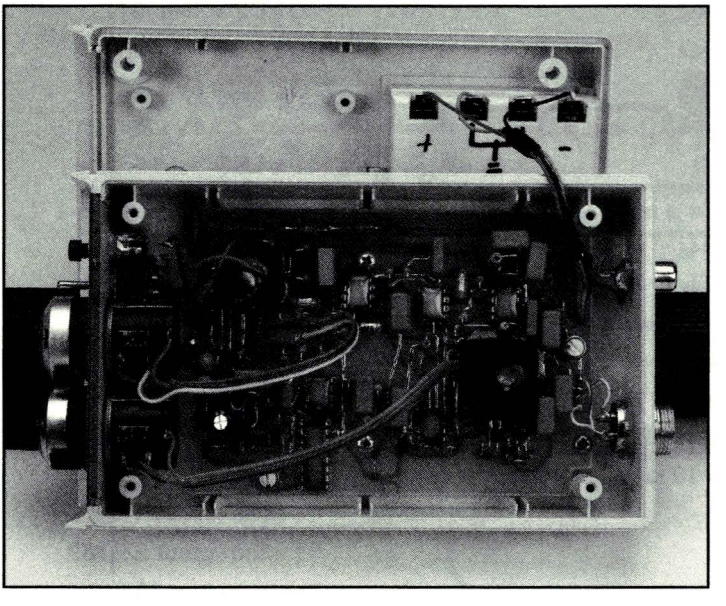



**Figure 3.14 -** Aspect de la platine du *VLF 770* terminée et installée dans le coffret préconisé.

La réalisation des bobines exige la plus grande précision. Ici, un dixième de millimètre fait parfois la différence entre un bon détecteur et un mauvais. C'est pourquoi quelques photographies ne seront pas superflues pour illustrer le processus et assurer le succès de la fabrication des bobines.

Collez le mandrin de la bobine et le presse-étoupe avec son écrou au moyen d'une colle à deux composants, par l'intérieur et par l'extérieur.

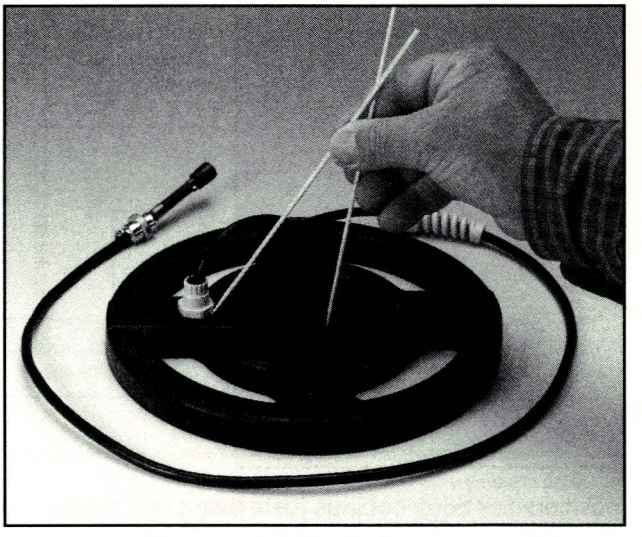


**Figure 3.15 -** Collage du presse-étoupe en place sur le mandrin de la bobine.

Avant de placer les bobines dans leur logement, il faut les blinder. Pour cela, on les enveloppe dans un film de blindage spécial dont un point est relié galvaniquement à la masse. À défaut d'autre chose, on se rabattra sur le film d'aluminium ménager.

Disposez d'abord la bobine réceptrice (deux points de raccordement) dans le logement. Ensuite tournez de 180° la bobine émettrice (trois fils) et posez-la par dessus.

Collez d'abord la bobine émettrice seule au logement en plusieurs points, comme le montre la figure 3.17, avec une colle époxy. Attendez le durcissement complet de la colle.

Soudez maintenant les connexions sur la bobine selon la figure 3.18. Sur les bobines fournies dans le kit, les deux extrémités sont repérées par un nœud. La prise médiane de la bobine émettrice est reconnaissable aux fils torsadés.

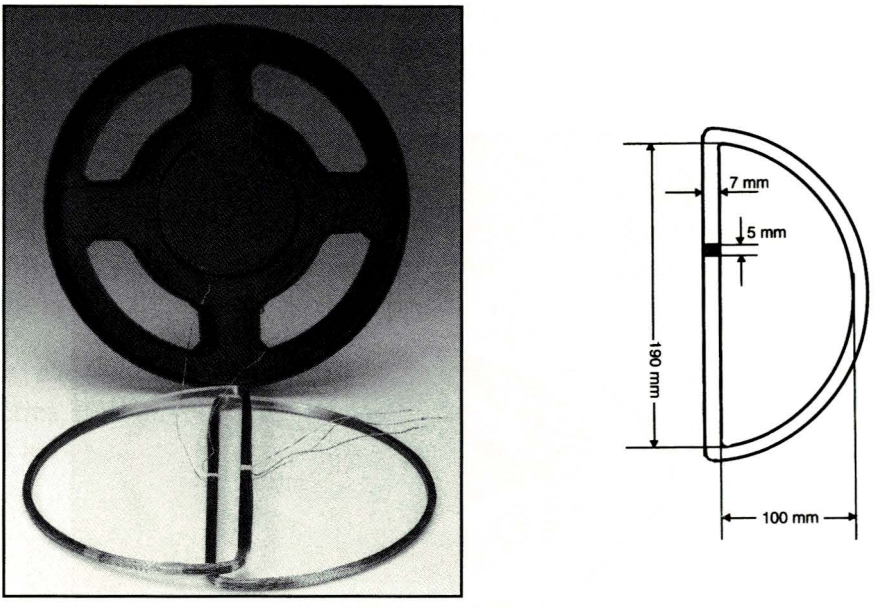



**Figure 3.16 -** Disposition des deux bobines juste avant leur fixation dans le logement. Dimensions des deux bobines, identiques sauf pour la prise médiane. La bobine émettrice avec sa prise médiane est composée de quarante spires de fil de cuivre émaillé de 0,5 mm de diamètre ; la bobine réceptrice comporte quatre-vingt spires du même métal ; la section des bobinages est de 7,5 × 5 mm.

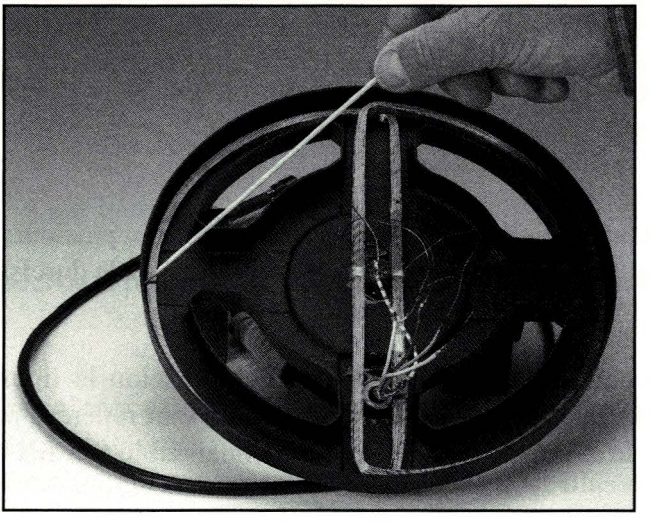


**Figure 3.17 -** Points de colle au bord du logement des bobines.

Raccordez le connecteur des bobines à l'appareil terminé, placez les deux potentiomètres en position médiane et mettez sous tension. Il est très probable que le haut-parleur va produire un signal à cause du couplage encore présent. Vérifiez à l'oscilloscope si le signal d'émission est présent. Le potentiel de référence est celui de la masse.

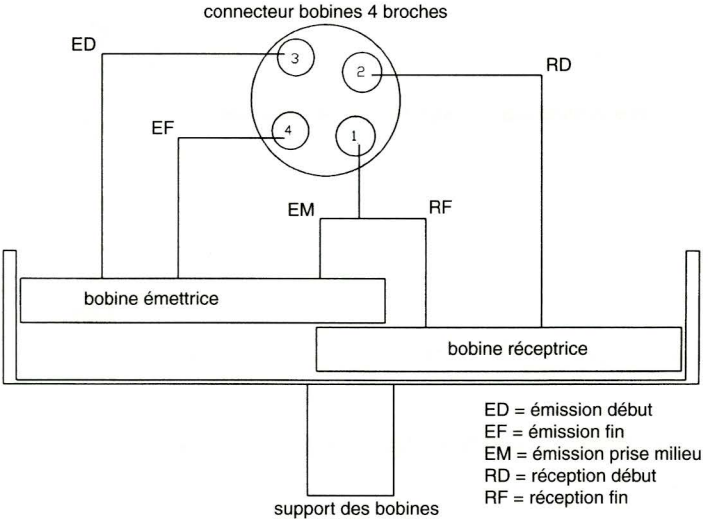



**Figure 3.18 -** Raccordement des bobines à la douille.

Si tout est correct jusque là, vous pouvez transporter la sonde sur la broche 6 de U5 et commencer le découplage. Pour ce faire, on décale la bobine de réception jusqu'à atteindre le minimum sonore. L'oscilloscope ne montre alors qu'un signal de moins de 5 mV. Le point décisif est le passage par zéro de la sinusoïde. Immobilisez maintenant la bobine très soigneusement dans cette position, par six petites gouttes de résine époxy. Laissez durcir et re-mesurez à l'oscilloscope. Même si le découplage n'est pas encore parfait, on peut déjà vérifier avec un objet métallique que le détecteur fonctionne correctement. Pour cela, placez les deux potentiomètres dans une position telle que le casque ne fasse plus entendre qu'un léger ronflement. La sensibilité doit déjà être suffisante pour permettre la détection d'une bague en or à une distance de 25 à 30 cm, et d'une pièce de monnaie à 25 cm environ.

Suivent quelques oscillogrammes destinés à vous donner des indications sur l'aspect normal des signaux aux différents points de mesure. Ils permettent de localiser les défauts de fonctionnement éventuels et de les analyser pour rétablir le fonctionnement normal.

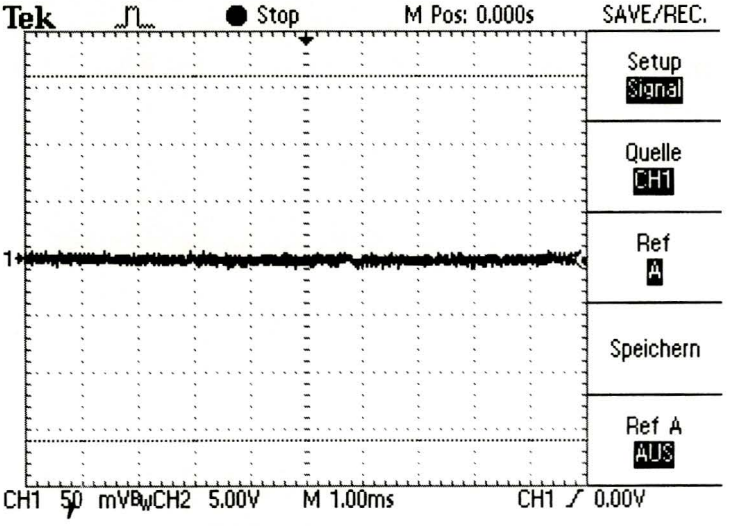



**Figure 3.19 -** Tel devrait être l'aspect du signal à la broche 6 de U5 si le découplage est correct.

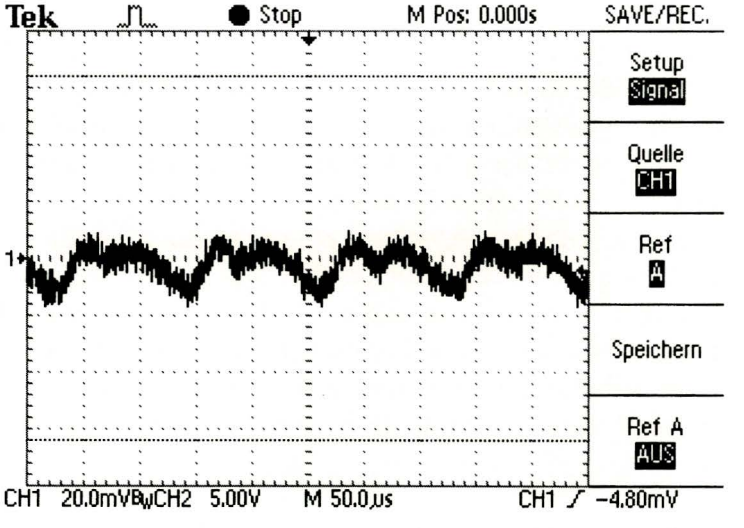



**Figure 3.20 -** Un découplage incorrect donne ce genre de signal à la broche 6 de U5.

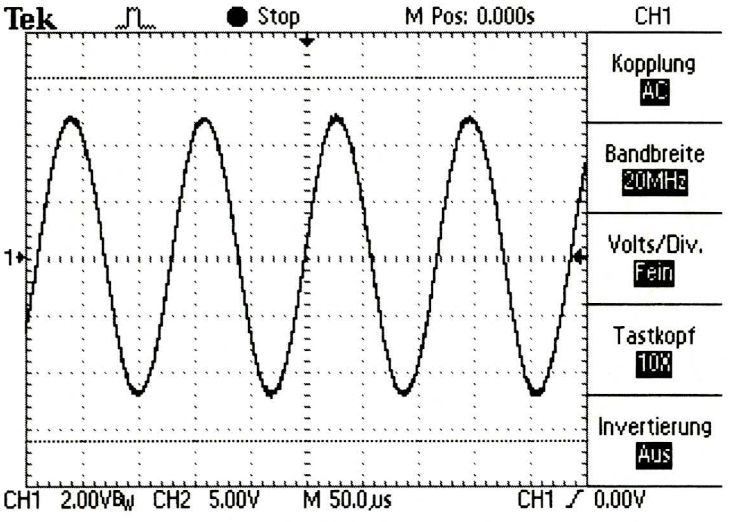



**Figure 3.21 -** Signal d'émission à la broche 4 du connecteur des bobines.

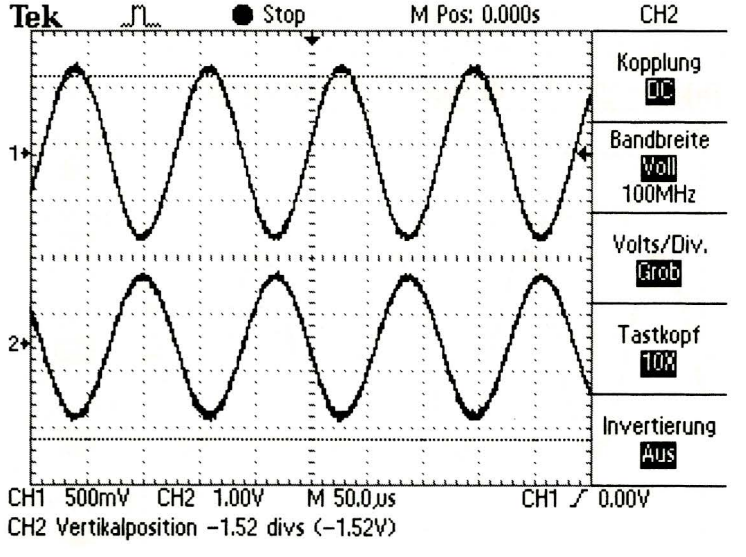



**Figure 3.22 -** Points de mesure : voie 1 sur le potentiomètre de sol (VR2), broche 6 ; voie 2 sur le potentiomètre d'accord (VR3) broche 5. Le déphasage de 180° est évident.

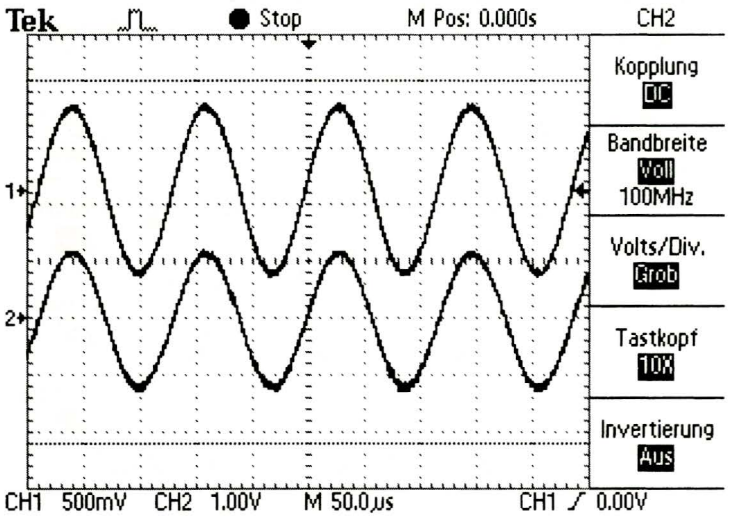



**Figure 3.23 -** Points de mesure : voie 1 sur le potentiomètre de sol (broche 7 de VR2), voie 2 sur le potentiomètre d'accord (broche M de VR3).

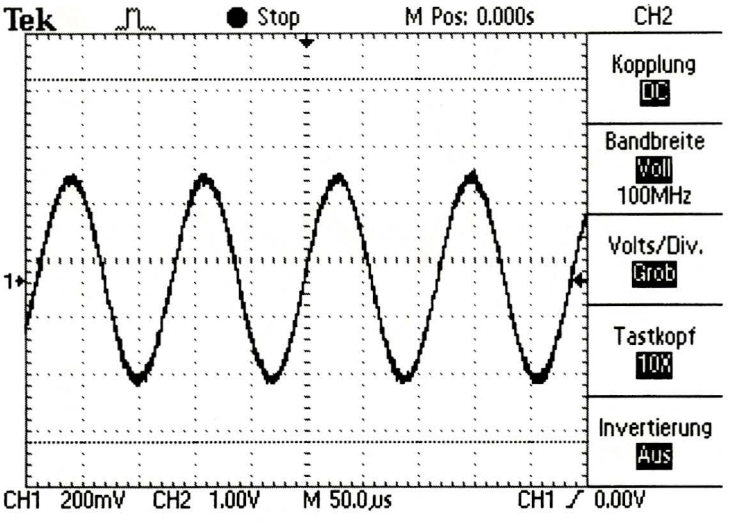



**Figure 3.24 -** Le signal (broche 6 de U5) doit prendre cet aspect si le détecteur fonctionne correctement et que du métal se trouve à proximité.

### 3.3.5 Moulage de la bobine de recherche

Une fois obtenue la sensibilité maximale, les connexions et les raccordements sont repoussés sous les bobines, de telle façon qu'ils ne dépassent plus après le moulage final. Vérifiez le découplage encore une fois après ce changement. S'il est altéré, rétablissez-le en déformant prudemment la bobine émettrice. Il est préférable ici aussi de commencer par une couche mince de résine avant de procéder au moulage complet, avec une vérification de la position des bobines entre les deux phases, à cause de l'effet diélectrique de la résine et du coefficient de retrait.

### 3.3.6 Compensation sol-air

Pour pouvoir détecter, finalement, il reste à compenser la conductivité du sol et de l'air. Le détecteur doit disposer d'une valeur de référence qu'il applique comme valeur de compensation lors du fonctionnement.

Vous obtiendrez cette valeur de compensation de la façon suivante. Sortez en plein air avec le détecteur. Mettez-le en marche et tenez la bobine à 5 cm environ au-dessus du sol. Tournez maintenant le potentiomètre de gauche (réjection du sol) jusqu'à obtenir un signal sonore. Revenez lentement en arrière jusqu'à faire taire le signal. Portez la bobine haut au-dessus de votre tête et tournez le potentiomètre de droite (accord) pour obtenir un ronflement juste audible. L'appareil est prêt à l'emploi. Lors de ce travail de réglage, il ne doit y avoir aucun métal à proximité de la bobine.

### 3.3.7 Mode d'emploi résumé du détecteur VLF 770

1. Assemblez le détecteur
2. Raccordez à l'appareil la bobine de recherche et le casque. Vissez la bague de blocage de la fiche des bobines.
3. Mettez l'appareil en marche (un son aigu se fait entendre brièvement).
4. Une pression sur la touche allume clairement la LED et témoigne d'une tension de pile optimale.
5. Maintenez ensuite la bobine à 5 cm au-dessus du sol et tournez le réglage « Réjection du sol » à gauche jusqu'au point où un signal sonore est juste audible dans le casque. Tournez maintenant ce réglage en arrière jusqu'à ce que le son s'éteigne complètement. La compensation de sol est terminée. Levez

maintenant la bobine en l'air et tournez le potentiomètre « Accord » jusqu'à ce qu'un son devienne juste audible. Faites taire le signal avec le même potentiomètre. Veillez soigneusement à ce qu'aucun objet métallique ne se trouve sous la bobine ou à proximité lors de ce réglage (l'idéal est de le faire en terrain dégagé).

L'appareil est maintenant prêt à l'emploi et avec un peu de pratique vous saurez bientôt trouver et exploiter la sensibilité maximale de ce détecteur.

## 3.4 Le détecteur de métaux DBP 2010, détecteur multi-fonction de haut de gamme

La description de ce détecteur illustrera les performances et la souplesse de ce type d'appareils, telles qu'elles sont décrites dans le livre. Il ne craint pas la comparaison avec des appareils professionnels vendus entre deux mille et deux mille cinq cents euros. En outre, ce détecteur peut s'adapter à de nouveaux travaux de détection grâce à des accessoires en option tels que les grandes bobines (cadres de recherche de 1000 × 1000 mm) ou la sonde pour les sources ou crevasses rocheuses.

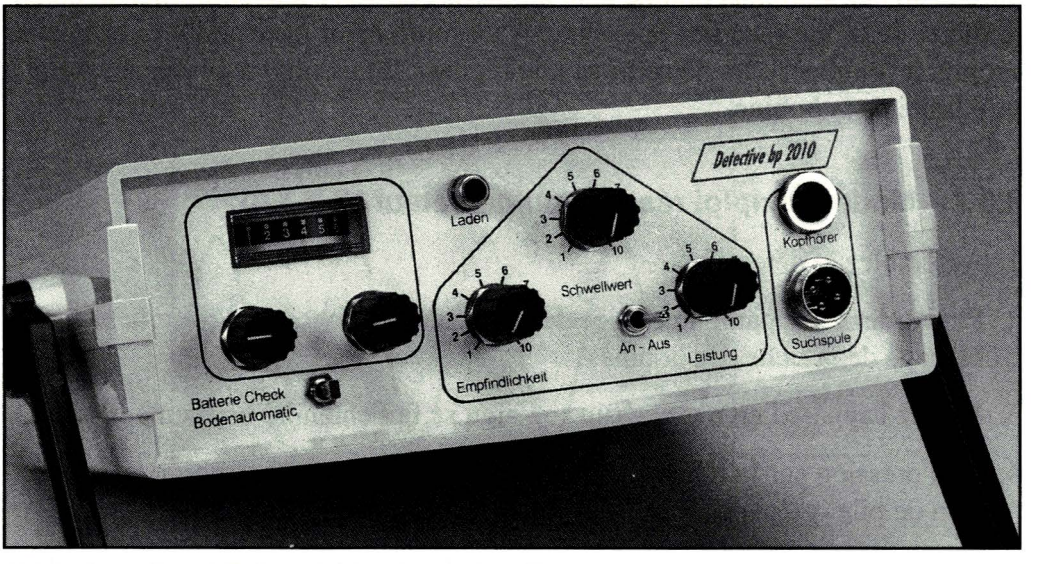



**Figure 3.25 -** Aspect du détecteur DBP 2010.

Ce détecteur se distingue par les caractéristiques suivantes :

- ✦ grande sensibilité :
- ✦ signalisation précise (signal sonore et affichage analogique) ;
- ✦ très grande résolution ;
- ✦ grande portée ;
- ✦ grande fiabilité.

Il est possible en plus d'utiliser cet appareil sous l'eau, avec un boîtier adéquat étanche à l'eau sous pression (description page 142). Il permet alors des travaux de détection jusqu'à une profondeur de quelque cent mètres. Ce détecteur est séduisant en particulier dans les eaux salées, par sa grande sensibilité. À notre connaissance, c'est la première fois qu'un montage détecteur d'une classe de performances comparable est publié et rendu accessible à un large public.

### 3.4.1 Description du schéma

Le signal émis a une fréquence de 90 Hz ; il est amplifié par le transistor 2N3773 (ou un équivalent 2SD551) jusqu'à une tension de quelque 140 V de crête à crête aux bornes de la bobine. L'amortissement de la bobine est assuré par une résistance de 680 Ω à l'entrée. Le signal d'horloge est produit par le premier temporisateur du circuit intégré 7556. Il attaque l'entrée du diviseur 4017 pour donner la fréquence de fonctionnement qui excite le Darlington MPSA14 et l'étage de puissance 2N3773.

La deuxième moitié du double temporisateur 7556 cadence un circuit échantillonneur-bloqueur installé sur la platine extérieure (module). L'échantillonneur-bloqueur est constitué de l'amplificateur opérationnel IC9 (3140) entouré des amplificateurs IC6 et IC7 et des commutateurs analogiques S1 à S4 (4066). Cette partie du circuit permet de compenser automatiquement l'effet de sol, en le mesurant et en mémorisant dans un condensateur la valeur mesurée. La valeur mémorisée est ensuite comparée au signal reçu. Ainsi les masses métalliques sont seules reconnues, indépendamment de l'effet du sol (compensation).

Le détecteur fonctionne en deux temps : selon le cadencement décrit ci-dessus, il passe en réception après l'émission pour détecter, avant qu'elle soit complètement amortie, la résonance provoquée dans l'objet métallique. Ce signal résiduel est appliqué à l'entrée de l'amplificateur IC4 (LF357). La synchronisation

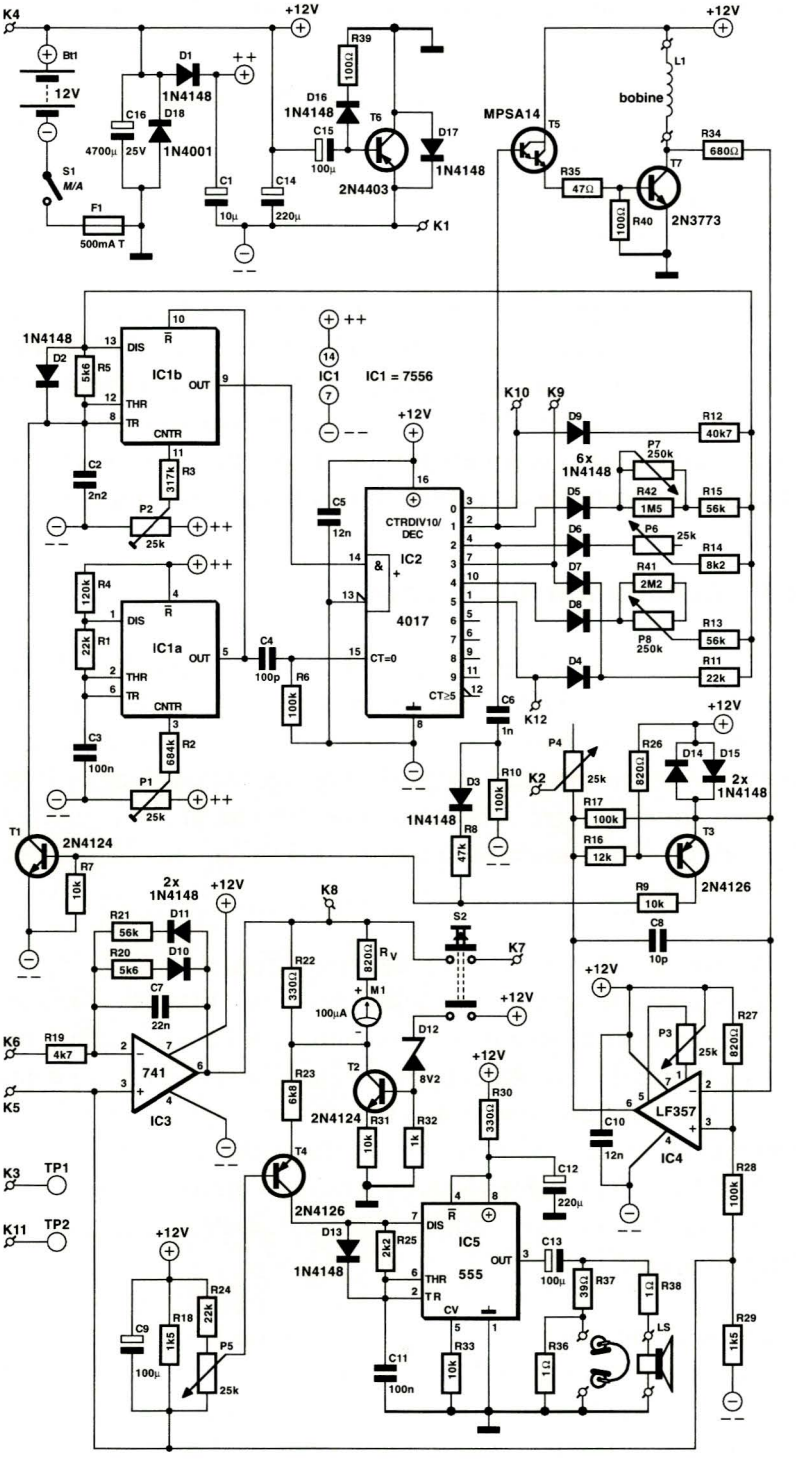



**Figure3.26-** Schéma de la carte principale du détecteur DBP 2010.

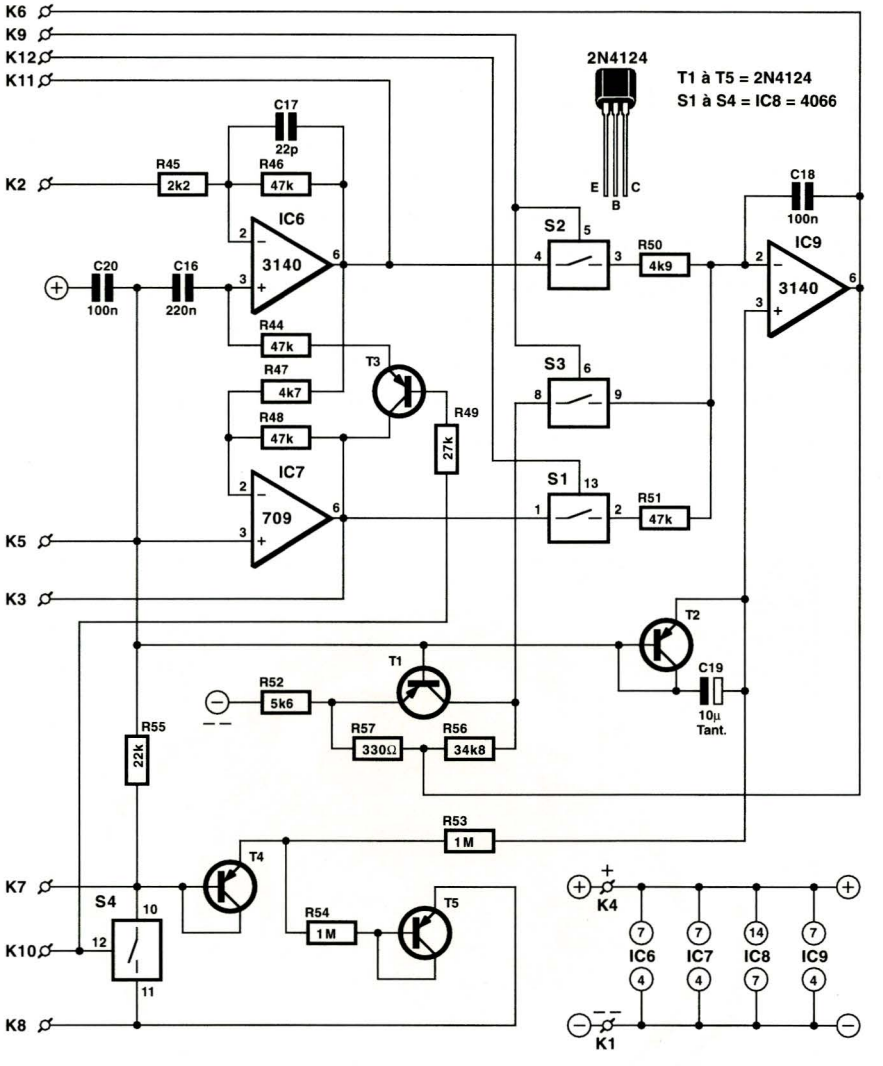



**Figure 3.27 -** Schéma du module du détecteur DBP 2010.

élaborée permet d'appliquer le signal dans une fenêtre temporelle mobile, de façon à filtrer les débris métalliques. Le rôle du diviseur de fréquence est de retarder les périodes de mesure.

La production du signal sonore est le fait de IC4 (LF357), associé au temporisateur IC5 (555) et au transistor 2N4126. Le signal audio a une fréquence de 1500 Hz environ.

### 3.4.2 Fabrication de la bobine

Fixez le filetage du presse-étoupe sur le support de la bobine, avec de la colle époxy à l'intérieur et à l'extérieur. Utilisez de préférence une colle à prise en cinq minutes. Il faut maintenant, avec une lame tranchante, débarrasser les deux extrémités du bobinage de leur vernis sur une longueur de un centimètre pour permettre une bonne soudure et assurer ainsi une connexion correcte. Placez la bobine dans le boîtier et faites entrer le câble à deux conducteurs, déjà dénudé. La gaine extérieure du câble ne doit pas dépasser le bord du presse-étoupe. Soudez maintenant les deux conducteurs aux extrémités de la bobine, recouvrez les soudures d'une gaine isolante, et collez-les au fond du boîtier, à la colle époxy. Vissez fortement à la main la bague du presse-étoupe, de façon à interdire tout épanchement de résine lors du moulage. La bobine doit être posée de niveau sur un support adapté, pour que le moulage soit plan.

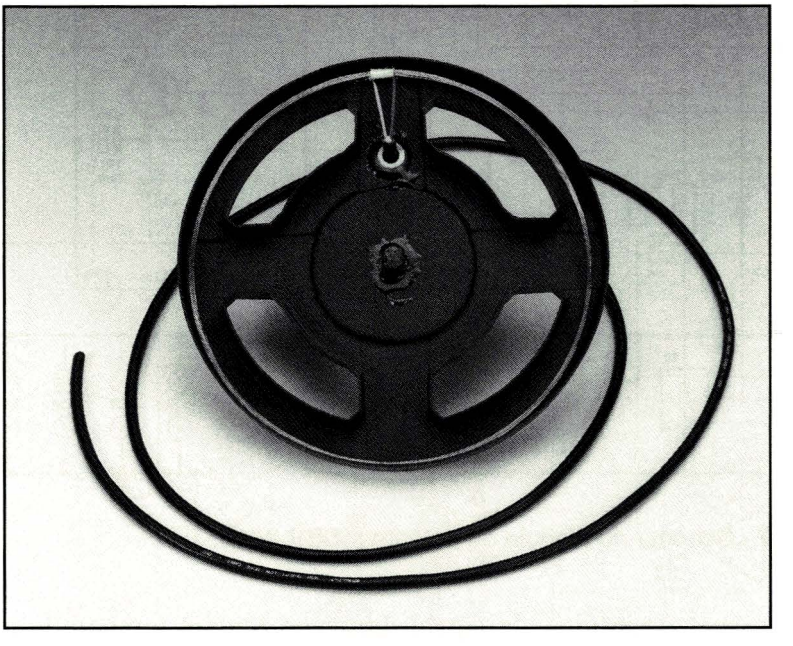


**Figure 3.28 -** Caractéristiques et fabrication de la bobine du détecteur DBP 2010.
Pour la bobine de 230 mm, fil de cuivre émaillé diamètre 0,5 mm, 43 spires sur un diamètre intérieur de 205 mm.
Pour la bobine de 450 mm, fil de cuivre émaillé diamètre 0,5 mm, 23 spires sur un diamètre intérieur de 438 mm.

Pour la bobine de 230 mm, vous utiliserez environ 100 g de chacun des composants A et B de la résine fournie. Mélangez-les très vite, c'est-à-dire en trente secondes, en remuant régulièrement avec un bâtonnet en bois ou une autre touillette adéquate. Le mélange doit être tel qu'aucune bulle ne se forme. Comme récipient pour ces mélanges, nous utilisons un bocal à conserves d'un litre, qui doit se trouver sous la main presque partout, ou bien qui ne coûte que quelques pièces. La quantité de résine préparée est maintenant versée proprement dans l'enveloppe, où elle ne forme qu'une couche mince. La couche finale, qui recouvrira le tout, avec 150 g de chaque composant, ne sera coulée qu'à peu près huit minutes plus tard (pas moins). Si vous constatez que des bulles se forment lors de cette opération, crevez-les immédiatement avec une aiguille. Laissez la bobine durcir une nuit dans cette position.

Nous conseillons d'effectuer avant le moulage une vérification du bon état de fonctionnement de la bobine.

Dans le cas de la bobine de 450 mm, on utilisera 100 g de chaque composant pour la première couche. Pour la deuxième et dernière couche, il faudra 200 g des composants A et B.

### 3.4.3 Coffret

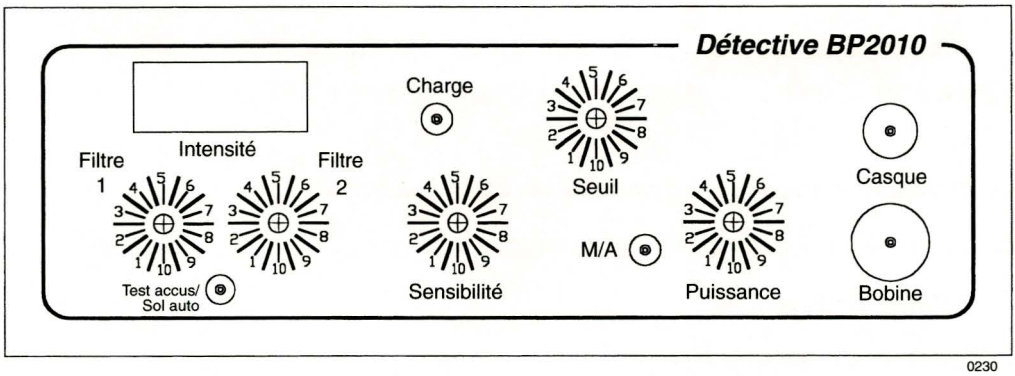



**Figure 3.29 -** L'aspect de la face avant.

Prenez d'abord la demi-coquille inférieure, reconnaissable aux plots destinés aux vis. Éliminez tous les plots de la zone encerclée de la figure 3.30. Supprimez les plots numérotés de 1 à 4 jusqu'à 34 mm du bord ; ils garantiront par la suite une assise solide de l'accumulateur. Les quatre plots de la paroi latérale droite, à

proximité de l'accumulateur, sont éliminés aussi. Les trois plots marqués « nicht entfernen » sont conservés pour la fixation ultérieure de la cloison intermédiaire. Collez maintenant quatre entretoises avec les parois latérales.

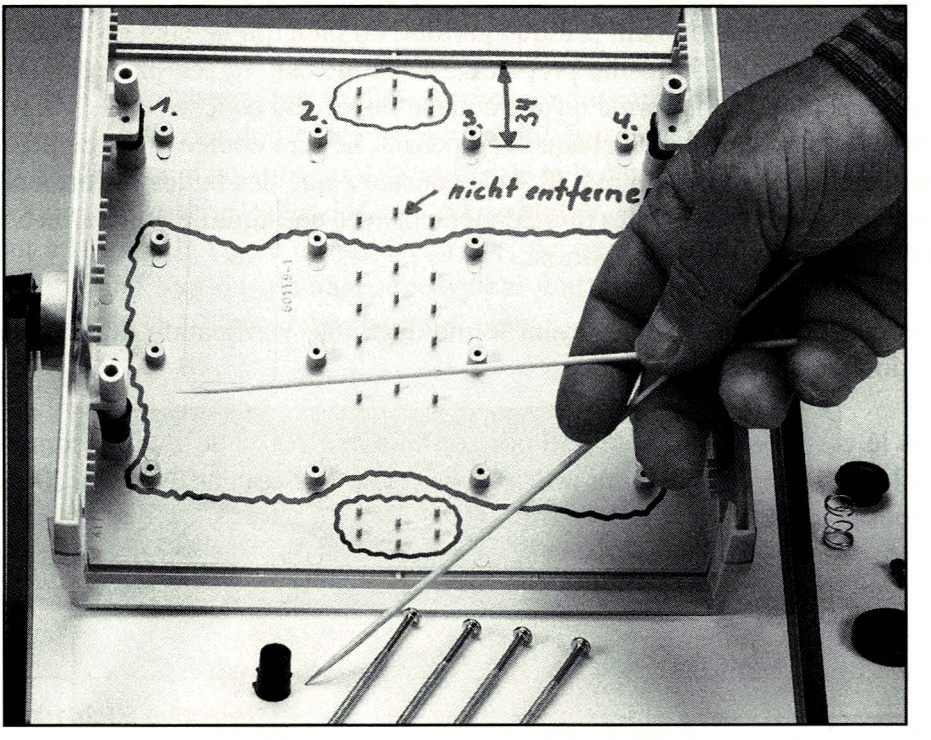



**Figure 3.30 -** Zones à modifier dans le coffret du détecteur DBP 2010.

Le montage de la poignée passe par les étapes suivantes :

1. Assembler les deux côtés de la poignée
2. Installer les ressorts
3. Poser les plaques de fixation
4. Engager les vis
5. Encliqueter le couvercle

### 3.4.4 Montage de l'accumulateur

Tournez la batterie de telle façon que le pôle positif soit à droite. Collez la batterie à la surface verticale et au fond du coffret avec du ruban adhésif double face (comme on en utilise pour les moquettes, disponible en droguerie). La tenue est très bonne si le ruban est plaqué correctement. Une fois le film protecteur retiré des deux surfaces, collez la batterie contre la rainure de la paroi arrière et contre la paroi latérale droite. La fixation de la batterie est maintenant à l'épreuve des bombes, elle ne réclame aucun dispositif complémentaire.

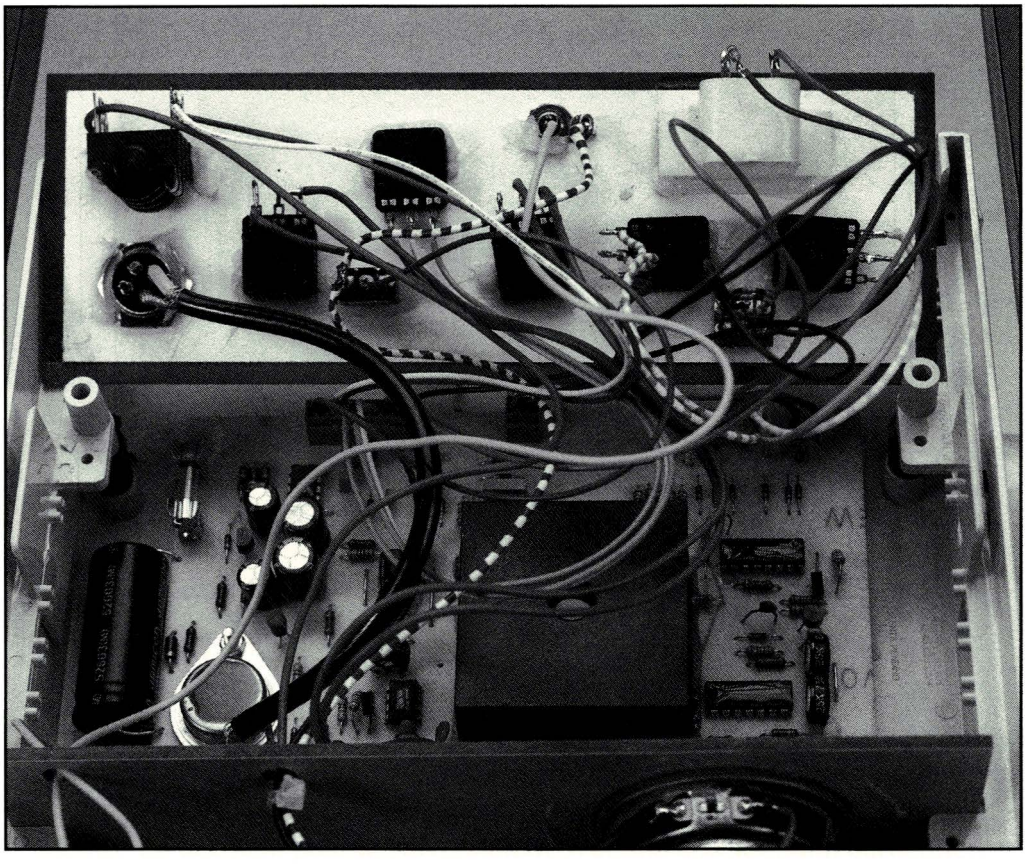


**Figure 3.31 -** Installation des organes de commande sur la face avant, vue de l'intérieur.

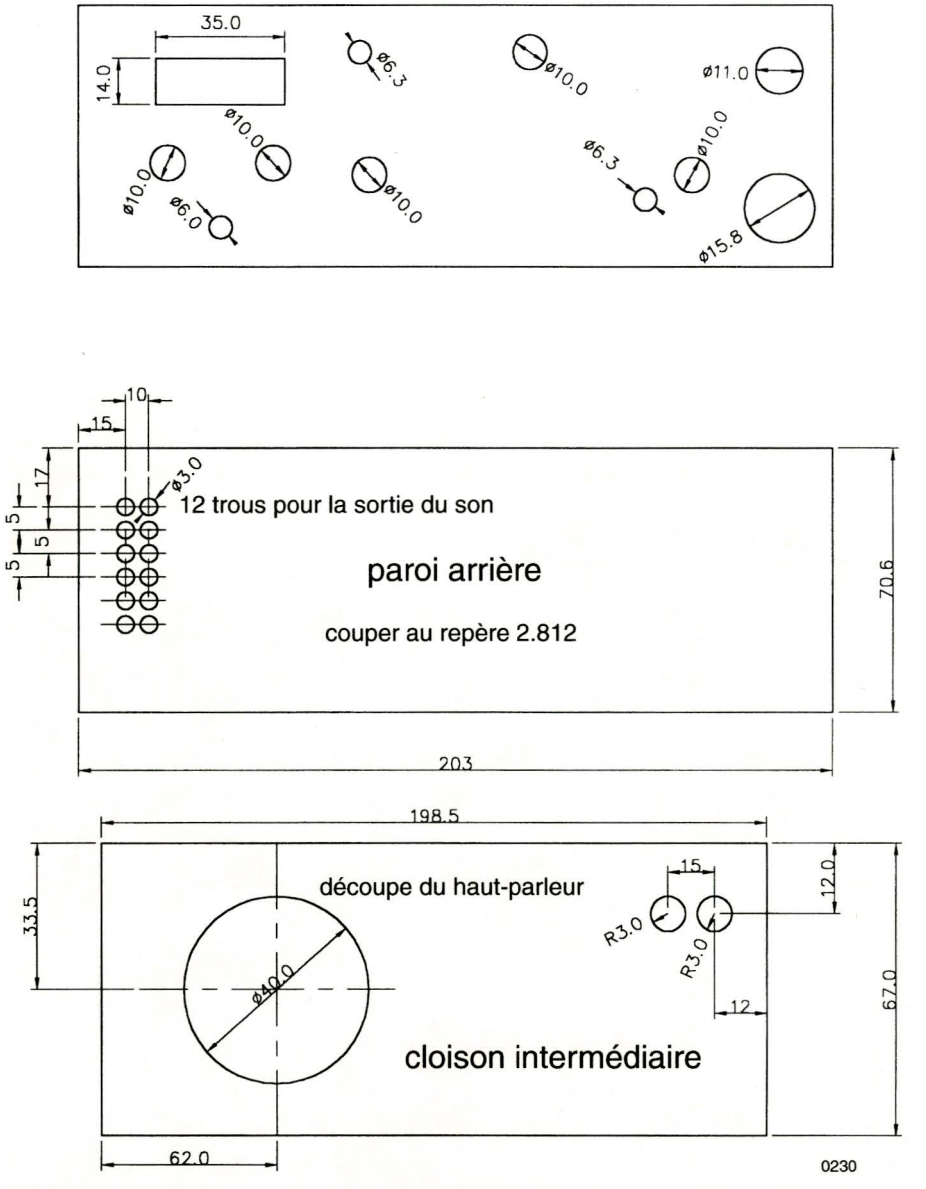



**Figure 3.32 -** Perçages de la face avant, de la cloison intermédiaire et de la face arrière.

### 3.4.5 Assemblage de la face arrière, de la cloison intermédiaire et de la face avant

Usinez, selon la figure 3.32, les éléments du coffret pour la face avant, la cloison intermédiaire et la face arrière. Montez tous les composants de la face avant : potentiomètres, interrupteurs, touches, douilles et galvanomètre, selon le plan d'implantation de la figure 3.29. Montez le haut-parleur sur la cloison intermédiaire ; sa position est visible sur la figure 3.31, vue de l'arrière de la face avant.

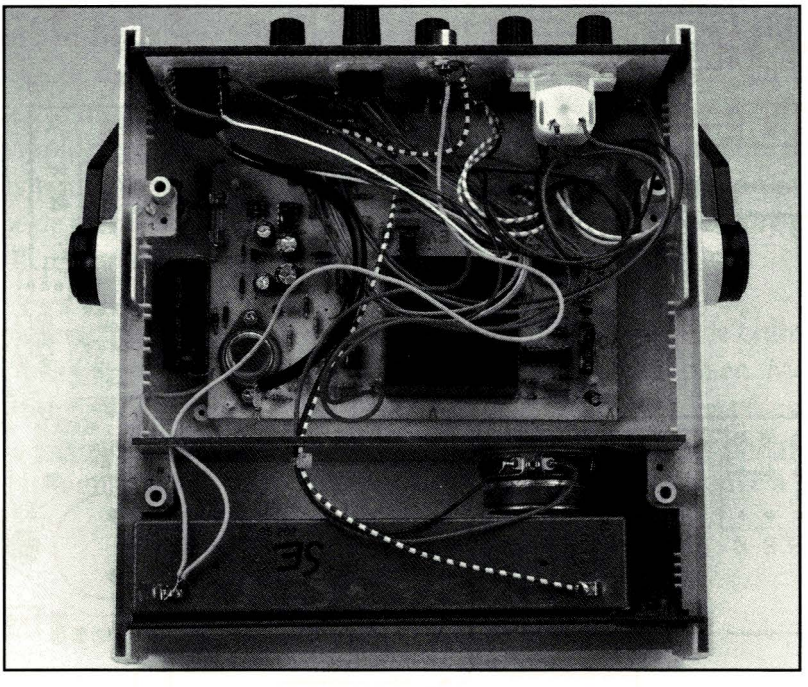


**Figure 3.33 -** Vue intérieure d'ensemble du détecteur DBP 2010.

Pour le câblage entre la platine et les organes de la face avant, reportez-vous au plan de câblage de la figure 3.34. Vous y trouverez aussi la position de six ponts en fil à souder. Attention en particulier à l'ordre des connexions pour les potentiomètres. La découpe pour le galvanomètre réclame une attention particulière et un travail des plus précis. Veillez à ne pas écailler la surface visible. Nous recommandons ici de commencer par un avant-trou de 10 mm de diamètre puis d'agrandir l'ouverture à la lime jusqu'aux dimensions prévues. Après la pose, chaque composant sera fixé par l'arrière avec un peu de mastic silicone, ce qui interdira la rotation. Les axes de potentiomètres, toujours trop longs à ce stade,

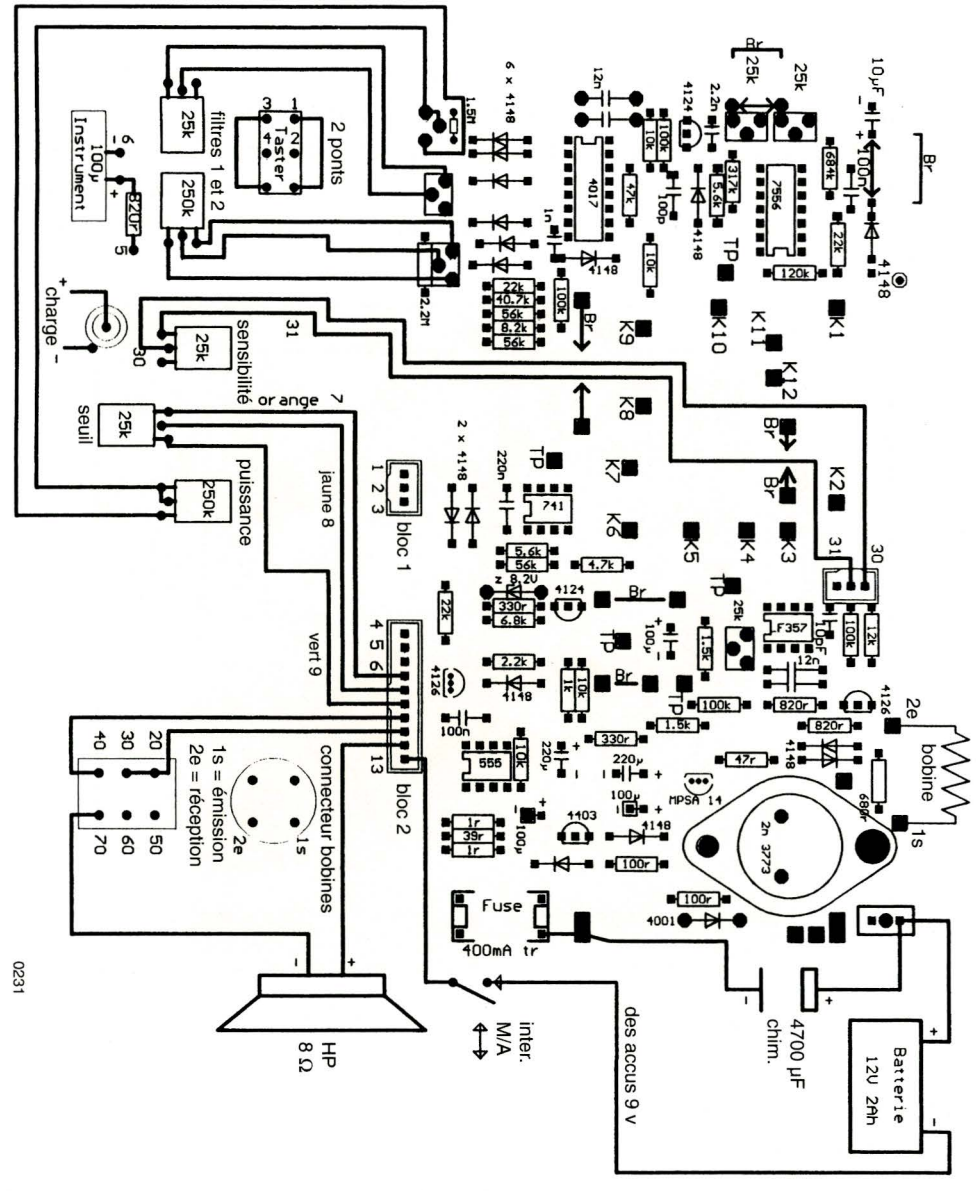



**Figure 3.34 -** Raccordements entre la platine et les composants extérieurs.

sont raccourcis et munis de leurs boutons. La face arrière est glissée dans les rainures de guidage. La cloison intermédiaire est enduite de silicone sur l'arête inférieure et glissée en place. Laissez tout cela durcir plusieurs heures (une nuit).

### 3.4.6 Équipement de la platine principale et du module

Commencez par poser les ponts en fil, ensuite les résisteurs et les diodes. Les six ponts sont repérés par « Br » ou par une double flèche. Sur le module, les ponts doivent relier les points 1 et 2, 3 et 4. Viennent ensuite les potentiomètres, le porte-fusible, les condensateurs, pour finir les connecteurs (deux à trois points et un à dix points) et les circuits intégrés. Attention à la polarité des condensateurs chimiques. Montez le 7556 sur un support. La touche finale sera le soudage des connexions de l'accumulateur et la mise en place du fusible. C'est le moment de souder tous les raccordements et de vérifier la qualité des soudures. Pensez aux deux ponts en fil du poussoir repéré par « Taster ». Le fil intérieur de la fiche BNC est soudé à 1s, le blindage à 2e. Soudez les picots K1 à K12 sur le module et disposez le module sur la platine principale. Soudez-le en place. Effectuez les soudures rapidement et ne traînez pas avec le fer à souder. Par mesure de précaution, vous pouvez munir le module d'un capot de protection qui assurera, avec une masse de résine de moulage, une évacuation thermique. Les quatre pieds sont enfichés dans les trous de 4 mm.

Le film protecteur ne sera retiré qu'au moment du montage dans le coffret. Appareil hors tension, raccordez la bobine et mettez le fusible en place. Mettez tous les potentiomètres à « 0 ». Vous pouvez maintenant raccorder les pôles positif et négatif de l'accumulateur et mettre sous tension. Si tous les raccordements sont corrects, un signal sonore se fait entendre dès que du métal se trouve à proximité de la bobine.

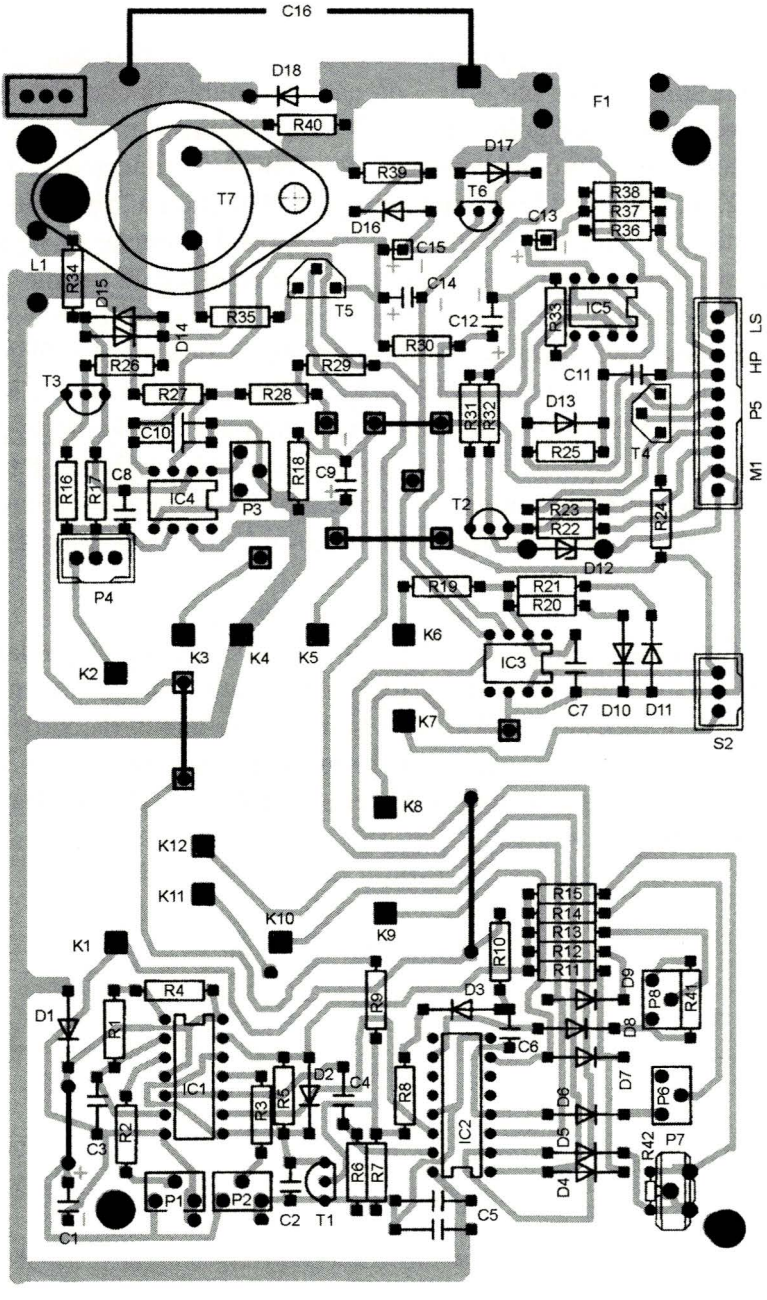



**Figure 3.35 -** Plan d'implantation de la platine principale du DBP 2010.

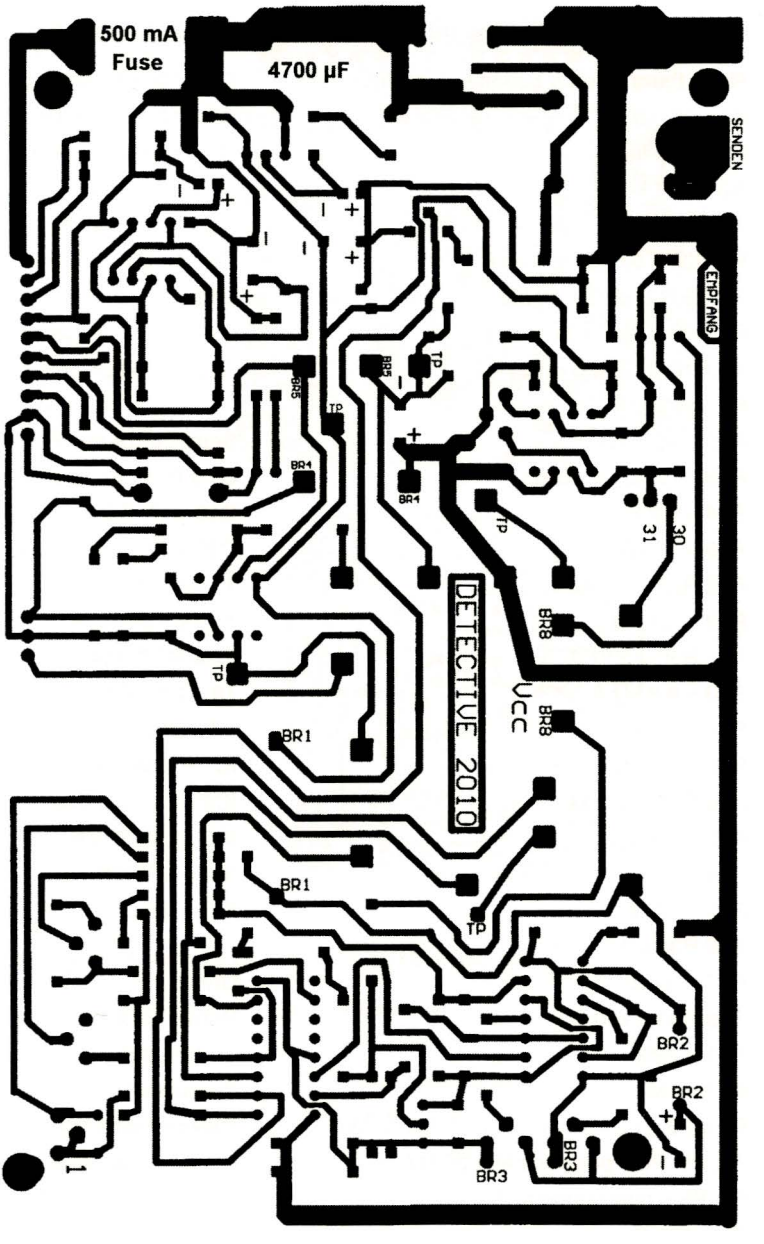



**Figure 3.36 -** Dessin de la platine principale du DBP 2010.

## Liste des composants du DBP 2010, platine principale

**Résisteurs (tous à couche métallique 1%)**

R1 = 22 kΩ
R2 = 684 kΩ
R3 = 317 kΩ
R4 = 120 kΩ
R5,R20 = 5,6 kΩ
R7,R9,R31,R33 = 10 kΩ
R8,R38 = 46,4 kΩ
R6,R10,R17,R28 = 100 kΩ
R11 = 22 kΩ
R12 = 40,7 kΩ
R13,R15,R21 = 56 kΩ
R14 = 8,2 kΩ
R16 = 12 kΩ
R18,R29 = 1,5 kΩ
R19 = 4,7 kΩ
R22,R30 = 330 Ω
R23 = 6,8 kΩ
R24 = 22 kΩ
R25 = 2,2 kΩ
R26,R27 = 825 Ω
R32 = 1 kΩ
R34 = 680 Ω
R35 = 47 Ω
R36,R38 = 1 Ω
R37 = 39 Ω
R39,R40 = 100 Ω
R41 = 2M2
R42 = 1M5
P1 à P3 = potentiomètre ajustable 25 kΩ
P4, P5, P6 = potentiomètre 25 kΩ
P7, P8 = potentiomètre 250 kΩ
Rv = 820 Ω

**Condensateurs**

C1 = 10 µF chimique
C2 = 2,2 nF céramique
C3,C11 = 100 nF, MKT
C4 = 100 pF céramique
C5 = 12 nF styroflex
C6 = 1 nF céramique
C7 = 220 nF, MKT
C8 = 10 pF styroflex
C9,C13,C15 = 100 µF chimique
C10 = 12 nF céramique
C12, C14 = 220 µF chimique
C16 = 4700 µF chimique

**Semi-conducteurs**

D1 à D11, D13 à D17 = 1N4148
D18 = 1N4001
D12 = Zener 8,2 V/400 mW
T1,T2 = 2N4124
T3,T4 = 2N4126
T5 = MPS A14
T6 = 2N4403
T7 = 2N3773
IC1 = ICM7556IPD
IC2 = CD4017BCN
IC3 = LM 741CN
IC4 = LF357N
IC5 = 555CN

**Divers**

Bobine de recherche (voir texte page 122)
1 interrupteur unipolaire
2 touches NO
Galvanomètre 100 µA
Porte-fusible verre 5 × 20 mm
Fusible verre 5 × 20 mm 500 mA
Casque (haute impédance)
Haut-parleur 8 Ω/1 W
Batterie 12 V/2 Ah
2 connecteurs HE14 3 points
1 connecteur HE14 10 points

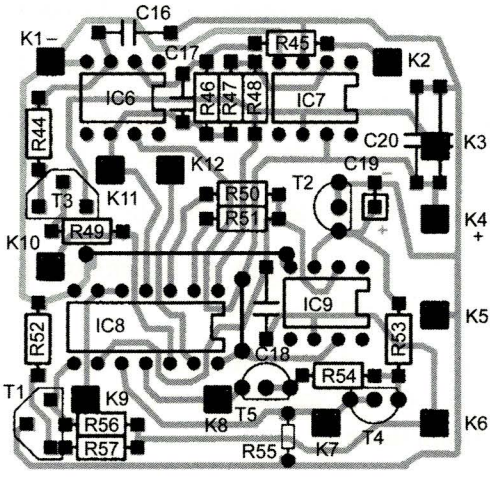



**Figure 3.37 -** Plan d'implantation du module du DBP 2010.

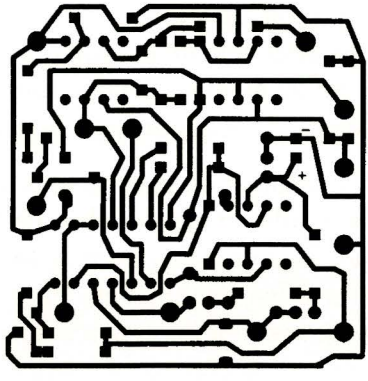


**Figure 3.38 -** Dessin de la platine du module DBP 2010.

| Liste des composants du DBP 2010, module | |
|---|---|
| **Résisteurs (tous à couche métallique 1%)** | **Condensateurs** |
| R44,R48 = 47 kΩ | C16 = 220 nF, MKT |
| R45 = 2,2 kΩ | C17 = 22 pF céramique |
| R46, R51 = 47 kΩ | C18 = 100 nF céramique |
| R47 = 4,7 kΩ | C19 = 10 µF tantale |
| R49 = 27 kΩ | C20 = 100 nF MKT |
| R50 = 4,9 kΩ | |
| R52 = 5,6 kΩ | **Semi-conducteurs** |
| R53, R54 = 1MΩ | T1 à T5 = 2N4124 |
| R55 = 22 kΩ | IC6,IC9 = CA3140E |
| R56 = 34,8 kΩ | IC7 = mA709 |
| R57 = 330 Ω | IC8 = CD4066BE |

### 3.4.7 Mode d'emploi du détecteur DBP 2010

1. Placez tous les réglages sur « 0 » (en butée à gauche).
2. Branchez la bobine de recherche choisie et fixez-la avec la vis M8 en plastique. Serrez modérément l'écrou à oreilles.
3. Mettez le détecteur en marche.
4. Tournez les réglages de « sensibilité », « seuil » et « puissance » jusqu'au repère 10 sur l'échelle.
5. Tenez la bobine à quelque cinq centimètres au-dessus du sol (sans contact direct avec le sol) et actionnez pendant environ trois secondes la touche « Sol automatique ».
6. Maintenant le détecteur doit « se taire », c'est-à-dire n'émettre aucun son. Veillez à ce qu'il n'y ait pas de métal à portée de la bobine lors de ce réglage. Cherchez pour cela un endroit « propre » à l'extérieur de la maison. Si un son se fait tout de même entendre, ramenez un peu en arrière le réglage de sensibilité (vers 9,5) et actionnez à nouveau « Sol automatique ».
7. Les deux réglages de gauche sous le galvanomètre servent à rejeter les capsules de bouteilles et autres débris de ferraille. Leur position initiale est en butée à gauche. Toute modification de ces deux « filtres à mitraille » doit être suivie d'une nouvelle pression sur « Sol automatique ». Pour cela vous devrez faire vos propres expériences, parce que l'effet de sol est très variable.

Le détecteur est maintenant prêt à l'emploi. Pour vos recherches, progressez lentement, promenez la bobine de gauche à droite, avec un recouvrement, de façon à ne rien oublier. Le centre de l'objet détecté provoque la déviation maximale du galvanomètre et la hauteur maximale du signal sonore. Pour préciser la localisation, vous pouvez ramener un peu vers le « 0 » le réglage de seuil. Ici aussi il est conseillé de mettre en scène quelques détections, de façon à apprendre les réactions du détecteur et à pouvoir l'utiliser au mieux.

Quelques mots sur l'utilisation des accumulateurs, pour éviter de tomber en panne soudainement et de rentrer bredouille, faute d'avoir donné à l'alimentation l'attention qu'elle mérite.

La batterie doit être maintenue en bon état de charge selon quelques règles pratiques simples :

1. Avant la première utilisation, laisser l'accumulateur branché au chargeur pendant environ 14 heures.

2. Après chaque utilisation, donner une charge de 4 à 5 heures.

3. Toutes les trois ou quatre semaines, effectuer un cycle de charge complet de 14 heures.

### 3.4.8 Option grande bobine

Cette option vous permet d'atteindre des profondeurs de détection jusque là inaccessibles avec les moyens usuels. Pour cela il suffit simplement de connecter au détecteur la grande bobine au lieu de la bobine normale.

L'assemblage consiste à emmancher les quatre éléments tubulaires pour former un carré de 1 m de côté.

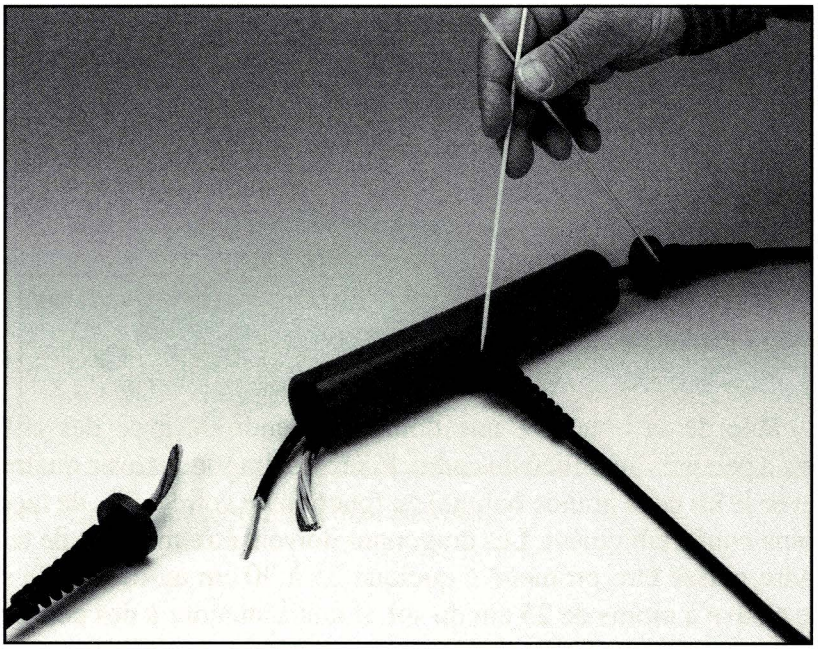


**Figure 3.39 -** Raccordement du câble de la bobine.

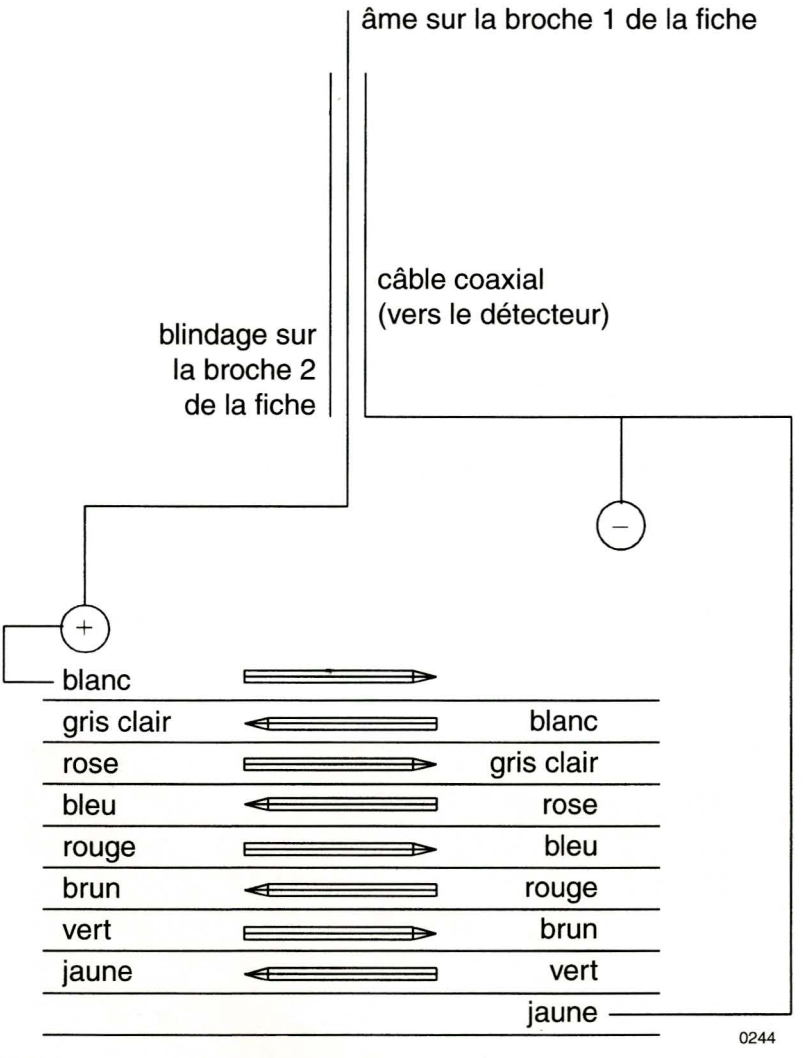



**Figure 3.40 -** Principe de câblage de la grande bobine.

Fixez le câble de la boucle à une douzaine d'endroits avec des colliers réutilisables, à peu près au milieu du cadre. Fixez les dragonnes avec quatre sangles (livrées avec le kit de la grande bobine) en fonction de votre taille, de façon à porter la bobine confortablement. Les dragonnes doivent être montées de telle façon que le cadre puisse être promené à quelque 25 à 30 cm au-dessus du sol (si la bobine se trouve à moins de 25 cm du sol, il faut s'attendre à des perturbations).

Faites attention en outre à ne pas transporter avec vous, lors des recherches, des objets métalliques perturbateurs (par exemple monnaie, outils, boucle de ceinture, chaussures à bout en acier ou trousseau de clefs).

En principe, la grande bobine se porte à deux ; elle présente l'avantage ici de ne pas détecter de pièces inférieures à 5 cm environ.

La fabrication de la grande bobine ne doit pas présenter de difficulté particulière. Collez les coudes à 90° avec de la colle à PVC (*Tangit*, au rayon du matériel sanitaire) à l'extrémité des tubes de 970 mm (ne pas encoller la rainure du joint torique). Après cinq minutes de durcissement, on peut emmancher les tubes pour former un cadre de 1000 mm de côté. Déterminez la longueur du câble par le milieu du cadre. Dénudez 50 mm à chaque bout du câble et équipez-le des pièces représentées par la figure 3.39. Commencez par encoller les filetages du presse-étoupe avec de la résine époxy. Toutes les extrémités de fil doivent sortir par un même côté. Effectuez toutes les soudures conformément à la figure 3.40 et empêchez par un morceau de gaine les contacts entre fils voisins. Les deux conducteurs du câble de raccordement au détecteur sont connectés comme suit : âme à la broche 1, blindage à la broche 2.

### 3.4.9 Canne télescopique à trois éléments

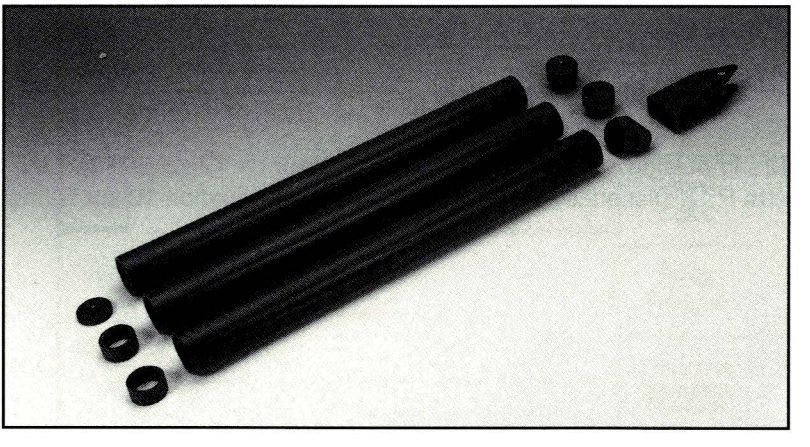


**Figure 3.41 -** Canne télescopique à trois éléments.

Assembler à la colle *Tangit* toutes les pièces représentées par la figure 3.41. Pour cela les manchons (avec filetage intérieur) seront emmanchés complètement dans le tube. Les pièces avec filetage extérieur sont seulement collées par les surfaces massives de façon à laisser sortir la totalité du filetage. La canne télescopique est utilisable après une heure de séchage de la colle.

### 3.4.10 Vérification du fonctionnement

La forme des signaux représentée dans les images suivantes permet de vérifier maintenant le bon fonctionnement du détecteur.

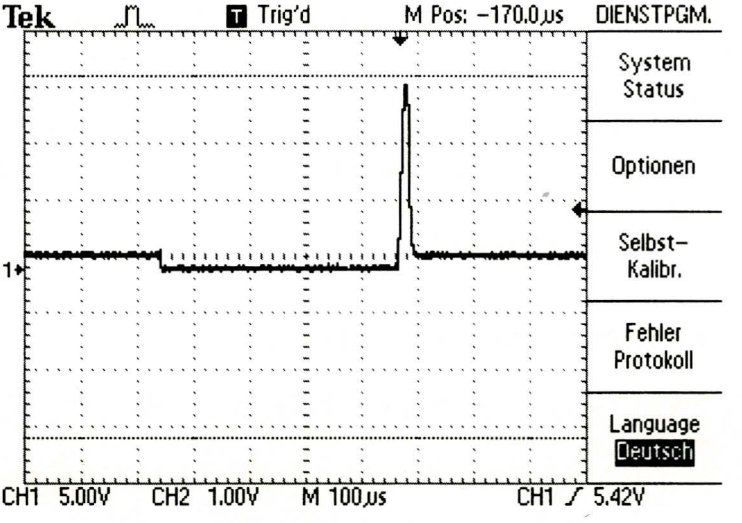



**Figure 3.42 -** Impulsion émise, mesurée au collecteur de T7 (2N3773). Le potentiomètre P7 (Puissance) est en butée à droite (graduation 10 sur l'échelle).

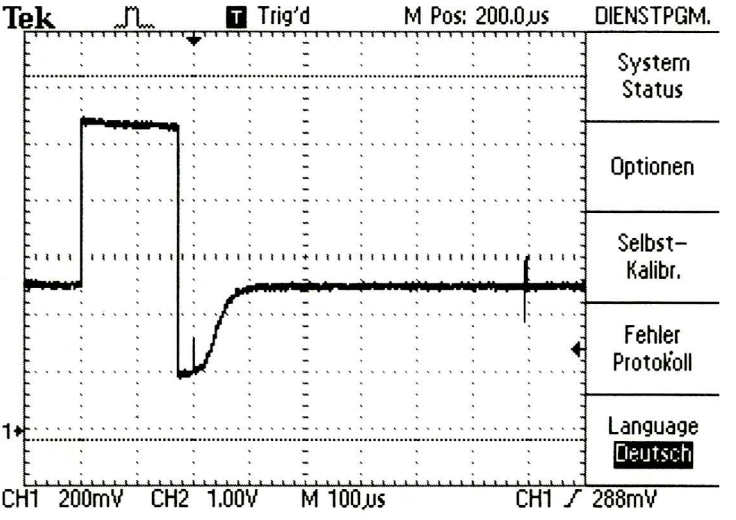



**Figure 3.43 -** Mesure du côté réception (broche 6 du LF357) avec du métal à portée de la bobine. Première mesure retardée d'environ 580 µs par les deux potentiomètres P6 et P8 des filtres à mitraille en position 10.

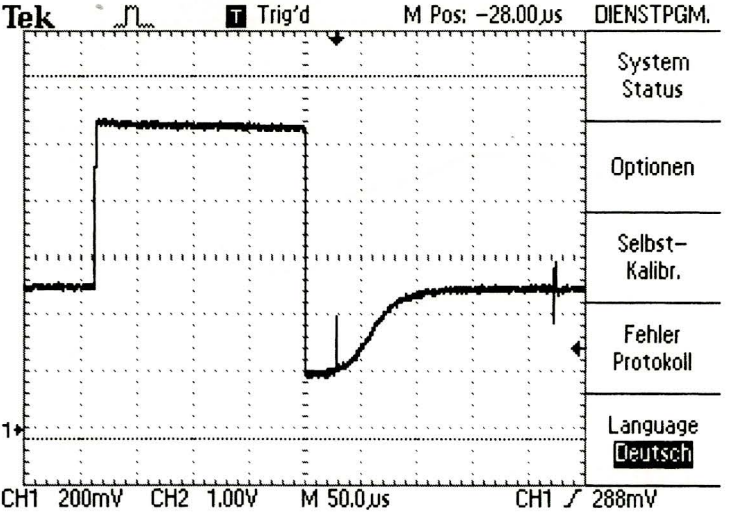



**Figure 3.44 -** Mesure du côté réception avec du métal à portée de la bobine. Première mesure retardée d'environ 170 µs.

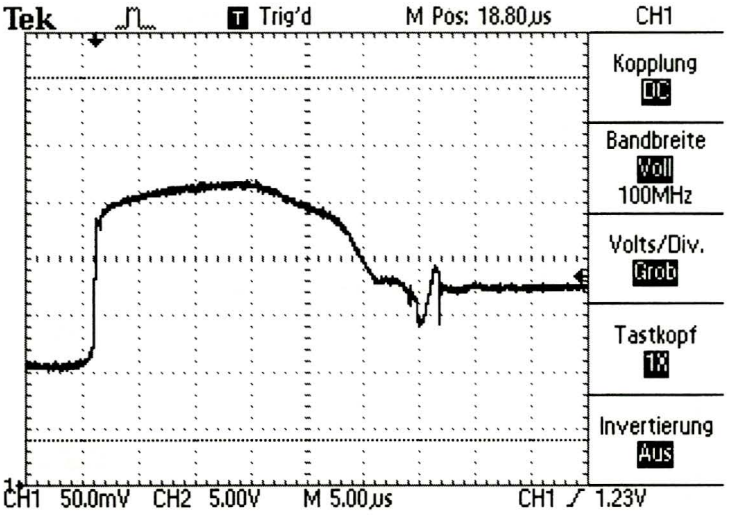



**Figure 3.45 -** Exemple d'amortissement « sous-critique », reconnaissable aux sur-oscillations qui se produisent après le signal. Point de mesure : nœud de R17, D14 et D15.

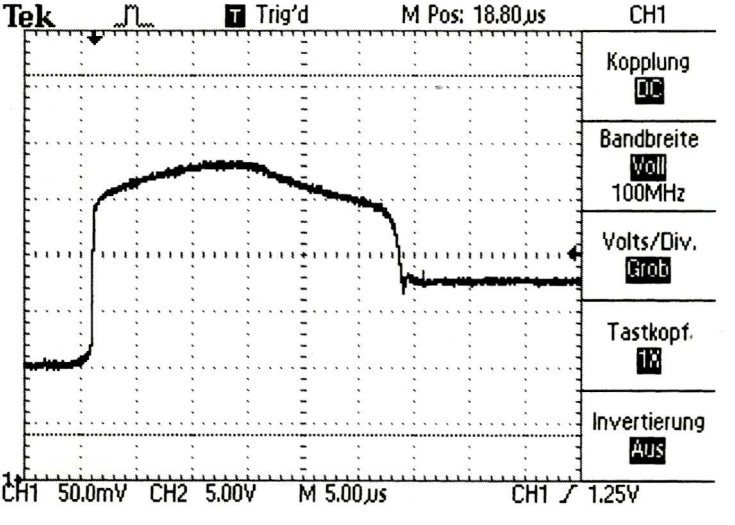



**Figure 3.46 -** Exemple d'amortissement correct. Point de mesure : nœud de R17, D14 et D15.

### 3.4.11 Réglage

Le réglage final se fait en plein air. Procurez-vous pour cela un morceau de tôle d'acier de 100 mm de côté et 3 mm d'épaisseur. Posez la bobine de 450 mm sur un bloc de styropor (polystyrène expansé) de 10 cm d'épaisseur et de dimensions adéquates.

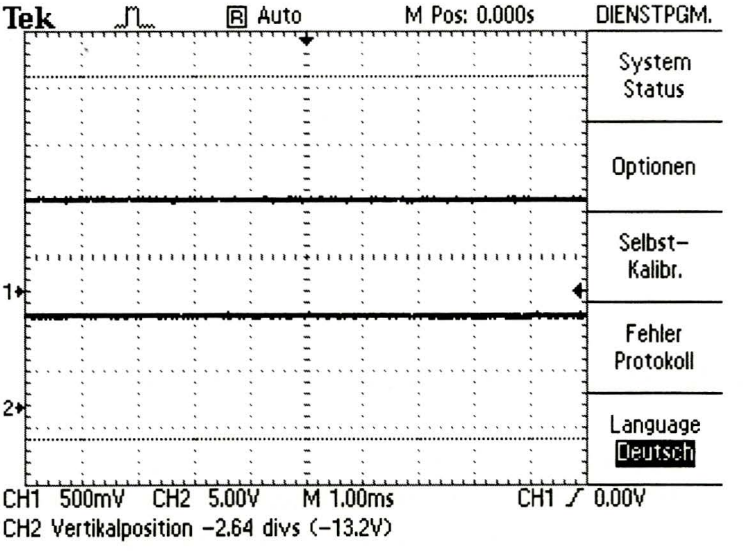



**Figure 3.47 -** Image à l'oscilloscope d'un réglage correct. Points de mesure : voie 1 sur la broche 3, voie 2 sur la broche 6 du double temporisateur 7556 (IC1).

Raccordez le détecteur et mettez-le en marche. Modifiez prudemment la position du potentiomètre P3 de 25 kΩ, juste en dessous du LF357, vers la droite jusque vers la position « onze heures ». Actionnez alors pendant trois secondes environ la touche de compensation de sol. Amenez la plaque métallique par le haut au-dessus de la bobine en mesurant la distance avec une règle en plastique. Modifiez lentement le réglage du potentiomètre de façon à obtenir encore un signal jusqu'à une distance de 80 à 90 cm. Le réglage est terminé, aussi bien pour la « petite » bobine de 230 mm de diamètre que pour la grande bobine de un mètre de côté.

### 3.4.12 Filtre à mitraille, pointage, indications du galvanomètre

Les deux boutons situés sous le galvanomètre permettent de rejeter la détection de certains débris, c'est-à-dire, comme on l'a vu précédemment, de modifier la « fenêtre temporelle » de façon à ne pas signaler la détection des pièces métalliques indésirables. En ramenant en arrière le réglage de seuil, on peut localiser précisément (pointer) un objet. Il vous faudra pour cela expérimenter vous-même en plein air pour obtenir les meilleurs résultats.

### 3.4.13 Raccordement du chargeur d'accu

Utilisez la fiche Cinch pour brancher le chargeur. Soudez le fil repéré en rouge –pôle positif– à la broche centrale ; le fil sans repère –pôle négatif– est raccordé au boîtier.

### 3.4.14 Le détecteur subaquatique DBP 2010 UW

Rien n'empêche l'électronique du détecteur DBP 2010 de fonctionner sous l'eau. Il suffit pour cela de construire un coffret étanche. La suite décrit cette modification à partir du kit subaquatique. Au vu de ces informations, il ne devrait pas être difficile de construire soi-même un détecteur subaquatique.

Les dimensions du coffret et la position des organes de commande sont données à titre indicatif et peuvent être modifiées.

Commencez par monter les coquilles 1 et 2, comme le montrent les dessins de la figure 3.48. Dans la coquille 2, on colle seulement le filetage du presse-étoupe PE9. Équipez la coquille 1 avec les organes de commande et les presse-étoupe pour les câbles de la bobine et du casque ; montez dans les fraisages ovales à l'arrière les contacts *Reed* de compensation de sol. Ils seront préalablement munis de câbles de 300 mm environ. Les logements des contacts sont ensuite remplis de mastic au silicone de façon à ne laisser dépasser que les câbles.

Viennent maintenant les presse-étoupe PE9 avec gaine anti-flambage à l'avant et à l'arrière de la coquille 1, les presse-étoupe sans anti-flambage à l'intérieur de la coquille 2. Pour le collage des filetages, nous conseillons simplement le mastic au silicone transparent, à usage sanitaire.

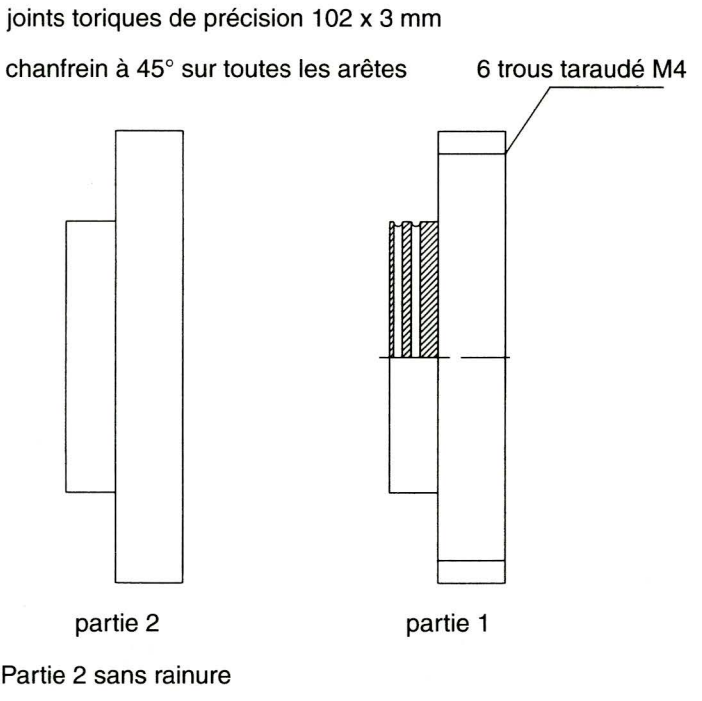



**Figure 3.48 -** Les deux coquilles du coffret étanche. La coquille 1 est munie de deux joints toriques et reste donc toujours démontable. La coquille 2 au contraire, est adaptée exactement et collée définitivement (non démontable).

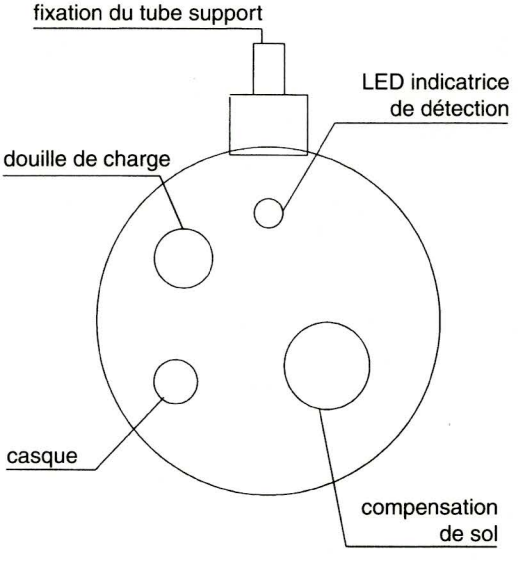



**Figure 3.49 -** Position des organes de commande dans la coquille supérieure du coffret.

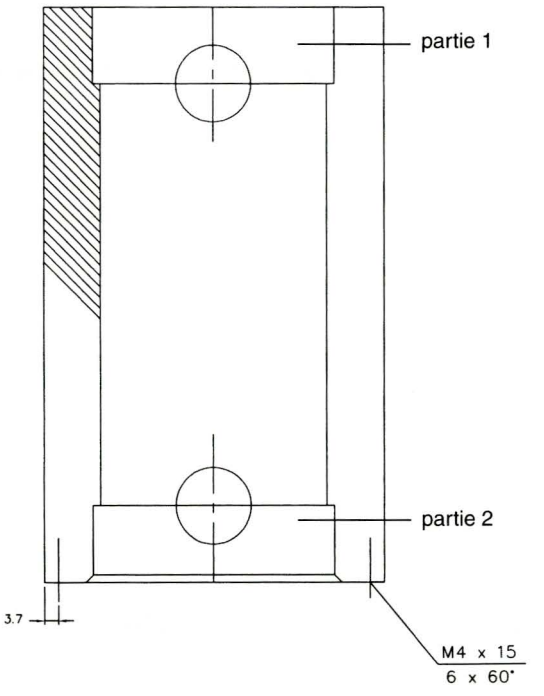



**Figure 3.50 -** Position des fixations pour le montage sur la canne télescopique.

Montez le support de LED et la LED elle-même, munie préalablement de fils repérés pour l'anode et la cathode. Fixez le cabochon de la LED par l'intérieur avec l'écrou fourni ; obturez aussi la sortie des fils avec du mastic au silicone. La douille de charge est fixée par son écrou et collée au silicone. L'interrupteur de « Compensation de sol » est fixé avec les vis M4, d'abord lâches, de façon à permettre encore la rotation. Pour une fixation sûre des vis, un peu de « frein-filet » est nécessaire (*Loctite*, etc.). Attention à la propreté des collages, pour assurer une étanchéité absolue.

Laissez maintenant les collages durcir toute une nuit. Il reste alors à graisser légèrement à la vaseline les deux gorges et les joints toriques, puis à mettre délicatement les joints en place. Glissez les câbles du casque et de la bobine à travers leurs presse-étoupe. Raccordez les touches de la compensation de sol aux deux contacts *Reed*. Passez ensuite au réglage en terrain dégagé. Fixez, avec un peu de silicone, la platine sur la batterie disposée à plat. Enduisez le plan de joint d'un peu de vaseline et assemblez le couvercle avec ses commandes bien droit avec un pression délicate, sans faire sortir les joints toriques de leur gorge. Il reste à serrer

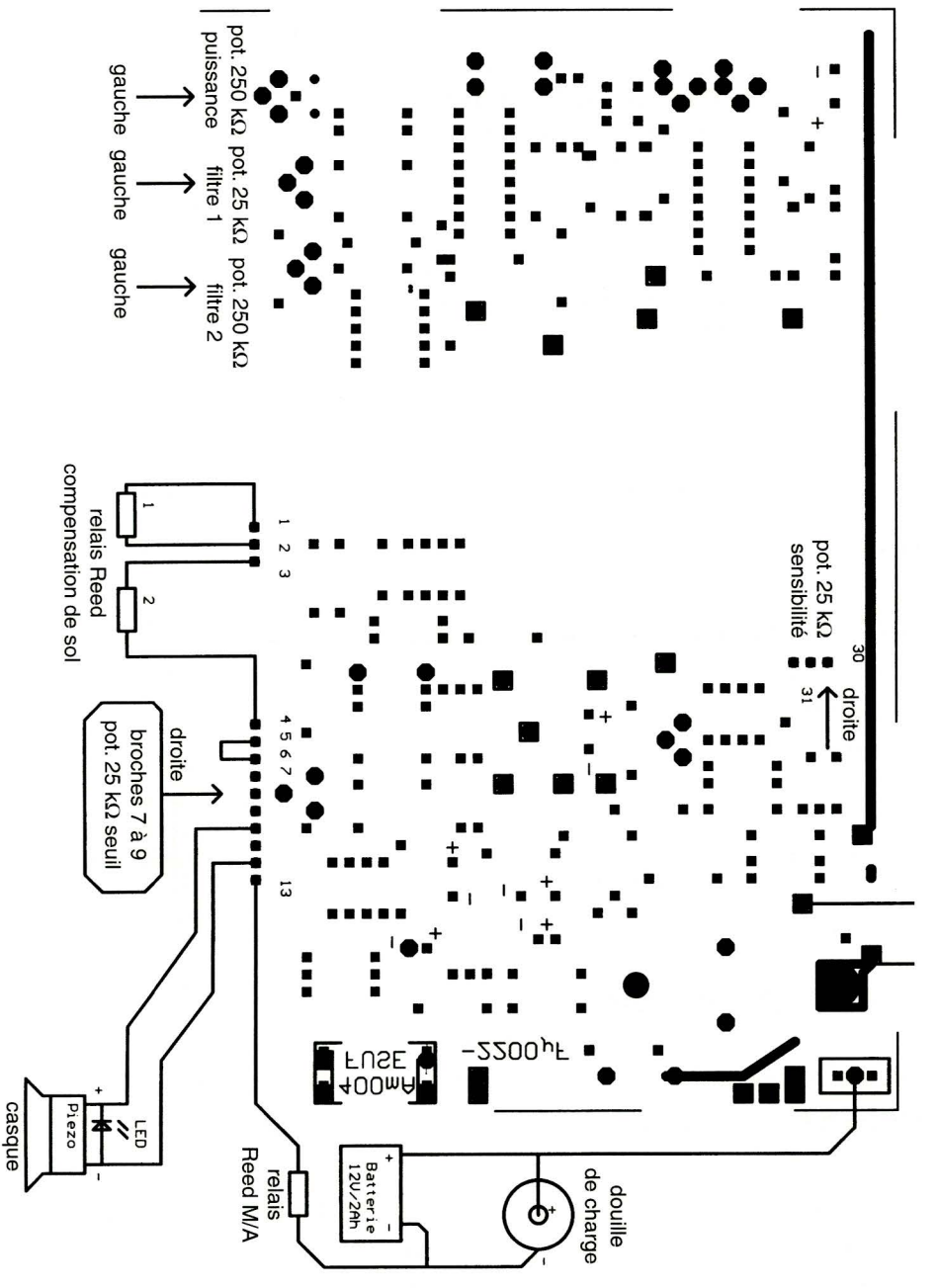



**Figure 3.51** - Raccordement des composants extérieurs à la platine.

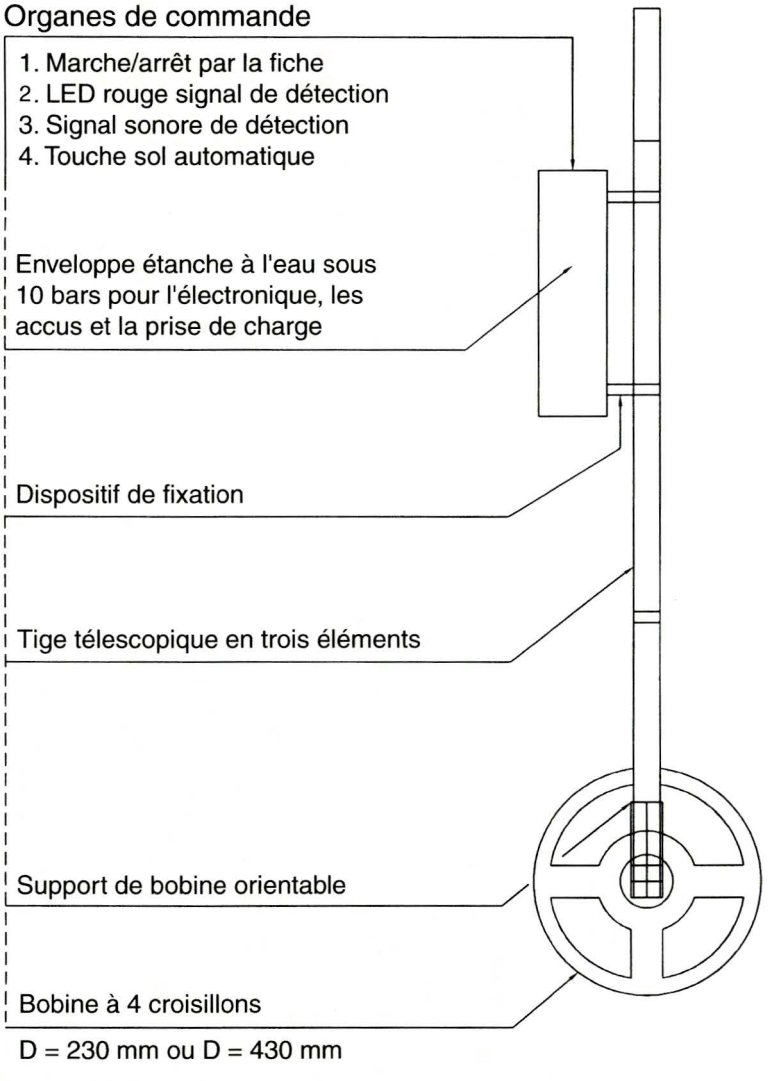



**Figure 3.52 -** Vue d'ensemble du détecteur subaquatique.

à la main les six vis du pourtour du couvercle. Le couvercle arrière du câble de la bobine est maintenant collé complètement à la colle *Tangit* (il ne pourra plus être retiré ensuite). Dégraissez préalablement avec le dissolvant *Tangit*, de façon à assurer un bon collage, donc une bonne étanchéité.

Les deux goujons destinés à recevoir la canne télescopique seront également dégraissés au dissolvant et collés à la colle *Tangit*. Là aussi, laisser durcir une nuit.

L'appareil est prêt à l'usage après l'assemblage de la canne télescopique, de la bobine et du coffret étanche avec deux écrous moletés.

### 3.4.15 Mode d'emploi du DPB 2010 UW

1. Montez la canne télescopique en vissant les éléments ensemble. Fixez le coffret étanche à l'aide des deux vis de fixation qui passent dans les trous de la partie médiane de la canne et sont vissées par le haut.
2. Fixez la bobine à son support. Enfilez les vis en plastique à travers les trous et bloquez-les de l'extérieur avec les écrous à oreilles.
3. Raccordez la bobine au coffret et serrez légèrement la bague de blocage de la fiche. Aussitôt mis en marche, le détecteur produit un son dans le casque.
4. Placez la bobine de recherche à environ 5 cm au-dessus du sol, tournez l'interrupteur de compensation du sol vers la gauche jusqu'au deuxième cran nettement sensible ; laissez-le ainsi pendant environ deux secondes. Le détecteur devient moins bruyant, voire muet. Le réglage est remis dans sa position initiale.

   Maintenant le détecteur doit être « muet », il ne doit plus produire aucun son.

   Veillez à ne pas effectuer ce réglage avec du métal à proximité de la bobine !

   Le détecteur est prêt. Avancez lentement, promenez la bobine de gauche à droite en recouvrant vos passages, pour ne rien laisser échapper. Le son le plus haut correspond toujours au centre de l'objet détecté. En même temps la LED s'allume en permanence.

La batterie sera rechargée selon les règles pratiques simples déjà énoncées pour l'entretien du DBP 2010.

# Appendices

## A.1 Schémas de quelques autres détecteurs intéressants

Voici les schémas de quelques détecteurs – certains sont très spéciaux – qui se révèlent intéressants par l'une ou l'autre particularité. L'étude complète nous mènerait trop loin du cadre de ce livre, mais nous ne voulons pas non plus frustrer les lecteurs intéressés.

Les détecteurs des figures A.1 à A.4 sont tous des modèles sinusoïdaux qui permettent la discrimination des métaux et le filtrage (réjection des métaux indésirables). On procède comme suit à la détermination des capacités associées aux bobines d'émission et de réception : accorder d'abord entre 4 kHz et 8 kHz la fréquence d'émission, au moyen de la capacité à déterminer. Rechercher pour cela la plus grande amplitude. Accorder ensuite le premier amplificateur du côté réception pour obtenir la plus grande amplitude. Les bobines sont faites de fil de cuivre émaillé de 0,5 mm de diamètre. La bobine d'émission comporte quelque 100 spires avec un diamètre intérieur de 200 mm ; la bobine de réception comporte 170 spires d'un diamètre intérieur de 80 mm. Un découplage correct permet de n'avoir aucun signal à l'entrée du premier amplificateur opérationnel, en l'absence de métal. Des variantes maison des bobines peuvent donner de bons résultats aussi. L'important est le découplage entre les deux bobines du système.

Le détecteur de type TM 5-6665-293-13 est un régal. C'est une véritable rareté ; il est capable de détecter des mines en plastique dépourvues de toute partie métallique. De plus, il est doté d'une compensation pour tous les types de sols. Selon nous, cet appareil émet un signal HF et il « infecte » la zone de recherche. Par une analyse de l'absorption d'énergie qui réagit spécialement aux matières plastiques, il capte les informations nécessaires à l'affichage. Malheureusement, nous ne pouvons donner plus d'explications sur cet appareil, faute d'avoir pu l'essayer ; le schéma nous en a été communiqué gracieusement.

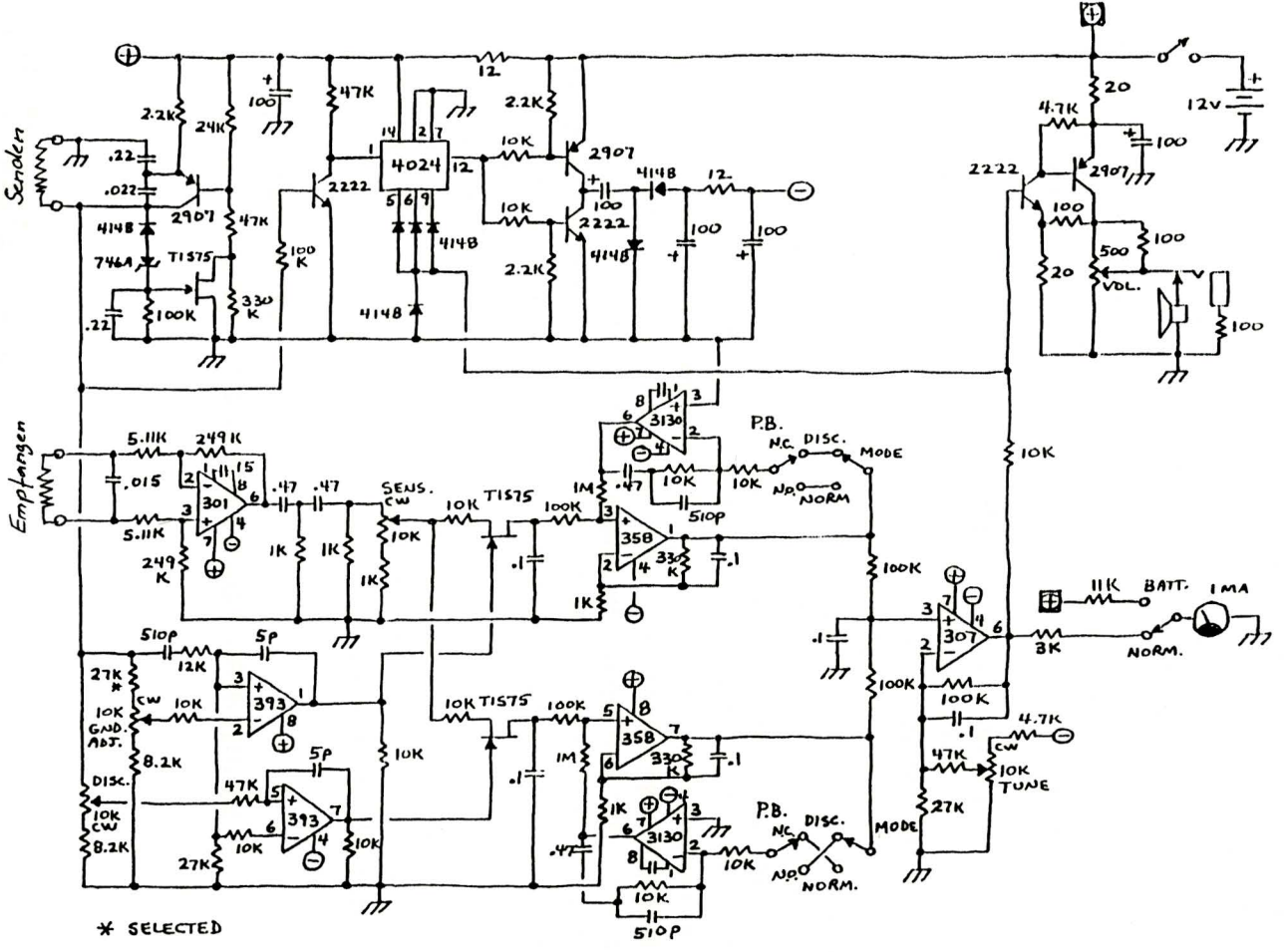



**Figure A.1 -** Ce détecteur est capable de déterminer les propriétés spécifiques d'un métal (sa nature) grâce à une mesure de déphasage (évaluation de la phase par le LM393). La technique très élaborée assure une bonne stabilité en même temps qu'une résolution élevée. (N.d.T. : *Empfangen* = réception, *Senden* = émission.)

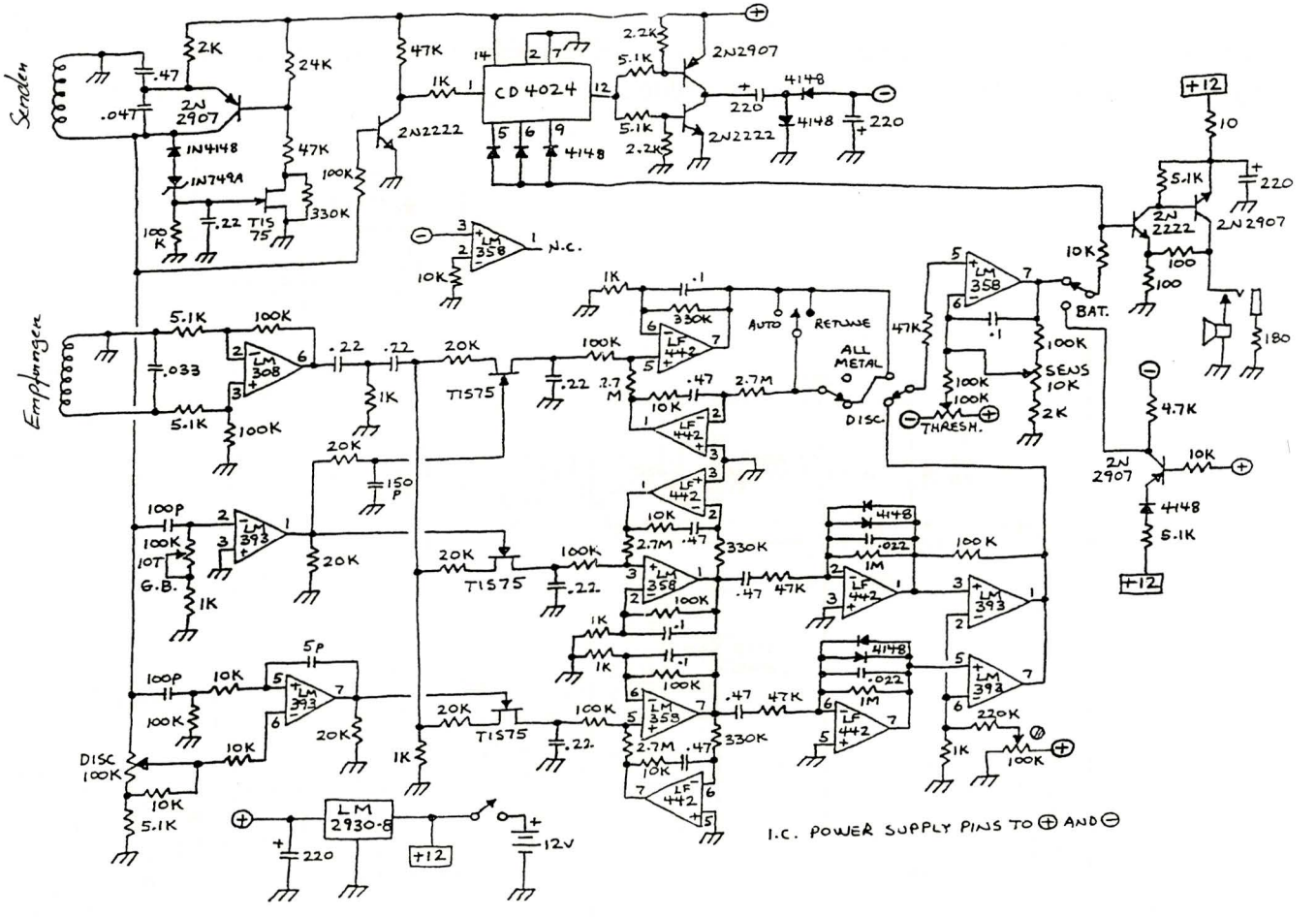



**Figure A.2 -** Modification du circuit de la figure A.2. Ce circuit plus complexe améliore la détermination de la nature du métal. (N.d.T. : *Empfangen* = réception, *Senden* = émission.)

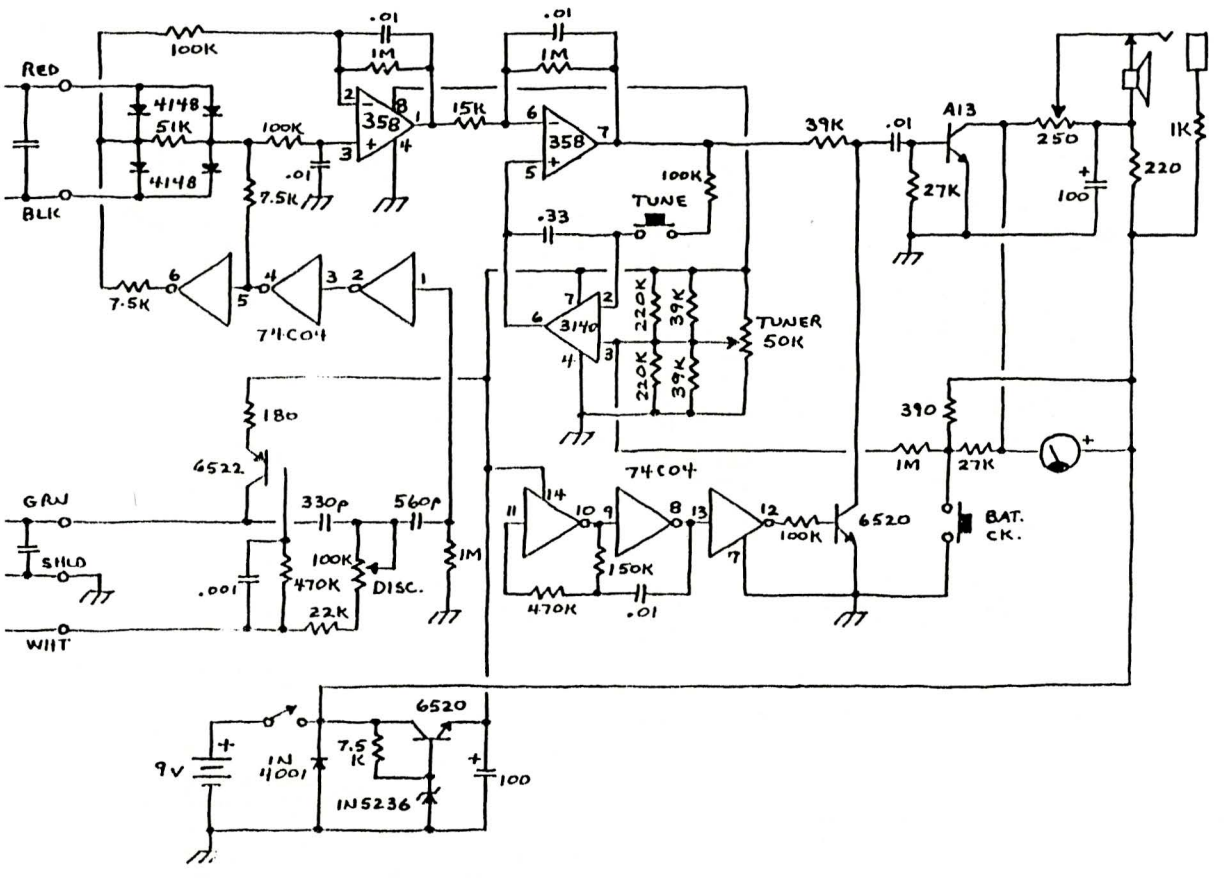



**Figure A.3 -** Détecteur sinusoïdal avec découplage complet des fonctions d'émission et de réception. Ce découplage ramène à un minimum la sensibilité aux parasites. Ce détecteur se révèle très efficace pour un coût de construction très faible.

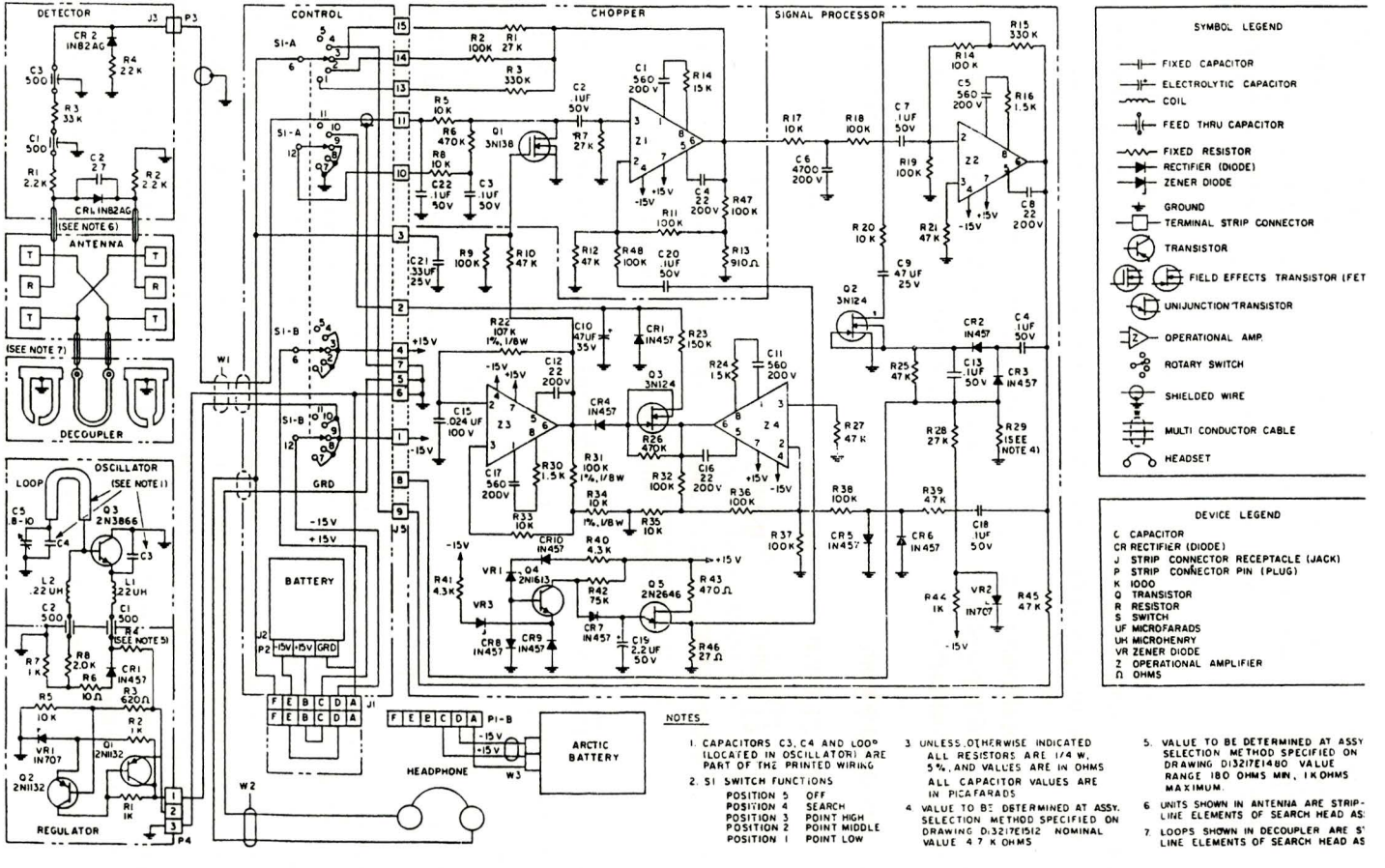



**Figure A.4 -** Détecteur TM 5 pour la recherche des mines en matière plastique. Son principe est décrit dans la section 1.3.7.

## A.2 Technique des chargeurs

Quelques mots sur l'entretien et les performances des accumulateurs utilisés. Avec le développement foudroyant des appareils électroniques de toutes sortes, la recherche de la mobilité et de la disponibilité permanente (*standby*) a réagi naturellement sur les exigences imposées aux techniques de charge. Les détecteurs de métaux s'inscrivent dans le groupe des appareils électroniques visés plus haut. Une « charge » toute simple, comme on la pratiquait dans le passé, ne répond plus aujourd'hui aux exigences du concepteur d'électronique ni du fabricant de l'appareil. Les accumulateurs à charge rapide ont rendu obligatoire le respect scrupuleux des prescriptions de décharge, de test, de rafraîchissement des vieux accus et des cycles d'entretien. Si on réfléchit aux paramètres de la batterie à surveiller pendant la charge – comme la tension par élément, la température et la pression – à la diversité des processus – formation de l'accu, charge rapide, intermédiaire, d'entretien, il est évident que la solution ne sera pas obtenue avec quelques composants de fonds de tiroir. Les microcontrôleurs sont les seuls à résoudre ces problèmes techniques complexes de façon efficace et économique.

Les quatre types d'accumulateurs les plus usités sont :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | Plomb et électrolyte gélifié | Pb | maxi 7 éléments de 2 V |
| 2. | Cadmium-nickel | CadNi | maxi 12 éléments de 1,2 V |
| 3. | Nickel-hydrure métallique | Ni-MH | maxi 12 éléments de 1,2 V |
| 4. | Lithium-ion | Li-ion | maxi 4 éléments de 3,6 V |

La société AD Elektronik de Wetzlar propose des chargeurs exceptionnels, avec des solutions techniques adaptées à toutes les charges, à des prix qui restent abordables. Elle nous a aidés dans l'élaboration de cette description.

L'exemple d'un accumulateur CadNi nous permettra de mettre en évidence les processus de charge. Commençons par un rappel des grandeurs caractéristiques des accumulateurs.

**Capacité** : la capacité nominale d'un accumulateur est donnée pour une décharge en cinq heures, C5, ou en dix heures, C10. Remarquons ici que des accus neufs, tout comme des accus qui ont été stockés longtemps, doivent d'abord être chargés et déchargés deux ou trois fois. Lors du premier cycle de charge-décharge, l'accumulateur restitue environ 70% de sa capacité nominale, environ 95% au

deuxième cycle. À partir du troisième cycle, il peut donner sa capacité nominale. Une capacité nominale de 500 mAh, par exemple, signifie que l'accu peut délivrer un courant de 50 mA (C/10) pendant dix heures à 20 °C, avec une tension de fin de décharge de 0,9 V. La température ambiante exerce une influence non négligeable sur la capacité. La capacité maximale est atteinte entre 20 et 25 °C. Elle tombe dans la plage inférieure de température : environ 85% à 0 °C, environ 50% à –30 °C. À l'autre bout de la plage de température, il ne faut pas dépasser 50 °C (capacité de 95%) sous peine d'abréger la durée de vie.

**Durée de vie** : les accus CadNi supportent en principe un millier de cycles de recharge. Toutefois, un certain nombre de circonstances jouent un rôle décisif sur l'espérance de vie. Si les éléments ne sont déchargés qu'à 60% de leur capacité, le nombre de cycles possibles est doublé ; si on se limite à 30%, le nombre de cycles passe même à plusieurs milliers. Au contraire, les décharges profondes en-dessous de 0,9 V ont un effet néfaste sur la durée de vie.

L'intensité du courant de décharge a peu d'effet sur la durée de vie.

Du fait de la conception des accumulateurs et des phénomènes électrochimiques qui s'y produisent, les températures élevées ont un effet négatif sur la durée de vie. Un fonctionnement permanent à 40 °C réduit à peu près de moitié la durée. Les températures supérieures à 50 °C sont à éviter en principe.

**Fin de vie** : un accumulateur est considéré comme usagé quand sa capacité est tombée à moins de 60% de sa valeur nominale. Les phénomènes qui accompagnent le vieillissement sont une élévation de la résistance interne et une élévation conséquente de la température, autant pendant la charge que pendant la décharge. Si un accumulateur subit une décharge complète, à la suite d'une erreur de manipulation, les dommages sont irréversibles.

La vitesse de l'auto-décharge des accus CadNi dépend aussi fortement de la température. Au bout de douze mois à –20 °C, la capacité est encore de 90% ; les éléments à électrodes frittées perdent la moitié de leur capacité en quarante jours à 20 °C, en vingt jours à 30 °C et en sept jours à 60 °C. L'auto-décharge complète est atteinte en deux mois et demi à 30 °C, en quinze jours à 60 °C. La vitesse d'auto-décharge dépend toutefois fortement du type et du fabricant. Le stockage

des accumulateurs CadNi doit se faire entre 0 °C et 45 °C. Les batteries fortement déchargées ne doivent pas être stockées sans avoir été rechargées ; les batteries normalement déchargées peuvent être stockées sans autre forme de procès.

## Procédés de recharge

Pour apprécier au mieux les procédés de recharge, passons-les tout d'abord au revue.

### Procédé standard

Le procédé standard consiste à appliquer un courant de charge constant d'un dixième de la capacité nominale. Comme la charge n'est pas un processus exempt de pertes, le temps nécessaire n'est pas dix heures, mais quatorze, pour charger un accumulateur complètement avec un courant de C/10. Selon les évaluations CEI, il faut même seize heures. Ce processus relativement lent présente l'avantage de laisser aux gaz dégagés par la charge (hydrogène et oxygène) dans l'accumulateur le temps de se recombiner, ce qui limite la pression interne à une valeur inoffensive. Les tentatives de charge rapide sur des accus CadNi ordinaires (non destinés à la charge rapide) risquent de provoquer une forte surpression et l'ouverture de la soupape de sécurité. L'épanchement d'électrolyte détériore l'accumulateur et risque même de le détruire. Toutefois, une grande partie des accumulateurs CadNi disponibles sur le marché supporte la charge rapide. Ces éléments se chargent avec un courant égal à C/3 sans précaution particulière.

Quand un accumulateur subit régulièrement une décharge partielle suivie par une recharge complète, un autre problème se pose, celui de l'effet de mémoire. Ce phénomène est provoqué par la formation, sur les électrodes de nickel, de cristaux d'hydroxyde de potassium qui en réduisent la surface effective. Le résultat est une diminution de la capacité de l'accumulateur et par suite une surcharge supplémentaire, laquelle aggrave encore le phénomène. Normalement, on peut supprimer plus ou moins l'effet de mémoire par une décharge rapide suivie immédiatement par une recharge. Toutefois il faut impérativement éviter autant la décharge profonde que la surcharge.

Les procédés élaborés de charge rapide prennent en compte cet effet, dans la mesure où ils procèdent à une décharge avant de commencer la charge, de façon à éviter les recharges partielles. Il reste que dans le cas de la charge rapide, il faut respecter la tension, la pression et la température propres à chaque type

d'accumulateur. Les différents procédés de charge rapide ne se distinguent les uns des autres en principe que par la façon de surveiller le processus de charge et par le critère de fin de charge.

### Tension absolue de fin de charge

Comme la tension d'un élément CadNi en fin de charge dépend, évidemment, de la température, de sa fabrication et de son âge, la tension absolue est un critère de fin de charge totalement inadapté. À basse température, l'accumulateur risque une forte surcharge, à haute température il risque de ne pas être rechargé complètement. Dans le cas d'une batterie de plusieurs éléments, certaines électrodes peuvent se trouver en court-circuit, surtout à la fin de la vie utile de la batterie. Comme la batterie ne peut plus atteindre sa tension de fin de charge, les autres éléments subissent une forte surcharge et risquent de se transformer en une bombe.

### Procédés de mesure du temps

Les procédés de charge temporisée sont techniquement les plus faciles à mettre en œuvre. Ils consistent à appliquer simplement à l'accumulateur un courant déterminé pendant un temps déterminé. L'inconvénient de ces méthodes est que les dispersions de capacité entre les échantillons d'accus ne sont pas prises en compte. De ce fait, la temporisation risque de produire des surcharges, donc des détériorations, sur une batterie composée d'éléments provenant de fabricants ou de séries différents.

### Température absolue de fin de charge

La température n'est pas non plus un critère satisfaisant de fin de charge, pour les mêmes raisons que la tension absolue. S'y ajoutent des problèmes de contact thermique entre l'élément et le capteur de température.

### Critère de l'écart de température

La surveillance de la différence entre la température ambiante et celle de l'accumulateur est plus sûre en principe. Toutefois, la détermination de la différence critique ne se révèle pas si facile, parce qu'elle dépend aussi du type d'accu et du contact thermique avec le capteur. De plus, lorsqu'arrive la fin de charge, la pression est déjà élevée dans l'accumulateur et une certaine surcharge est inévitable.

### Gradient de température

La vitesse de variation de la température peut être un indicateur beaucoup plus précis de la fin de charge. On peut prendre par un procédé analogique ou numérique la dérivée de la température pour mettre fin au processus de charge dès que la température commence à s'élever notablement. Ce point coïncide exactement avec le maximum de tension et presqu'exactement avec la charge à 100%. Malheureusement, l'effet de l'environnement sur l'accumulateur et sur le capteur de température peut rendre difficile, ou même impossible, une mesure précise.

### Gradient de tension

On obtient une indication encore plus sûre si on observe la variation de la tension de l'accumulateur. Juste avant d'atteindre sa capacité maximale, l'accumulateur subit une forte augmentation de tension. Si on arrête le processus de charge à la fin de cette augmentation de tension, on atteint l'état de charge optimale sans passer par une augmentation notable de la température ni de la pression. Malheureusement, ce critère de fin de charge a aussi un inconvénient : des accumulateurs endommagés, même légèrement, peuvent rendre difficile l'appréciation de l'augmentation rapide de la tension. Il en résulte une surcharge et une détérioration supplémentaires.

Voilà pour la théorie. Comme on le voit à l'examen de tous ces procédés, chaque critère de fin de charge présente au moins un inconvénient. Il n'existe pas de solution idéale, mais à l'âge de l'ordinateur, le microprocesseur a changé aussi les chargeurs d'accumulateurs. Avec ou sans ordinateur, on aura vite calculé qu'il est rentable d'acheter un très bon chargeur, auquel il faudra consacrer de 150 à 200 €. Naturellement il permettra de charger convenablement aussi les autres accumulateurs utilisés couramment à la maison. Il peut être intéressant de calculer combien d'accumulateurs on économisera en utilisant un bon chargeur : les accus ne sont pas bon marché et un chargeur professionnel s'amortit relativement vite.

Le chargeur d'accumulateurs en service chez nous est d'un type rapide qui charge la batterie en une à deux heures, tout en excluant la surcharge. Le courant de charge est réglable à 100 mA, 500 mA, 1 A ou 2 A pour des batteries de 12 éléments au maximum. Cela permet de charger des accumulateurs de 100 à 4000 mAh, ce qui devrait suffire pour satisfaire tous les besoins courants. Les accus n'ont pas à être déchargés préalablement, parce que leur état de charge est évalué avant le début de la charge. L'évaluation de l'état de l'accumulateur se fait par la mesure de son impédance (évolution dans le temps de l'intensité du courant

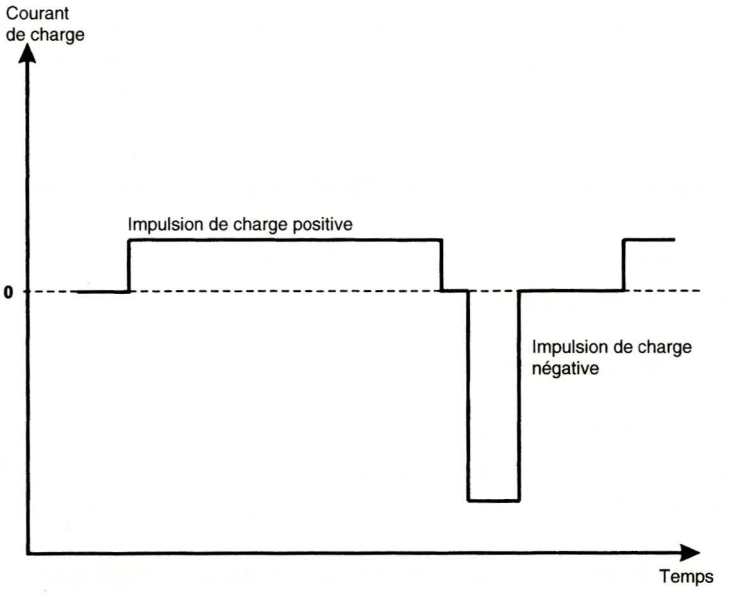



**Figure A.5 -** Diagramme des impulsions de charge.

de charge et de la tension). Ce procédé est indépendant du type d'accumulateur et correspond à une durée de vie de cinq mille cycles de charge, à condition que les accus ne subissent pas de décharge profonde. Des mesures particulières sont prises aussi pour éviter l'effet de mémoire. Après la charge, l'appareil lance automatiquement une programme de mesure qui vérifie l'état de charge de l'accu raccordé et la complète en cas de besoin.

L'un des éléments essentiels du procédé de charge est la forme spéciale de la courbe d'intensité de charge. L'accu est chargé par un fort courant et déchargé périodiquement par un courant encore plus intense (figure A.5).

Le but de cette procédure est le suivant : le passage du courant de charge provoque par électrolyse le dégagement de bulles d'oxygène microscopiques sur les électrodes. De ce fait, la surface effective des électrodes est réduite, la résistance interne de l'élément augmente. La charge s'en trouve réduite et le dégagement de chaleur augmenté. Pour éviter cela, on intercale l'impulsion de décharge périodique. Cette impulsion dissout les bulles des électrodes et force la recombinaison de l'oxygène avec l'électrode négative. C'est ainsi que les accumulateurs

supportent sans problème des courants de charge de 4C. Toutefois le procédé n'est fiable que si les bulles de gaz sont encore relativement petites. La fréquence d'une impulsion de décharge par seconde est une valeur convenable.

## A.3 Commandements du chasseur de trésors

1. Prenez connaissance de toutes les dispositions légales et réglementaires : voir la section « Réglementations », page 175.

2. Respectez les sites classés.

3. Ne laissez derrière vous ni dégâts ni traces inutiles. Il est très simple de retirer du sol l'objet découvert sans terrassement gigantesque. Rebouchez le trou aussitôt et laissez les lieux dans l'état où vous les avez trouvés.

4. Contribuez à nettoyer l'environnement en même temps que vous vous rendez service à vous-même : ne jetez pas simplement à quelques mètres les capsules, papier d'alu ou canettes métalliques ; vous risqueriez de les détecter à nouveau l'année prochaine ! Alors rendez à la collectivité et à vous-même le service d'emporter et d'évacuer proprement ces déchets (et les autres).

5. Ne pénétrez pas sans autorisation sur une propriété quelconque. Demandez-la d'abord au propriétaire ; une demande courtoise est rarement rejetée.

6. Si vous tombez sur des munitions, marquez l'endroit et avertissez la police ou la gendarmerie.

7. Soyez scrupuleux. Ne piétinez pas les champs, ne passez pas sous les clôtures. Refermez les portes des parcs.

8. Ne laissez pas passer une occasion de montrer votre détecteur de métaux et de donner des explications si on vous le demande.

9. Si vous tombez sur un autre chercheur de trésor, présentez-vous. Le partage d'expérience peut être profitable à l'un et à l'autre.

10. N'oubliez jamais, quand vous promenez votre détecteur, que vous êtes un représentant de votre « confrérie ». Faites en sorte que votre comportement ne jette pas le discrédit sur vos confrères.

# A.4 Exemple de données géophysiques et de résultats de mesures dans la région de Dillenburg (Allemagne)

## Recherches géophysiques régionales

1. **Gravimétrie**

De grandes parties de la chaîne schisteuse dans la région du sud rhénan, exception faite de la bordure sud (Taunus), présentent une valeur de gravité supérieure à la normale. Les différences entre les anomalies de gravité elles-mêmes, de la partie est de la chaîne schisteuse à l'Eifel et au Hunsrück montrent qu'il doit y avoir des conditions différentes en profondeur. On ne connaît pas encore de représentation claire des causes de ces différences géophysiques. La réponse définitive à ces questions suppose un relevé aéromagnétique complet de la région et des mesures sismographiques complémentaires. La région étudiée, autour de la feuille Dillenburg, se trouve dans une zone qui accuse de forts accidents gravimétriques positifs. La carte de la gravité de la chaîne schisteuse rhénane peut être divisée en nombreuses zones élémentaires. Toutefois, on distingue sur une vue générale, figure A.6, deux zones nettes d'accident négatif qui traversent le massif en direction des monts Métallifères (*Erzgebirge*). L'un de ces deux axes de gravité réduite traverse la région de Coblence vers Frankenau, l'autre s'étend plus au nord vers la région Waldbröl-Fürstenberg ; les deux sont traversés par un élément orienté nord-sud. La feuille Dillenburg se trouve au sud de ces deux zones orientées vers les monts Métallifères.

La figure A.6 est un extrait de la carte gravimétrique de Hesse (échelle 1:300000). La carte est basée sur les points gravimétriques mesurés dans le cadre du relevé géophysique national. L'extrait de carte présenté rapporte les valeurs de gravité de Bouguer rapportées à une altitude de 200 m. L'accident gravimétrique négatif évoqué plus haut, orienté vers les monts Métallifères, s'étend de la région de Marienburg vers Lüdenschied, Würgendorf jusqu'à Banfe. Plus loin au sud, une crête faiblement positive s'étend de la région de Nord-Neustadt à Herbornseelbach, par Breitscheid. Entre cet axe positif et le renflement qui traverse au sud la région Mengerkirchen-Altenkirchen, on trouve une faible dépression dans la région de Driedorf. Les axes cités subissent une légère inflexion sur la ligne Fischelbach-Eibelshausen-Altenkirchen, ou bien la suivent. De même se révèle dans la partie ouest de

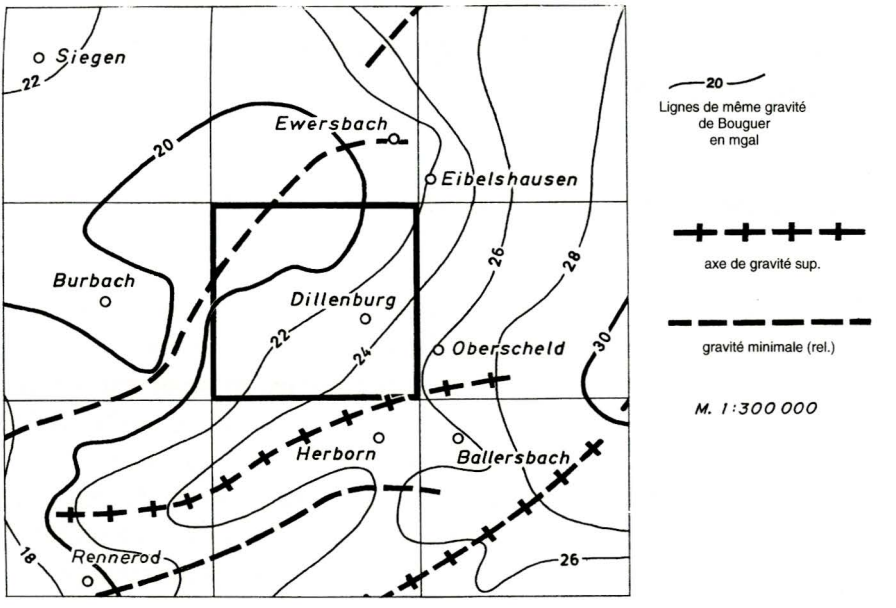



**Figure A.6 -** Carte générale de la gravité dans la région de Dillenburg.

l'extrait de carte une déformation de la structure orientée NNO-SSE. Il est très important de noter qu'on ne trouve dans la chaîne schisteuse que les structures de gravité variscites. La dépression qui traverse la chaîne au nord de Dillenburg est à mettre en relation avec les mesures magnétiques dans la région de Dillenburg-Haina.

2. **Sismographie**
Aucune mesure sismographique n'a encore été effectuée dans la région de la feuille Dillenburg. Le traitement de cette région suivra les règles établies pour la région de Sieger.

3. **Magnétométrie**
La figure A.7 représente un extrait des mesures aéro-magnétiques de la zone de Dillenburg. Les mesures ont été effectuées à altitude constante de 750 m au-dessus du niveau de la mer. Contrairement aux cartes magnétométriques régionales, cet extrait représente les accidents de l'intensité totale du magnétisme terrestre. Les basaltes du sud-ouest du Westerwald se manifestent fortement. La bande anormale dirigée OSO-ENE correspond à la partie sud-ouest de la zone Dillenburg-Haina. Cet axe magnétique positif s'étend de la zone est du Kellerwald vers Dillenburg par Frankenau. Le prolongement de

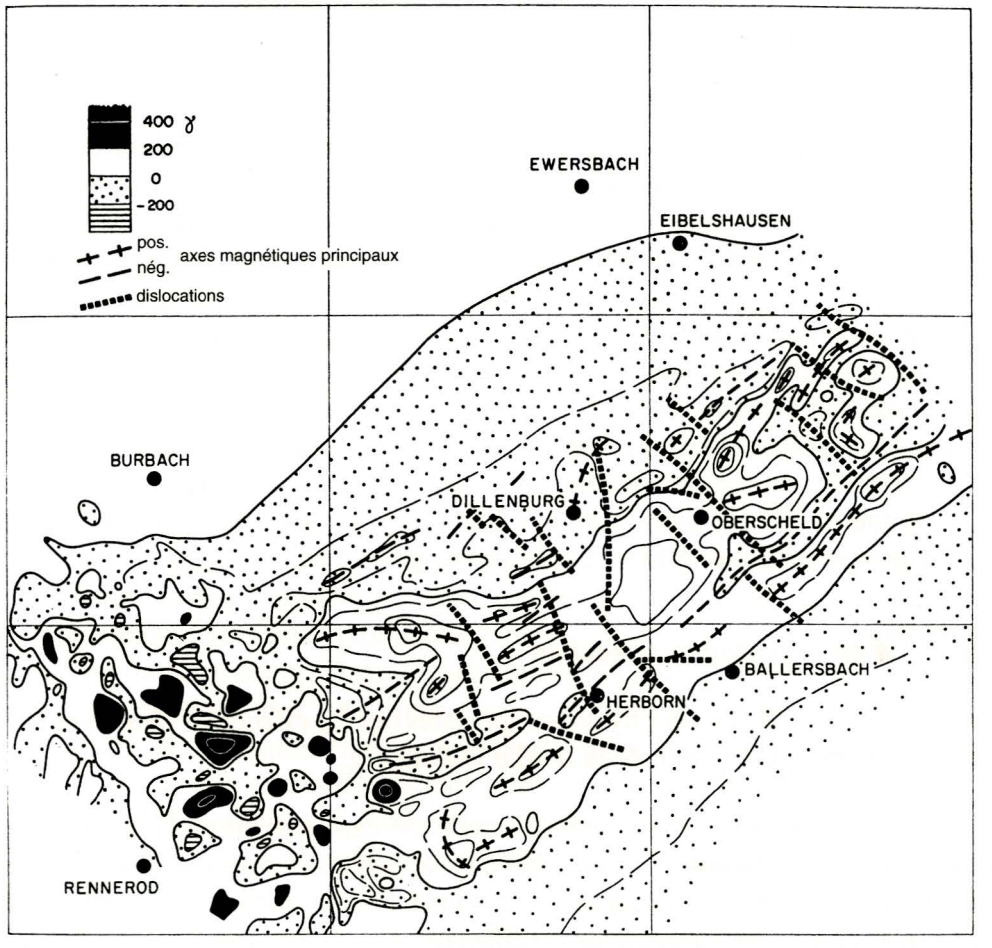



**Figure A.7 -** Carte des accidents de l'intensité magnétique totale.

la région Hadamar/Bad Ems est à rechercher au sud-ouest du Westerwald. Si on divise en lignes de crête la carte de l'intensité totale, il est évident que les zones anormales isométriques sont déviées ou remplacées par de nombreuses anomalies transversales orientées de nord-ouest à nord.

La carte correspondante est représentée par la figure A.7. Comme les relevés ont été faits à 45° par rapport à la direction nord-sud, les effets d'interpolation sont peu vraisemblables. On trouve une corrélation entre de nombreuses perturbations transversales et les couches géologiques supérieures. Dans quelques cas, la vérification par des mesures terrestres serait

justifiée. Le fait que les interruptions des lignes de crête correspondent à des intrusions d'ardoise en profondeur n'est pas vraisemblable si les interruptions sont fréquentes.

La carte magnétique se divise clairement en trois parties. En face de la zone magnétique quasi-stérile du Dévonien sédimentaire au nord se trouve la partie centrale parsemée de roches volcaniques basiques. Alors qu'à l'ouest ce sont les basaltes du Westerwald qui provoquent l'essentiel des perturbations magnétiques, celles de l'est sont liées aux ardoises de Dill-Mulde. D'après la structure de la carte magnétique, les changements de bandes sont très prononcés. Alors que dans la partie ouest de la feuille Herborn les lignes de crête sont presque orientées E-O, c'est la direction NE-SO qui domine dans la feuille Oberscheld. Les surfaces de séparation dues aux lignes de structures ont le comportement correspondant. Les lignes de transition principales, orientées NO-SE dans la région ouest, sont presque orientées N-S dans la région des feuilles Herborn et Dillenburg.

### Mesures géophysiques spéciales

De nombreuses études géophysiques spéciales ont été effectuées dans le cadre de la cartographie géologique de la feuille Dillenburg.

La feuille Dillenburg est la première à avoir été cartographiée à l'aide de la géophysique dans le massif schisteux rhénan. Au début des travaux, de nombreuses questions se sont posées sur la façon de mettre en pratique les moyens de la géophysique dans la cartographie des feuilles du massif paléozoïque médian. Quelques possibilités étaient certes connues par les études géophysiques menées dans le cadre du « Programme de recherches sur le minerai de fer en Hesse », mais des zones sombres subsistaient quant au travail systématique dans cette région d'une équipe pluri-disciplinaire de mesures géophysiques. Ces difficultés se présentaient autant du côté géophysique que du côté géologie. Du point de vue géophysique, on ne savait pas quels corps géologiques pouvaient être retenus. Il y avait des différences d'interprétation considérables suivant les collaborateurs sur les possibilités et les limites de l'évaluation. La méthode de travail nouvellement recommandée pour les feuilles paléozoïques du Mittelgebirge a été mise au point, dans des domaines essentiels, sur la feuille Dillenburg.

1. **Mesures géo-magnétiques**
Les mesures du magnétisme terrestre sont particulièrement indiquées pour expliquer les conditions tectoniques. En plus des mesures de quelques corps éruptifs de base, des études magnétiques ont été menées de préférence dans les zones tectoniques lourdes. Dans la zone de la feuille, on trouve aussi bien de nombreuses ardoises à plus forte magnétisation que des sédiments magnétiquement quasi-stériles. Comme on l'a vu dans les travaux cités ci-dessus, le profil tectonique des zones d'ardoise et de sédiments de la région Lahn-Dill a été analysé à l'aide de mesures géomagnétiques. La répartition des lignes principales de perturbations tectoniques sur la carte des crêtes et vallées donne une structure à laquelle peut se raccrocher la cartographie de surfaces géologiques. La carte déjà publiée de la structure magnétique de la région Donsbach-Langenaubach est reprise à l'échelle 1:25000 comme complément tectonique de la carte géologique Dillenburg.

Dans les sédiments magnétiquement quasi-stériles, on peut effectuer des mesures micro-magnétiques. On trouve, sur la carte structurelle qui accompagne la carte géologique, une analyse micro-magnétique de la région de Kratzeberg. Dans les sédiments solidifiés par diagénèse et fortement déformés par les mouvements tectoniques, la mesure micro-magnétique est comparable aux mesures dans les crevasses aux endroits accessibles. Les causes d'accidents mises en évidence par Wendler en 1956, telles qu'elles peuvent se présenter avec des matériaux faiblement solidifiés par diagénèse, sont complètement exclues du paléozoïque. Les frontières magnétiques trouvées entre les basaltes au nord de Langenaubach et un corps picritique à l'ouest de Sechshelden ont été reportées directement sur la carte.

2. **Mesures géo-électriques**
Alors que les sondages géo-électriques en profondeur du paléozoïque soumis à de fortes contraintes tectoniques donnent souvent des résultats erronés, on peut parfaitement utiliser les profils électriques pour le relevé et la mise à jour d'horizons de plus forte résistance. Ce procédé a été utilisé pour la première fois dans la région de Desberg, au nord-ouest de Manderbach. La figure A.8 montre comment quelques profils permettent de relever le tracé enveloppant d'un horizon et le déplacement d'une perturbation. Lors des recherches dans la région de Desberg, on a pu suivre des horizons très denses et compacts dans une grande zone de quartzite. Même dans cette région de conductivité relativement mauvaise en général, des zones de la quartzite se distinguent encore clairement, par leur résistance extraordinai-

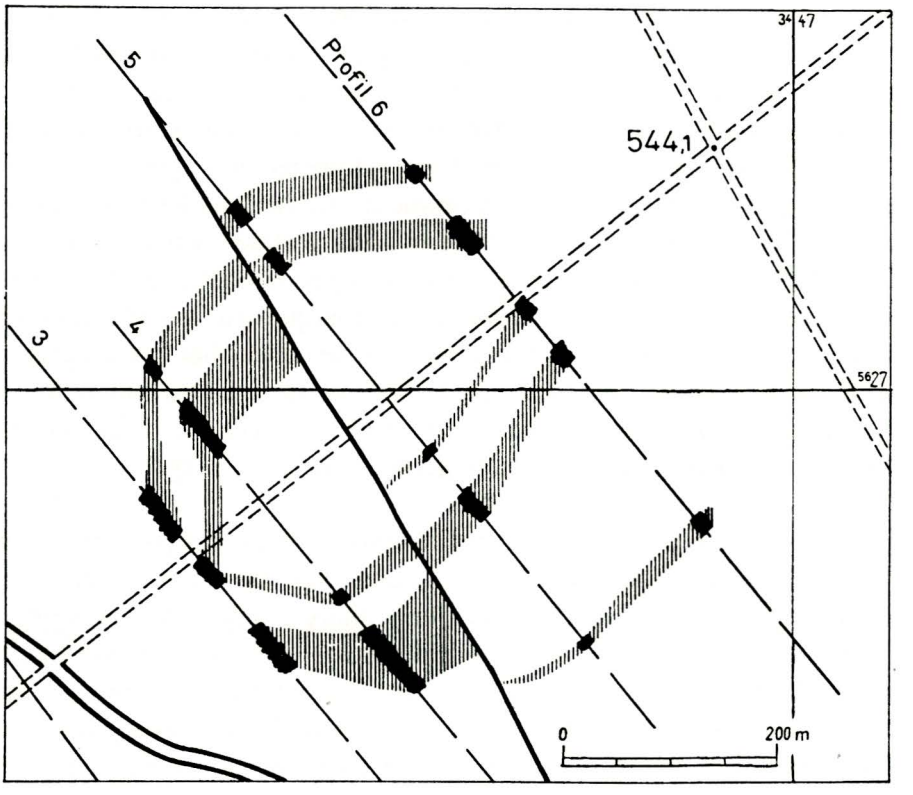



**Figure A.8 -** Carte géo-électrique de Desberg.
En noir : les zones de haute résistance ; hachurées : les zones de moindre résistance.

rement élevée, de la chaîne de montagnes sous-jacente. Les dents de scie caractéristiques des profils individuels peuvent être rapprochées sans difficulté des indications homologues des profils voisins. Le niveau de base relatif de la conductivité varie avec la pente en fonction de l'humidité retenue par la montagne. C'est pourquoi il n'est pas conseillé de reporter les mesures de résistance sur une carte iso-ohmique. Alors que dans la zone du profil 1 les indicateurs sont clairs et univoques, le profil 4 ne conduit à aucune conclusion. Ici on a commis l'erreur de mesurer dans la vallée et sur la montagne avec une profondeur de pénétration constante. La profondeur de pénétration a = 4 m, logique pour la cote 468,4 sur les hauteurs, est complètement insuffisante pour la cote inférieure de 315,5 m. Les effets de mitraille potentiels sont manifestement plus élevés dans la vallée. Le rapprochement de profils de résistance électrique et de sondages verticaux permet d'éviter ces erreurs.

**Figure A.9 -** Résultat des mesures au scintillomètre à l'ouest de Donsbach ; carte isorade.

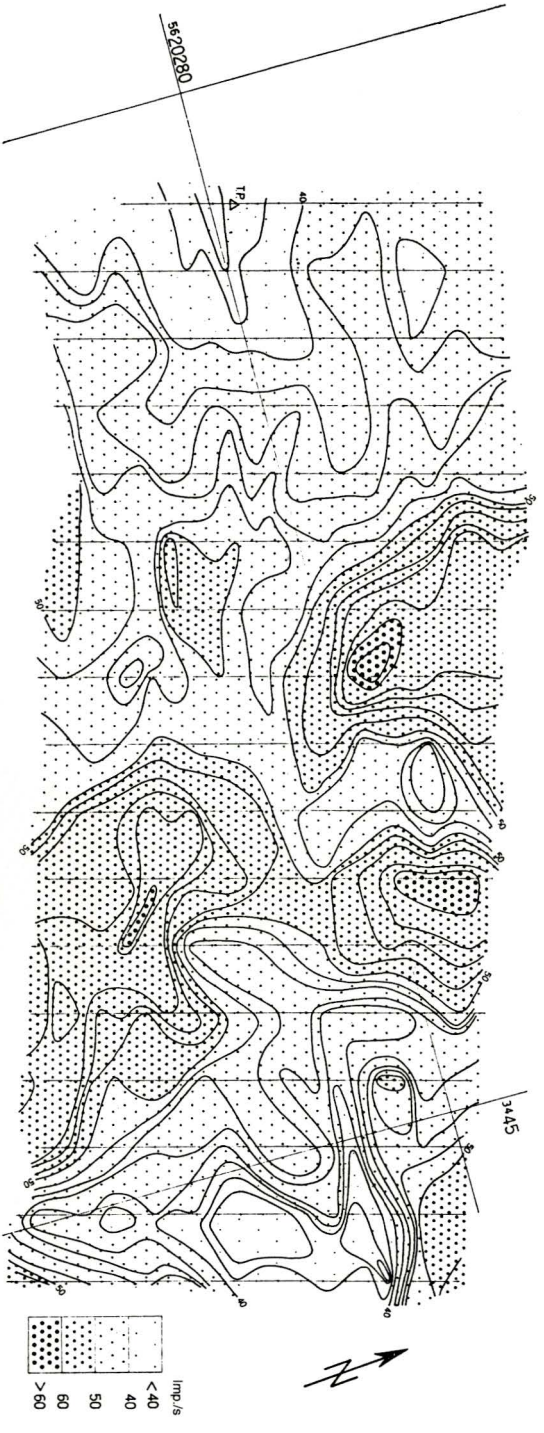


**Figure A.10 -** Résultat des mesures au scintillomètre à l'ouest de Donsbach ; interprétation géophysique.

3. **Mesures d'activité gamma**

Les mesures d'activité gamma permettent de réaliser, tout comme les mesures magnétiques précédemment, des analyses tectoniques du sous-sol. En particulier dans les régions magnétiquement stériles avec alternance fréquente de sédiments psammitiques et pélitiques, la mesure de l'intensité gamma est préférable à la mesure micro-magnétique, parce que dans les configurations défavorables des surfaces de test, cette mesure confond dans une même image les limites de zones rocheuses et les crevasses. Précisons tout de même que le scintillomètre ne peut être utilisé efficacement que si le potentiel de la couverture des roches est minime. Dans le cas d'une couverture épaisse, les indications deviennent vite diffuses du fait de la distance. L'interprétation de l'exemple des figures A.9 et A.10 n'est pas facile. La partie centrale de l'extrait de carte montre un corps de radioactivité plus intense (figure A.9). L'orientation générale de ce corps est à peu près nord-sud ; la radioactivité décroît continûment aussi bien à l'ouest qu'à l'est. La figure A.10 illustre un essai de représentation de la région en lignes de crête et de dépression. Des schistes noirs peuvent se trouver dans la zone d'émission gamma plus intense. Le corps est coupé par un accident orienté est-ouest. Toutefois il est certain que la région entière est traversée par un élément orienté est-ouest dans la zone duquel la radioactivité décroît évidemment.

Si dans l'avenir on combine ces mesures avec les mesures électriques, on devrait obtenir des frontières nettes, puisqu'une interprétation quantitative des résultats serait possible, à condition de soustraire de l'activité mesurée l'effet du potentiel de la couverture, connu par la mesure électrique.

## A.5 Glossaire

Le domaine particulier des détecteurs de métaux nous amène le plus souvent à une terminologie spéciale ; d'abord parce que la technique fait appel à des disciplines particulières, ensuite parce que les fabricants des appareils sont souvent étrangers. D'où cette petite revue des termes qui méritent une explication, de façon à en permettre une meilleure compréhension pour l'utilisation des matériels et pour l'étude des différentes disciplines.

**Auto-tune**
Accord automatique du détecteur, de façon à compenser automatiquement les erreurs dues à la dérive en température ou au vieillissement des condensateurs.

**Blindage (*Shield*)**
Désigne une protection efficace contre les perturbations extérieures, comme les émetteurs de radio, postes de transformation, herbe très humide, troncs d'arbres minéralisés, lignes électriques enfouies, etc.

Le blindage consiste à envelopper la bobine d'abord dans un taffetas serré, ensuite dans un film mince bon conducteur de l'électricité, relié à un fil étamé. Le fil étamé est relié au point « froid » de la bobine et raccordé à la masse. On peut aussi réaliser le blindage par une couche conductrice à l'intérieur du logement de la bobine. On trouve souvent ce procédé dans les coffrets de circuits électroniques protégés contre les rayonnements électromagnétiques. Des systèmes adaptés sont à étude pour l'électronique d'amateur.

**Bobines**
Il existe toutes sortes de bobines. La bobine est l'élément essentiel du détecteur. Avec les appareils sinusoïdaux en particulier, la qualité du détecteur est liée directement aux propriétés de la bobine. Un grand avantage de la technique PI est la possibilité de travailler avec des bobines de taille presque quelconque. L'adaptation du détecteur se fait par le temps d'intégration et l'amortissement.

**Bobine saturée (surchargée)**
À proximité des grosses masses et de gros objets métalliques, la bobine de détection est souvent saturée. C'est-à-dire que les caractéristiques inductives de la

bobine sont modifiées à un point tel que le rétablissement à l'état de fonctionnement standard demande un certain temps, et que pendant ce temps l'électronique est incapable de s'adapter à ces fortes modifications. La constante de temps dépend de la masse des objets métalliques enfouis dans le sol. Une bobine saturée maintient le signal pendant un temps long, alors même que l'objet n'est plus détecté en fait depuis plusieurs dizaines de secondes. Le détecteur DBP 2010 offre une solution, puisque son réglage de seuil permet une localisation sans équivoque, même en présence d'un gros objet métallique dans le champ. Avec les détecteurs sinusoïdaux, on arrive au même résultat par la commutation en pointage statique.

**Discrimination**
Cette fonction permet de rejeter les objets métalliques indésirables, capsules ou tirettes, métaux ferreux, et de ne pas les signaler. Malheureusement il arrive souvent que, du fait de la similitude des courbes d'amortissement, des métaux recherchés comme l'or ne soient plus détectés non plus. De plus, la discrimination s'accompagne d'une réduction notable de la portée du détecteur. La discrimination permet de tirer une conclusion plus ou moins précise sur la nature du métal détecté, de reconnaître les métaux.

**Dynamique**
La détection est dite dynamique si la bobine du détecteur doit être déplacée constamment pour permettre la détection. En général ce type d'appareil est peu sujet aux perturbations et aux dérives.

**Échantillon**
Désigne un échantillon du signal de réception à partir duquel on met en évidence la présence de métal. Dans notre méthode de discrimination avec les appareils PI, l'amortissement propre à un métal se classe entre ferreux et non-ferreux selon cinq échantillons.

**Essai en l'air**
Méthode universelle d'évaluation de la portée des différents types de détecteurs. Pour cela le détecteur est placé sur un support non conducteur pour être réglé. Après compensation du détecteur, on approche un objet métallique de la bobine et on note la portée constatée. On obtient ainsi une bonne indication des réactions

et des performances générales du détecteur. En règle générale, avec les détecteurs sinusoïdaux, il faut s'attendre en passant de l'air au sol à une perte de 25% environ, variable en fonction de la nature du sol. Avec les systèmes PI, on atteint au contraire dans le sol des portées supérieures aux portées dans l'air. Un avantage à ne pas négliger.

**Fil émaillé**
Fil de cuivre recouvert d'un vernis isolant. Une fois la bobine terminée, on chauffe le fil de façon à faire fondre le vernis. Les spires de fil sont alors collées en un bloc rigide.

**Filtre de sol automatique**
Chaque sol peut présenter une image de minéralisation positive ou négative et provoquer des réactions très diverses du détecteur. Ces accidents du sol sont rejetés automatiquement par le filtre de sol automatique et n'apparaissent plus à l'affichage. Dans le cas des détecteurs PI, le filtrage est fait habituellement par un circuit échantillonneur-bloqueur (*sample & hold*) qui mémorise la valeur de sol.

**Filtre de sol manuel**
Compensation manuelle de l'effet du sol. Souvent intéressant pour atteindre une sensibilité plus élevée qu'avec le filtre automatique. Chaque changement de sol impose normalement un nouveau réglage, par le filtre automatique ou manuel.

**Man-tune**
Accord manuel pour la compensation des dérives vues plus haut ; accord automatique désactivé par l'utilisateur.

Il est souvent nécessaire de passer alternativement de l'accord automatique à l'accord manuel. C'est toujours recommandé dans les cas suivants :

1. Effets du sol très différents (par exemple passage d'un sol argileux à un sol minéral).

2. Différences d'humidité des couches du sol.

3. Tension d'alimentation trop faible (sous-alimentation).

4. Fortes différences de température ou exposition directe au soleil d'un détecteur dont les composants sont affligés d'une dérive en température en plus de la dispersion liée à la fabrication.

5. Erreur de manipulation du détecteur, par exemple réglage initial erroné, choix d'une sensibilité trop élevée ou mauvaise compensation de sol.

**Point chaud**
On entend par point chaud l'extrémité de la bobine qui reçoit directement le signal. Comme la sensibilité est la plus élevée de ce côté, on veillera à isoler correctement cette zone. La rigidité mécanique est indispensable aussi ; c'est-à-dire qu'il faut éviter toute variation de l'inductance sous l'effet d'une déformation du bobinage. Choisissez toujours le chemin le plus court pour les connexions.

Les kits décrits font toujours appel à un moulage plastique qui satisfait toutes les conditions citées.

**Pointage**
Un moyen très simple, par l'action sur un poussoir, de réaliser une localisation précise. Ce mode de repérage, avec la méthode des 90° décrite dans le chapitre 2, vous amène « sur le point ». Avec le détecteur PI DBP 2010, on tourne le réglage de seuil complètement à gauche (vers le zéro) pour obtenir le même effet et repérer l'objet sans équivoque. Cela évite des fouilles inutiles et économise du temps.

**Racler (*scrubbing*)**
Racler consiste à déplacer la bobine au contact du sol. On obtient ainsi une portée plus longue. Il va de soi que la compensation de sol doit être adaptée à la réduction de la distance. Sinon le défaut de compensation de sol se manifeste par un excès de sensibilité. Il faut prendre des mesures de protection pour éviter l'abrasion des bobines par le sol. Des revêtements protecteurs adaptés se trouvent couramment dans le commerce.

**Retard**
On entend par retard un décalage temporel des mesures, déjà évoqué avec la notion de fenêtre temporelle. Cette constante de temps est réglée de façon à empêcher la signalisation des métaux de certaines natures et de certaines tailles.

**Seuil (*threshold*)**
Passage par zéro, point de basculement du signal entre négatif (signal sonore inaudible) et positif (signal audible). La hauteur de ce seuil, où un signal très faible reste audible, représente la sensibilité maximale du détecteur.

**Statique (sans déplacement)**
Dans ce type de détection, le repérage peut se faire sans que la bobine soit déplacée continuellement. Le système statique présente l'avantage d'un repérage extrêmement précis. Le procédé de pointage consiste en général à commuter du mode dynamique au mode statique. Pour cela on trouve souvent un certain nombre de spires bobinées en sens inverse à proximité de la bobine de réception. Par exemple, une bobine de réception de 88 spires en comporte 12 pour le pointage. Naturellement, l'électronique est adaptée de son côté.

**Tous métaux**
Dans ce mode de fonctionnement, tous les métaux sont signalés, ferreux ou non. Naturellement les métaux ferreux sont mieux détectés.

**TR (*Transmitter-Receiver*)**
Système émetteur-récepteur, constitué habituellement de deux bobines qui se recouvrent, affectées l'une à l'émission, l'autre à la réception.

## A.6 Réglementations

Nous reprenons ci-dessous un extrait d'un courrier du Conservateur Régional de l'Archéologie de la Direction Régionale des Affaires Culturelles de Lorraine :

> Pour faire suite à votre demande de renseignements sur l'utilisation des détecteurs de métaux en France, j'ai l'honneur de vous apporter les précisions suivantes.
>
> La loi n° 89-900 du 18 décembre 1989 et le décret n° 91-787 du 19 août 1991 pris pour son application (voir ci-dessous) précisent que « nul ne peut utiliser du matériel permettant la détection d'objets métalliques, à l'effet de recherches de monuments et d'objet pouvant intéresser la préhistoire, l'histoire, l'art ou l'archéologie, sans avoir, au préalable, obtenu une autorisation administrative (...) », une autorisation étant « accordée, sur demande de l'intéressé, par arrêté du préfet de la région dans laquelle est situé le terrain à prospecter ». La demande est à adresser au Service Régional de l'Archéologie compétent.
>
> Par ailleurs, l'article I$^{er}$ de la loi du 27 septembre 1941 soumet les sondages archéologiques à une autorisation préalable. C'est ainsi que toute forme de recherche, qui implique un remaniement du sol, est d'emblée assimilée à une opération de fouille si elle est menée sur un site archéologique ou militaire.
>
> **Compte tenu de ces dispositions, si les recherches demeurent ludiques et ne revêtent pas de caractère officiel et scientifique, elles ne seront pas soumises à autorisation administrative. Il importe donc que l'appareil ne soit pas utilisé sur des sites archéologiques et/ou à des fins archéologiques.**
>
> Toutefois l'absence d'autorisation administrative ne saurait dispenser le prospecteur de solliciter l'accord du propriétaire du terrain qui, en vertu du Code Civil, est également propriétaire de ce qu'il contient.
>
> Enfin, si dans le cadre d'activités de prospections, effectuées dans le respect des textes en vigueur, des objets susceptibles d'intéresser l'archéologie sont découverts, il incombe à l'inventeur de le faire connaître au SRA compétent conformément au titre 3 de la loi du 27 septembre 1941.

## A.6.1 Extrait de la loi 89-900 du 18 décembre 1989 relative à l'utilisation des détecteurs de métaux

**Article 1**
Nul ne peut utiliser du matériel permettant la détection d'objets métalliques, à l'effet de recherches de monuments et d'objets pouvant intéresser la préhistoire, l'histoire, l'art ou l'archéologie, sans avoir, au préalable, obtenu une autorisation administrative délivrée en fonction de la qualification du demandeur ainsi que de la nature et des modalités de la recherche.

**Article 2**
Toute publicité ou notice d'utilisation concernant les détecteurs de métaux doit comporter le rappel de l'interdiction mentionnée à l'article 1er de la présente loi, des sanctions pénales encourues, ainsi que des motifs de cette réglementation.

**Article 3**
Toute infraction aux dispositions de la présente loi et des textes pris pour son application est constatée par les officiers, agents de police judiciaire et agents de police judiciaire adjoints, ainsi que par les fonctionnaires, agents et gardiens visés à l'article 3 de la loi n° 80-532 du 15 juillet 1980 relative à la protection des collections publiques contre les actes de malveillance.

**Article 4**
Les procès-verbaux dressés par les diverses personnes désignées à l'article 3 ci-dessus font foi jusqu'à preuve contraire et sont remis ou envoyés sans délai au procureur de la République dans le ressort duquel l'infraction a été commise.

## A.6.2 Extrait du décret 91-787 du 19 Août 1991

Décret pris pour l'application de l'article 4 bis de la loi n° 80-532 du 15 juillet 1980 relative à la protection des collections publiques contre les actes de malveillance et de la loi n° 89-900 du 18 décembre 1989 relative à l'utilisation des détecteurs de métaux

## TITRE Ier : DE L'AUTORISATION D'UTILISER DES DÉTECTEURS DE MÉTAUX

### Article 1

L'autorisation d'utiliser du matériel permettant la détection d'objets métalliques, prévue à l'article 1er de la loi du 18 décembre 1989, est accordée, sur demande de l'intéressé, par arrêté du préfet de la région dans laquelle est situé le terrain à prospecter.

La demande d'autorisation précise l'identité, les compétences et l'expérience de son auteur ainsi que la localisation, l'objectif scientifique et la durée des prospections à entreprendre.

Lorsque les prospections doivent être effectuées sur un terrain n'appartenant pas à l'auteur de la demande, ce dernier doit joindre à son dossier le consentement écrit du propriétaire du terrain et, s'il y a lieu, celui de tout autre ayant droit.

L'arrêté accordant l'autorisation fixe les conditions selon lesquelles les prospections devront être conduites.

Lorsque le titulaire d'une autorisation n'en respecte pas les prescriptions, le préfet de région prononce le retrait de l'autorisation.

### Article 2

Quiconque aura utilisé, à l'effet de recherches mentionnées à l'article 1er de la loi du 18 décembre 1989, du matériel permettant la détection d'objets métalliques sans avoir obtenu l'autorisation prévue à l'article 1er du présent décret ou sans avoir respecté les prescriptions de cette autorisation sera puni de la peine d'amende applicable aux contraventions de la 5e classe. Le matériel qui aura servi à commettre l'infraction pourra être confisqué.

### Article 3

Quiconque fait ou fait faire une publicité ou rédige ou doit rédiger une notice d'utilisation relatives à un matériel permettant la détection d'objets métalliques en méconnaissance des dispositions de l'article 2 de la loi n° 89-900 du 18 décembre 1989 sera puni de la peine d'amende applicable aux contraventions de la 5e classe.

## A.6.3 Arrêté du 8 février 1996 relatif aux biens culturels maritimes – récompenses pour les déclarations d'épaves

**Article 1**
Lorsque, en application des articles 6 et 13 de la loi du 1er décembre 1989 susvisée, le ministre chargé de la culture décide d'accorder une récompense à l'inventeur ayant déclaré sa découverte, le département des recherches archéologiques sous-marines instruit le dossier qui est soumis à l'avis du Conseil national de la recherche archéologique. Outre un rapport scientifique, le dossier contient l'ensemble des pièces attestant de la propriété de l'Etat sur le bien. Le bénéficiaire peut préciser la forme de récompense qu'il souhaite avoir. Dans la mesure du possible, le ministre chargé de la culture essaie de tenir compte de ce souhait, sans toutefois être tenu d'aucune justification dans le cas contraire.

**Article 2**
Selon l'intérêt scientifique de la découverte, la valeur de la récompense qui est attribuée soit en espèces, soit en nature, ne peut excéder les limites suivantes :
- grand intérêt : 10.000 F ;
- intérêt supérieur : 50.000 F ;
- intérêt exceptionnel : 200.000 F ;

Lorsque, après son exploitation, l'intérêt scientifique d'une découverte s'avère supérieur à la première estimation, l'Etat peut procéder à la réévaluation de la récompense.

**Article 3**
Lorsque la récompense prend la forme d'un dépôt appartenant à l'Etat, les conditions de mise en dépôt sont fixées par convention. Le bien déposé est revêtu d'une marque indélébile rappelant la propriété de l'Etat.

**Article 4**
Le directeur du patrimoine et le directeur du budget sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

## A.6.4 Article 716 du code civil

La propriété d'un trésor appartient à celui qui le trouve dans son propre fonds : si le trésor est trouvé dans le fonds d'autrui, il appartient pour moitié à celui qui l'a découvert, et pour l'autre moitié au propriétaire du fonds. Le trésor est toute

chose cachée ou enfouie sur laquelle personne ne peut justifier sa propriété, et qui est découverte par le pur effet du hasard. Ainsi des pièces d'or désignées dans un testament mais découvertes deux siècle après, ne sont pas un trésor et doivent être remises à ceux qui justifient être aux droits de leur légitime propriétaire (tribunal civil de la Seine 1949).
L'inventeur d'un trésor s'entend de celui qui par le seul effet du hasard, met le trésor à découvert, serait-il au service d'une entreprise, dès lors que les travaux ayant amené la découverte n'ont pas été effectués à cette fin (1991). Des fossiles, choses cachées et enfouies, ne sont cependant pas un trésor dès lors que leur découverte, résultant de recherches volontairement pratiquées, n'est pas fortuite. (Millau, 26 mai 1988).

## A.7 Collections de la sous-direction de l'archéologie

*Source* : Ministère de la Culture et de la Communication

### Documents d'archéologie française (dAf)

La Maison des Sciences de l'Homme édite, depuis 1985, la collection des Documents d'archéologie française publiée avec le concours de la Sous-direction de l'Archéologie du Ministère chargé de la Culture, du Ministère chargé de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, et du CNRS. Cette collection propose des travaux universitaires, des monographies de fouilles, des actes de colloques, des ouvrages méthodologiques concernant tous les domaines de la recherche archéologique menée actuellement sur le territoire national. Au sein de la collection, la série « Archéologie préventive » est consacrée à la publication des fouilles préventives.

**Diffusion**

- Ministère de la Culture et de la Communication
  Direction de l'architecture et du Patrimoine
  4 rue d'Aboukir – 75 002 Paris
  Tél. : 01 40 15 77 03
  Consultation sur Internet : www.culture.gouv.fr/culture/editions/dafacc.htm

- Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme
  54 boulevard Raspail – 75270 Paris cedex 06
  Tél. : 01 49 54 20 31
- CID
  131 boulevard Saint-Michel – 75005 Paris
  Tél. : 01 43 54 47 15 ; fax : 01 43 54 80 73

### Bilans scientifiques régionaux

Chaque région dresse annuellement un bilan complet de son activité et présente, grâce à des notices recensant chacun des sites ayant fait l'objet d'une intervention archéologique, un état synthétisé des fouilles et des découvertes.

**Diffusion** : gratuite par les directions régionales des affaires culturelles.

### Guides archéologiques de la France

Coédités par la Sous-direction de l'Archéologie et l'Imprimerie Nationale jusqu'au n°35 de la collection, puis par les Éditions du patrimoine depuis le n°36, ces petits ouvrages synthétiques à caractère monographique présentent le bilan des dernières recherches sur un ensemble de sites archéologiques majeurs du territoire français, mais aussi moins connus, illustrant principalement les périodes préhistorique, gallo-romaine et du Haut Moyen-Âge.

**Diffusion :**
Éditions du Patrimoine
16 quai des Célestins
75004 PARIS
Tél. : 01 44 54 95 20
www.monum.fr

# A.8 Adresses Internet intéressantes

| | |
|---|---|
| Archéologie aérienne (cartographie, liens, bibliographie, etc.) | archaero.com |
| Association Française des Prospecteurs (liens, forum, conseils, législation, revues *Le Prospecteur*, *Trésors & Détections*, *Trésors de l'Histoire*, etc.) | www.tresors.com.fr |
| Bibliothèque Nationale de France (archives) | www.bnf.fr |
| Bureau de Recherches Géologiques et Minières (éditeur de cartes géologiques) | www.brgm.fr<br>infoterre.brgm.fr |
| Centre de Développement de l'Informatique Personnelle (distribution des cédéroms de la Carte de Cassini (1760-1789)) | www.cdip.com |
| Chasses au trésor | ilotresor.com |
| Comité National Français de Géodésie et Géophysique | www.obs-mip.fr/cnfgg |
| Détection passion (revue) | perso.wanadoo.fr/detection.passion |
| École nationale des sciences géographiques (ouvrages scientifiques, lexique cartographique) | www.ensg.ign.fr |
| Éditions PICARD (livres d'archéologie) | www.abebooks.com/home/libpicard |
| Fédération Nationale des Utilisateurs de Détecteurs de Métaux et l'École de Prospection (liens, forum, diverses informations) | www.prospection.net |
| Guide de la prospection au détecteur de métaux (liens, conseils, etc.) | www.detecteur.net |
| Institut Géographique National (éditeur de cartes) | www.ign.fr |
| *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (commission internationale de protection contre les rayons non ionisants) | www.icnirp.de/index.htm |
| Loisirs Détection (matériel, cartes archéologiques de la Gaule, guides antiques, celtiques, moyenâgeux, etc.) | www.loisirs-detection.com |
| Maison de la Détection (matériel, liens) | maisondetection.com |
| Météo France (images satellites) | www.meteo.fr |
| Ministère de la Culture et de la Communication<br>Chantiers de fouilles archéologiques en France<br>Patrimoine archéologique<br>Grands sites archéologiques<br>Publications (atlas et guides archéologiques) | <br>www.culture.fr/fouilles<br>www.portail.culture.fr<br>www.culture.fr/culture/arcnat<br>www.culture.fr/culture/editions/c-sda.htm |
| Monographie des villes et villages de France (ouvrages d'histoire locale) | www.histo.com |

| | |
|---|---|
| Parcs nationaux français (cartes, coupes géologiques) | www.parcnationaux-fr.com |
| PLANETE Détection (matériel, librairie) | www.planete-detection.com |
| Quid (cartes, données historiques, architecturales, etc. sur les communes de France) | www.quid.fr/latorre/latorre.html |
| Société Archéologique du Midi de la France | www.societes-savantes-toulouse.asso.fr |
| Société Géologique de France (revues, bibliographie, liens, sorties géologiques, etc.) | www.e-geologie.org<br>home.worldnet.fr/sgfr |
| Union Française des Géologues (magazine *Géologues*) | www.ufg.asso.fr |
| Voies romaines en Méditerranée et en Europe | www.viadomitia.org |
| **À l'étranger** | |
| *Archeological Institute of America* | www.archeological.org |
| Atlas géologique du Canada | www.nrcan.gc.ca |
| Atlas géologique de la Suisse | www.swisstopo.ch |
| *European Association of Archaelogists* | www.e-a-a.org |

## A.9 Remerciements

Les institutions et entreprises suivantes nous ont facilité le travail de documentation pour la préparation de ce livre, par la mise à disposition d'informations ou de matériel.

Société AD Elektronik (*appareils médicaux et chargeurs*), Wetzlar

Société DEV Pein (*génie sous-marin*), Essen

Société Conrad Elektronik, Hirschau

Société Philips Komponenten, Kassel

Société Franzis Verlag, Poing

Elektor Verlag, Aachen

Société OKW (*boîtiers*), Buchen

Société Bopla (*boîtiers*), Bünde

Landesamt für Denkmalpflege (*monuments historiques*), Wiesbaden

Landesamt für Post und Telekommunikation

EMV Förderverein, Düsseldorf

EMV Rat der EG, Düsseldorf

VDE Verband Deutscher Elektrotechniker, Frankfurt/Main

VDE Verlag

IZ Auskunftstelle für Technik (*centre d'information*)

Société Kontakt Chemie, Iffezheim

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Bureau du cadastre de Biedenkopf

Société Martin Meier Detektorcenter, Rodenberg

Société Dietz (*détecteurs de métaux*)

Société OFM (*détecteurs de métaux*)

Société Andus (*circuits imprimés*)

Société Alpha Metalls Chemie

Société Harris (*circuits intégrés*)

Société Honeywell Elektronik Sensorik, Offenbach

Landesamt für geschichtliche Landeskunde, Marburg

Société SGS Thomson (*circuits intégrés*)

Société Kellyco (*détecteurs de métaux*), États-Unis

Société National Semiconductor (*circuits intégrés*)

Société Isel Automation, Eiterfeld

Société Bandelin Elektronik, Berlin

Société Cooper Tools, Besigheim

Société Farnell, München

## A.10 Kits fournis par l'auteur

### DBP 2010 (Version « terrestre » )

Kit complet comprenant : coffret multifonction, face avant sérigraphiée, cloison intermédiaire, paroi arrière, visserie, filerie ; accu au plomb à électrolyte gélifié 12 V/2 Ah ; circuits imprimés gravés et percés ; tous les composants électroniques, galvanomètre ; deux bobines, 230 mm et 450 mm (avec fond, couvercle et support) ; résine de moulage spéciale, composants A et B ; toutes les pièces tournées et composants pour la canne télescopique et la grande bobine avec quatre coudes à 90° ; câble spécial pour la grande bobine ; chargeur prêt à l'emploi, casque stéréo.

### DBP 2010 UW (Version « subaquatique », étanche à 100 m de profondeur)

Matériel identique à la version « terrestre », sans la grande bobine, avec un coffret spécial à la place du coffret portatif.

### VLF 770

Kit complet comprenant : coffret, face avant ; toutes les pièces et composants électroniques ; circuits imprimés gravés et percés ; toutes les pièces tournées pour la canne télescopique ; une bobine de recherche avec bobinages en double D ; câbles et fiches, résine de moulage spéciale, composants A et B, casque.

### Renseignements auprès de :

Rolf Wilhelm
Zur Dreispitze 3a – 35216 Biedenkopf
Tél. : +49 (0)64 61/88 62 1
Fax : +49 (0)64 61/88 24 6
Courriel : rowi-elektronik@t-online.de
Site Internet : www.rowi-elektronik.de (*en allemand !*)

**Groupe de discussion (en français)** :
http://fr.groups.yahoo.com/group/ddm-elektor

## A

accessoires ..... 85
accord ..... 94
accus
  capacité ..... 154
  durée de vie ..... 155, 159
  pression ..... 154
  température ..... 157
  tension par élément ..... 157
aimants élémentaires ..... 38
antiferromagnétique ..... 10
auto-oscillant, détecteur ..... 29

## B

blocage ..... 96
bobine ..... 47, 170, 173, 174
  blindage ..... 111
  en double D ..... 95
  grande ..... 77
  parallèle au sol ..... 25
  perpendiculaire au sol ..... 26
boussole ..... 12
*Buzzer* ..... *91*

## C

calibrage
  par rotation ..... 43
  pendulaire ..... 43
canne télescopique ..... 137
capteur magnétique ..... 44
caractéristiques d'affichage ..... 40
champ
  électrique alternatif homogène ... 5
  électromagnétique ..... 3, 15
  magnétique alternatif homogène 5
compensation
  sol ..... 34
  sol-air ..... 117
conductivité des métaux ..... 16
constante
  champ magnétique ..... 7
  temps ..... 9
courant magnétisant ..... 6
courbe de magnétisation ..... 18, 39
crête à crête ..... 94

## D

danger ..... 78
  objet ..... 81
DBP 2010 ..... 118
  option grande bobine ..... 135
démineur ..... 81
densité de flux magnétique ..... 7
désaccord de champ ..... 31
détecteur
  auto-oscillant ..... 29
  impulsions ..... 24
  lignes électriques ..... 91
  sinusoïdal ..... 24
déviation de champ ..... 3
diamagnétique ..... 6
dispositions légales ..... 86
domaines de Weiss ..... 8, 38
dynamique ..... 171

## E

échantillon ..... 171
échantillonneur-bloqueur ..... 119
EEPROM, mémoire ..... 18
effet de mémoire ..... 156
effet de peau ..... 28
émetteur-récepteur ..... 100
état de charge ..... 158
exploration raisonnée ..... 81

## F

facteur de découplage ..... 31
ferreux ..... 3
ferrite ..... 10
ferromagnétique ..... 6
FIFO ..... 18
fil
  de Litz ..... 28
  émaillé ..... 28
filtre à mitraille ..... 142
flux magnétique ..... 7
fréquence, secteur ..... 91

## G

gaz, accumulation ..... 79
grande bobine ..... 77

## H

habillement ..... 81
HF, rayonnement ..... 46
histoire locale ..... 77

## I

impulsion
  d'excitation ..... 21
  détecteur ..... 24
inductance ..... 7
intensité
  champ électrique ..... 13
  champ magnétique ..... 7, 13
ionisation ..... 23

## L

lignes
  champ électrique ..... 11
  champ magnétique ..... 10
liste des composants
  *8000 Nugget* ..... 97
  *Buzzer* ..... 92
  DBP 2010, module ..... 133
  DBP 2010, platine principale . 132
  VLF 770 ..... 109
longueur de champ magnétique ..... 7

## M

magnétisation, courbe ..... 18, 39
magnétomètre ..... 3, 24, 35, 77
maximum sonore ..... 93
mesures croisées ..... 83
métaux ..... 16
  conductivité ..... 16
  ferreux ..... 16
  non ferreux ..... 16
méthodes de charge ..... 156
mine plastique ..... 45
mode TR ..... 100
moulage ..... 117

## N

nettoyage ..... 86
ultra-sons ..... 86
nombre de spires ..... 7
non ferreux ..... 3
*Nugget* ..... 93

## O

oxyde ..... 3

## P

parallèle au sol, bobine ..... 26
paramagnétique ..... 6
partage d'expérience ..... 160
perméabilité ..... 39
perméance magnétique ..... 7
perpendiculaire au sol, bobine ..... 26
plages de fréquence des différents utilisateurs ..... 14
point chaud ..... 173
pointage ..... 142, 173
ponctuel, localisation ..... 80
position, lecture de ..... 39
profondeur d'enfouissement ..... 40
*pulse-induction* ..... 31

## Q

quadrature ..... 31
quadrillage ..... 82

## R

racler ..... 173, 174
RAM ..... 18
réluctance magnétique ..... 7
ronflement du secteur ..... 91

## S

saturation ..... 170
*scrubbing* ..... 173
secteur, ronflement ..... 91
section de champ magnétique ..... 7
signal
parasite ..... 34
propriétés ..... 24
signal/bruit ..... 34
sinusoïdal, détecteur ..... 24
son intermittent ..... 93
sonde ..... 80
surface des électrodes ..... 159

## T

terrassement
outils ..... 84
technique ..... 84
TR, *Transmitter-Receiver* ..... 174
très basse fréquence ..... 100

## V

VLF 770 ..... 100
liste des composants ..... 109
VLF, *Very Low Frequency* ..... 100

## Z

zone de recherche ..... 82

Rolf Wilhelm

# DÉTECTEURS DE MÉTAUX

## Théorie – Pratique

La détection des métaux est l'un des innombrables domaines dans lesquels l'électronique est mise à contribution très fortement, mais elle est aussi une passionnante activité de loisirs.

Ce livre s'adresse autant au débutant qu'au professionnel expérimenté, par son contenu détaillé, théorique et pratique. Il permet au lecteur de construire lui-même à bon compte des détecteurs sensibles et efficaces qui n'ont pas à craindre la comparaison avec des modèles du commerce pourtant beaucoup plus coûteux.

Les montages sont décrits de telle façon que chacun peut les adapter à ses besoins. La conception est telle qu'on obtiendra le fonctionnement optimal sans appareil de mesure spécial. Toutes les informations nécessaires : caractéristiques, dimensions, dessins, méthodes de réglage, sont données et permettent de réussir la construction de bobines et de détecteurs de haut de gamme. Les détecteurs décrits se distinguent par leur sensibilité supérieure à la moyenne, leur simplicité d'utilisation et leur grande fiabilité.

ISBN: 2-86661-116-0

9 782866 611163

Elektor-Publitronic - diffusion GEODIF
21/23, rue des Ardennes 75019 PARIS

http://www.elektor.presse.fr
http://fr.groups.yahoo.com/group/ddm-elektor

PUBLITRONIC