

# **BALISE DE POSITIONNEMENT SOUTERRAIN**

**ARCAS**

**DOSSIER TECHNIQUE  
de la  
PARTIE EMISSION**

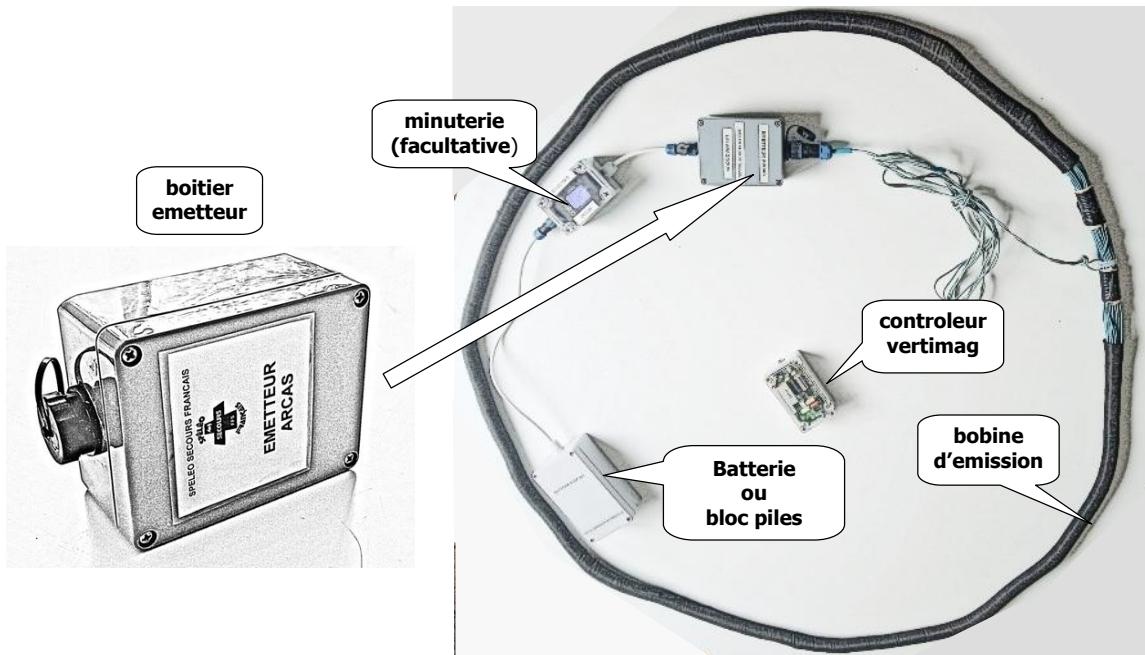
joan ERRA Spéléo Club de Toulon  
[joanToulon@gmail.com](mailto:joanToulon@gmail.com) Juin 2022

# Sommaire

|   |           |
|---|-----------|
| <b>BOITIER EMETTEUR .....</b>   | <b>2</b>  |
| 1) CARACTERISTIQUES PRINCIPALES .....                                   | 2         |
| 2) ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE.....                           | 3         |
| 3) SCHEMA STRUCTUREL & PROGRAMME ARDUINO .....                          | 8         |
| 4) FABRICATION BOITIER EMETTEUR.....                                    | 11        |
| Vue d'ensemble.....   | 11        |
| Schemas du circuit imprimé(PCB) .....                                   | 12        |
| Plan de câblage des connecteurs.....                                    | 13        |
| Liste du matériel du boitier émetteur .....                             | 14        |
| <b>BOBINES D'EMISSION .....</b>   | <b>15</b> |
| 1) DIMENSIONNEMENT DES BOBINES D'EMISSION.....                          | 15        |
| - Choix du type de bobines .....  | 15        |
| -nécessité de limiter la sélectivité du circuit RLC .....               | 17        |
| -détermination de la section et du nombre de spires des bobines : ..... | 17        |
| 2) FABRICATION ET CARACTERISTIQUES DES BOBINES .....                    | 18        |
| 3) MESURES .....  | 21        |
| <b>ALIMENTATION .....</b>   | <b>22</b> |
| 1) CHOIX DES ALIMENTATIONS .....  | 22        |
| Choix de la tension d'alimentation : .....                              | 23        |
| Détermination de la capacité de la batterie : .....                     | 23        |
| Chargeur de la batterie.....  | 24        |
| Autonomie du boitier de 18 piles AA .....                               | 24        |
| 2) TESTEUR D'ALIMENTATION .....   | 25        |
| 3) FABRICATION DES ALIMENTATIONS.....                                   | 25        |
| Adaptateur connecteur SP13/chargeur.....                                | 25        |
| Boitiers batteries .....  | 26        |
| Boitier 18 piles AA .....   | 27        |
| <b>VERTIMAG .....</b>   | <b>28</b> |
| 1) OBJET & PRESENTATION DE L'APPAREIL.....                              | 28        |
| 2) PRESENTATION FONCTIONNELLE .....                                     | 30        |
| 3) SCHEMA & PRESENTATION STRUCTURELLE.....                              | 31        |
| Le capteur .....  | 32        |
| L'ampli.....  | 33        |
| Le circuit de commande de commande du bargraph .....                    | 34        |
| Le bargraph .....   | 35        |
| La commande de l'alimentation des leds .....                            | 35        |
| 4) FABRICATION DU VERTIMAG.....   | 37        |
| Vue d'ensemble.....   | 37        |
| Schemas du circuit imprimé .....  | 38        |
| Conseils de montage .....   | 39        |
| Liste de matériel du Vertimag.....                                      | 40        |
| <b>MINUTERIE .....</b>  | <b>41</b> |
| 1) PRESENTATION .....   | 41        |
| 2) CABLAGE et LISTE du MATERIEL .....                                   | 42        |

# BOITIER EMETTEUR

- 1) CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
- 2) ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE
- 3) SCHEMA STRUCTUREL & PROGRAMME ARDUINO
- 5) FABRICATION BOITIER EMETTEUR

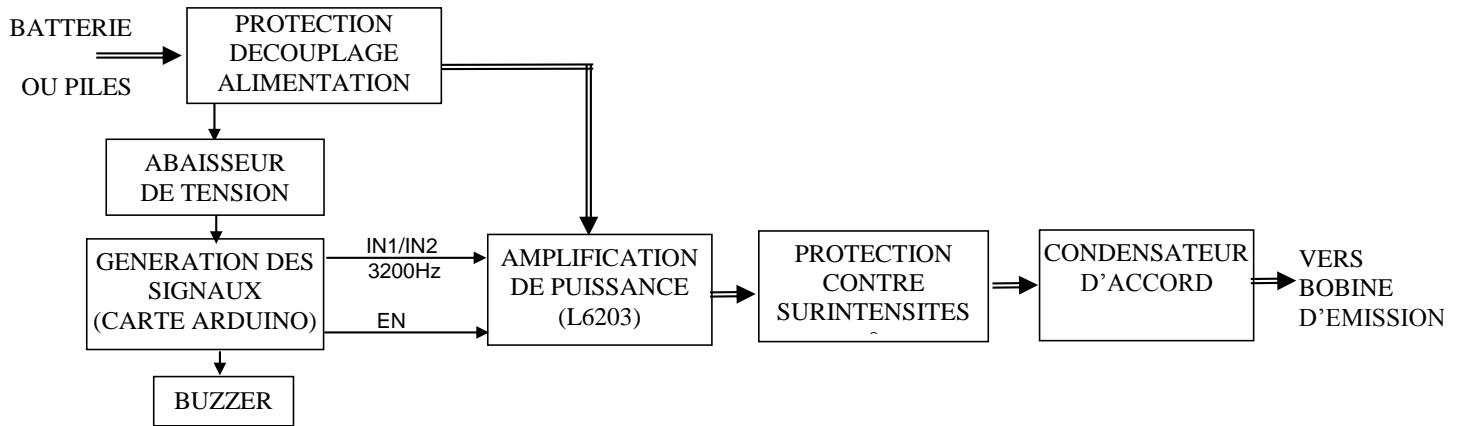


## **1) CARACTERISTIQUES PRINCIPALES**

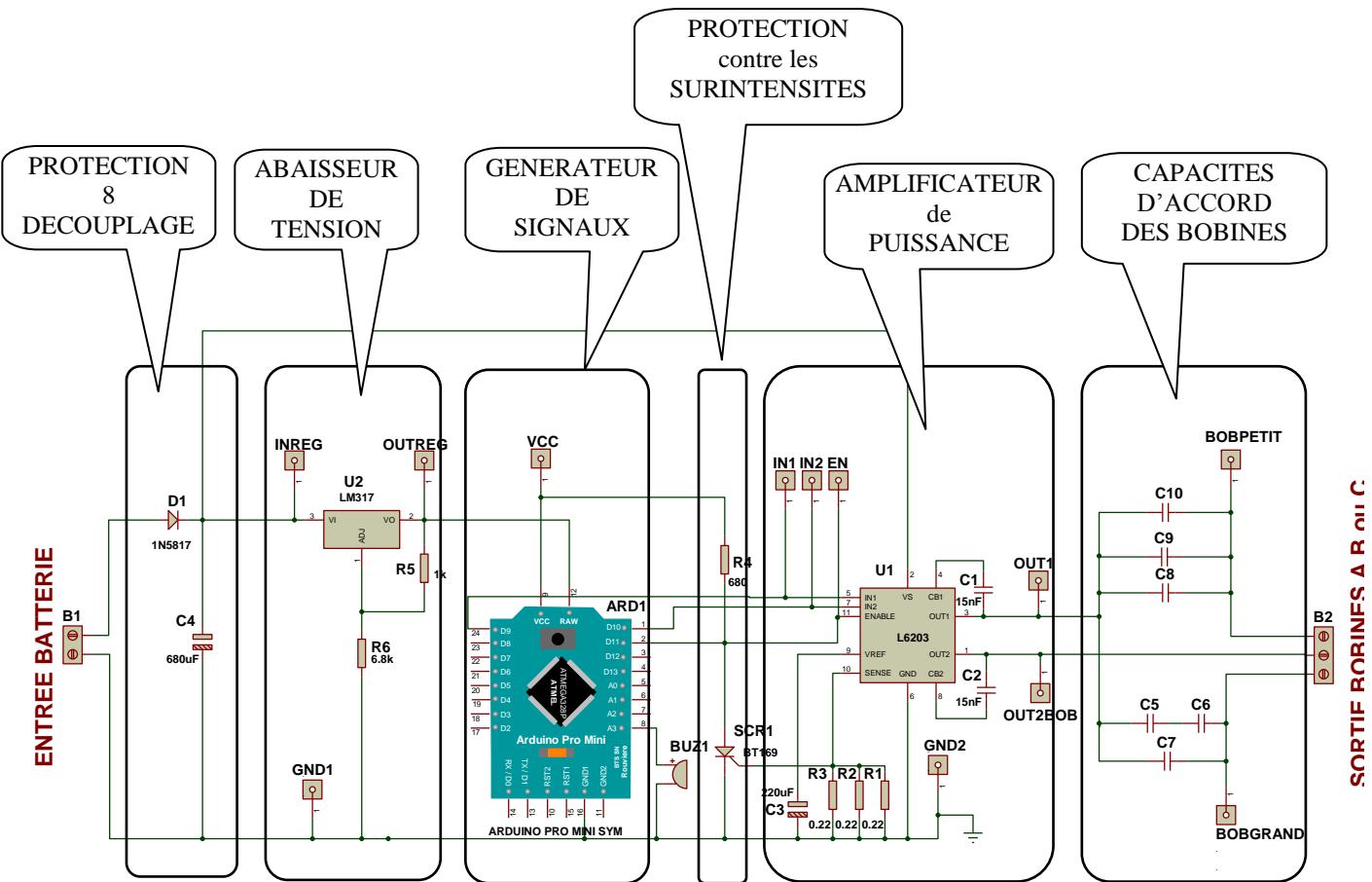
- Tension d'alimentation max 48V
- Courant max de sortie 5A
- Protection à l'entrée contre les inversions de tension d'alimentation et contre les surintensités en sortie.
- La balise ARCAS dispose d'une batterie 24V. Bien chargée elle délivre aux différentes bobines de l'ARCAS un courant d'amplitude 4,5A.
- Emission d'un bip de fréquence 3200Hz pendant 80ms toutes les secondes et d'un double bip tous les 4 bips.
- A la mise sous tension, un buzzer bip 3 fois pour attester de la mise sous tension.

## 2) ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE

- Schéma fonctionnel



- Structures correspondant aux fonctions



### -Protection & découplage

Une diode faible seuil de type Schottky 1N5819 assure la protection contre l'inversion des polarités de la batterie ou du bloc piles.

Il est à noté qu'une inversion de polarité ne peut pas se produire tant qu'on utilise la batterie et le bloc pile de l'ARCAS dont les connecteurs disposent d'un détrompeur.

Quand l'émetteur est alimenté par le bloc piles, celui-ci ayant une résistance interne de plusieurs Ohms, cela occasionne une chute de la tension d'alimentation de plusieurs volts. Le condensateur C4 qui se recharge entre deux bips successifs, permet de soutenir un peu le bloc pile et diminue sa chute de tension durant le bip .

### -Génération signaux :

Elle est effectuée par une carte Arduino pro mini (modèle 5V avec ATmega168 ou ATmega328)

Le but est d'alimenter la bobine par un signal BF à 3200Hz de façon intermittente pour obtenir les bip-bip. A raison d'un bip par seconde.

Pour cela la carte Arduino génère

- De façon continu, le signal BF de 3200Hz, de fréquence précise car obtenue à partir du quartz inclus dans la carte Arduino.
- un signal rectangulaire de période 1s. Celui-ci autorise ou pas le signal BF à être envoyé à la bobine. Au niveau logique 1 qui dure 80ms, le signal BF est transmis à la bobine : le reste de la période de 1s, la bobine n'est pas alimentée.

Le choix de ce temps mort de 1s est un compromis :

- En effet si par exemple on opte pour un temps mort de 3s, on s'aperçoit que le niveau sonore à partir duquel l'oreille détecte le bip-bip doit être bien plus élevé qu'en cas de temps mort de 1s. J'explique cela par un phénomène de rémanence de l'audition qui permet de reconnaître plus facilement un signal s'il réapparaît dans une limite de temps donné.
- On pourrait prendre un temps mort beaucoup plus court que la seconde, mais dans ce cas on aurait une augmentation de la consommation du système.

On aura aussi émission d'un double bip tous les 4 bips, cela permet de d'identifier plus facilement le signal au niveau de la réception, en cas de perturbations du à une clôture électrique.

A la mise sous tension, un petit indicatif sonore est envoyé au buzzer pour informer de sa bonne mise sous tension.

La carte Arduino , génère aussi le signal pour le buzzer.

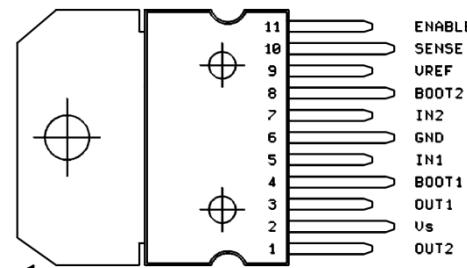
### -Abaisseur de tension

La carte pro mini, dispose d'un régulateur de tension, pour alimenter en 5V régulé le microcontrôleur de la carte. Malheureusement, ce régulateur ne supporte pas plus de 16V à son entrée. Comme la batterie a une tension supérieure à 16V, il a fallu intercaler un étage abaisseur de tension entre la batterie et la carte Arduino. Pour effectuer cette chute de tension, on a choisi d'utiliser un régulateur LM317 qui à l'aide des résistances R7 et R8 délivrera environ 10V d'alimentation à la carte pro mini.

### -Amplificateur de signaux

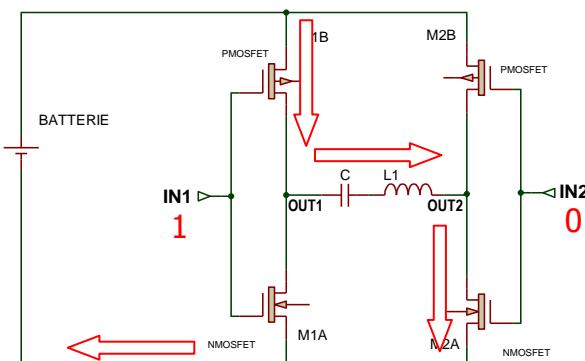
On a choisi le circuit intégré L6203, contenant un pont de transistor en H de 4 transistor MOSFET fonctionnant en commutation.

Celui-ci peut être alimenté jusqu'à 50V et délivrer un courant de valeur crête 5A.  
Il dispose d'un disjoncteur thermique qui arrête son fonctionnement en cas de surchauffe.

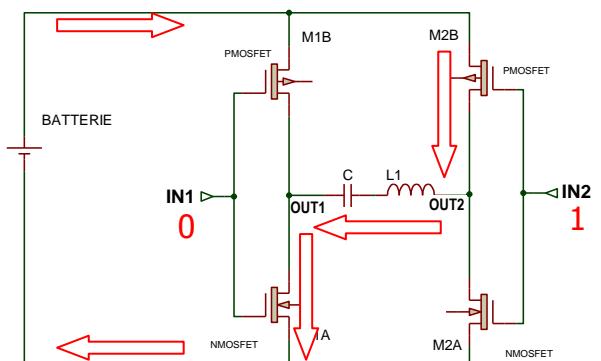


Principe de fonctionnement :

L1 représente la bobine d'émission et C son condensateur d'accord à 3200Hz.



IN1 à 1 et IN2 à 0  
Le courant dans la bobine circule dans un sens



IN1 à 0 et IN2 à 1  
Le courant circule dans la bobine l'autre sens.

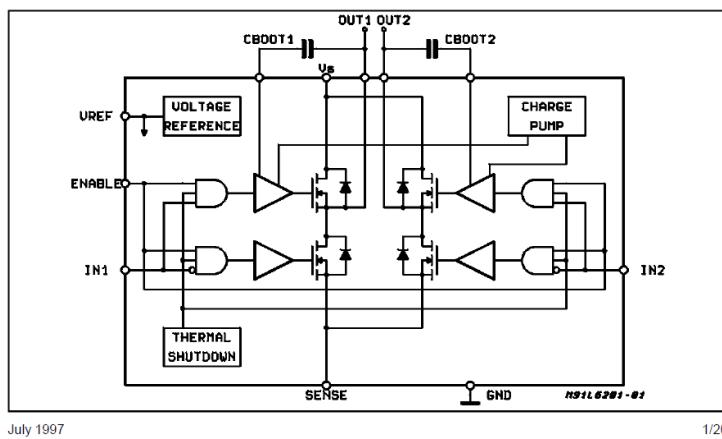
Pour obtenir entre OUT1 et OUT2 un signal alternatif rectangulaire à 3200Hz en sortie du pont, on envoie donc un signal rectangulaire à 3200Hz sur le signal de commande IN1 et son complémentaire sur IN2.

Si la tension batterie est de 24V, entre OUT1 et OUT2, le signal atteindra 48V crête à crête.

L'intérêt de fournir un signal rectangulaire est de faire travailler les transistors du pont en commutation, ce qui permet de diminuer fortement les pertes. On a alors un rendement maximum.

La bobine d'émission accordée sur la fréquence de 3200Hz à l'aide du condensateur C, aura un effet de filtre sélectif sur le courant, qui sera sinusoïdal à la fréquence de 3200Hz.

Ci-dessous un schéma simplifié du L6203 qui contient également une électronique de commande.



On voit qu'en plus des entrées IN1 et IN2, il dispose d'une entrée Enable (Autorisation) qui à 0 bloque les commandes IN1 et IN2 ainsi que les 4 transistors du pont, ce qui a pour effet d'annuler le courant de sortie. C'est cette entrée Enable qui est utilisée pour fixer la durée (80ms) et la périodicité des bip (1s).

#### -Protection contre les surintensités

Utilisé avec la batterie (24V) et les bobines fournies, il n'y a pas de risque de surintensité dans le L6203.

Une protection a néanmoins été placée pour le cas où on placerait une batterie de tension plus élevée ce qui générerait un courant supérieur à 5A qui est la valeur nominale admissible.

Un shunt de 150mΩ, délivre à ses bornes une tension image du courant dans la bobine. Cette tension est appliquée sur la gâchette d'un thyristor (SCR). A partir de 5A, elle atteint la tension de déclenchement du thyristor, celui-ci force à 0 l'entrée Enable, ce qui annule le courant dans la bobine. Le L6203 interrompt alors le bip en cours qui se retrouve réduit à quelques ms.

Comme il est difficile de trouver des résistances de faibles valeurs, il a été prévu la possibilité de mettre jusqu'à 3 résistances en parallèle R1,R2 et R3 pour obtenir la bonne valeur.

Par exemple 150mΩ peut s'obtenir par la mise en parallèle des 2 résistances de R1=0,22Ω et R2=0,47Ω

### -Capacités d'accord

Le rôle des capacités d'accord est expliqué dans le paragraphe « les bobines d'émission ».

En fait il y a 2 capacités d'accord CA et CB, permettant l'accord de bobines ayant 2 valeurs d'inductances différentes.

Pour déterminer CA et CB , il faut mesurer précisément avec un bon RLCmètre l'inductance L de la bobine concernée et appliquer la relation

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot L \cdot f^2}$$

Ces capacités doivent supporter des tensions élevées qui peuvent atteindre le kilovolt. Par ailleurs, comme il est expliqué dans le chapitre sur les bobines d'émission, leurs valeurs doivent être précise à 1% près et ne seront généralement pas des valeurs normalisées.

C'est pour cela que chacune de ces 2 capacités CA et CB est obtenue par la mise en parallèle et/ou série de condensateurs afin d'obtenir de façon précise les valeurs désirées.

Le connecteur rond de sortie permet un branchement direct à la bobine choisie.

### Condensateur CA

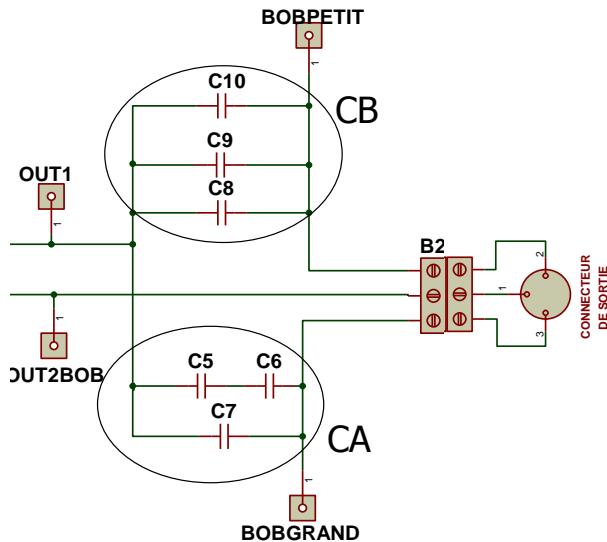
Dans l'ARCAS, entre les pattes 1 et 3 du connecteur rond on branchera les bobines de grand diamètre (1m,2m ) qui ont la même inductance de 9,9mH. La capacité CA correspondante doit faire 249nF et tenir 1000V. Pour cela on a utilisé des condensateurs haute tension d'une tolérance 10%.

Pour avoir 249nF à 1% près avec des condensateurs à 10%, il faut les mesurer et les trier au capacimètre. Ainsi 249nF a été obtenu par C5 en série avec C6 de valeurs nominales 470nF mesurées à 480nF en parallèle avec C7 de valeur nominale 10nF mais mesurée à 9nF.

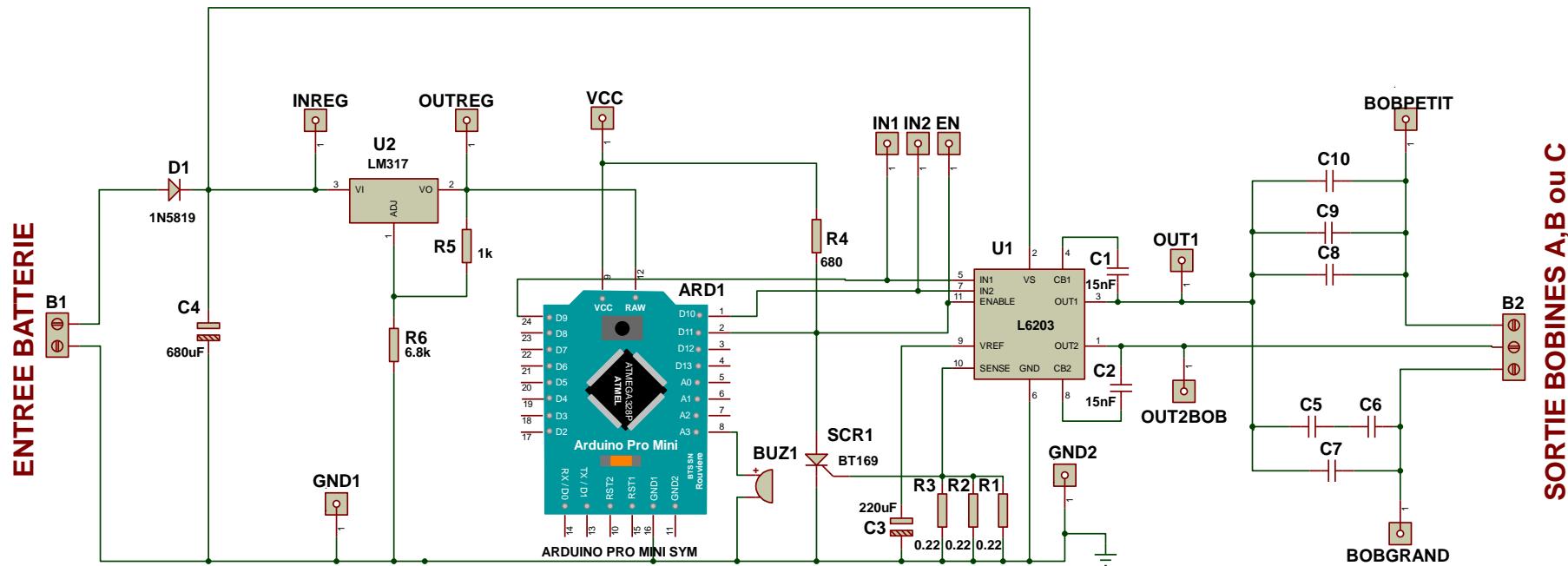
### Condensateur CB

Dans l'ARCAS, entre les pattes 1 et 2 du connecteur rond on branchera la bobine de 56cm qui a une inductance de 4mH. La capacité CB correspondante doit faire 618nF .

Cette valeur sera obtenue par la mise en parallèle de C8 de valeur nominale 470nF mesurée à 462nF avec C9 de valeur nominale 150nF mesurée à 156nF. (pas besoin de condensateur C10 dans ce cas).



### 3) SCHEMA STRUCTUREL & PROGRAMME ARDUINO



les petits carrés correspondent à des points tests sur la carte sauf IN1,IN2,EN,Vcc et OUTREG qui ne sont pas matérialisés sur la carte.

## PROGRAMME

```
/* PROGRAMME EMETTEUR ARCAS
 * pour carte Arduino pro mini.
 * sorties à connecter à un circuit de puissance L6203
 * fréquence d'émission 3200Hz
 * 1 bip par seconde doublé tous les 4 bips
 * durée du bip: 80ms
 * à la mise sous tension le buzzer sonne 3 fois
 */

#define led 13// led de la carte, non visible boitier fermé
#define in1 9
#define in2 10
#define enable 11
#define buzzer A3

void setup() {
pinMode(in1,OUTPUT);
pinMode(in2,OUTPUT);
pinMode(led,OUTPUT);
pinMode(buzzer,OUTPUT);
pinMode(enable,OUTPUT);

/* le timer fourni en permanence 2 signaux rectangulaires
 * en opposition de phase
 * in1 et in2 à 3200Hz
 */
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 16000,000 kHz
// Mode: CTC top=OCR1A
// OC1A output: Toggle on compare match
// OC1B output: Toggle on compare match
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer Period: 0,15625 ms
// Output Pulse(s):
// OC1A Period: 0,3125 ms Width: 0,15625 ms
// OC1B Period: 0,3125 ms Width: 0,15625 ms
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=(0<<COM1A1)|(1<<COM1A0)|(0<<COM1B1)|
(1<<COM1B0)|(0<<WGM11)|(0<<WGM10);
TCCR1B=(0<<ICNC1)|(0<<ICES1)|(0<<WGM13)|(1<<WGM12)|
(0<<CS12)|(0<<CS11)|(1<<CS10);
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x09;
```

```

OCR1AL=0xC3;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x0E;

// Timer/Counter 1 Interrupt(s) initialization
TIMSK1=(0<<ICIE1) | (0<<OCIE1B) | (0<<OCIE1A) | (0<<TOIE1);

digitalWrite(in2,1); //permettra d'avoir l'opposition de phase avec in1

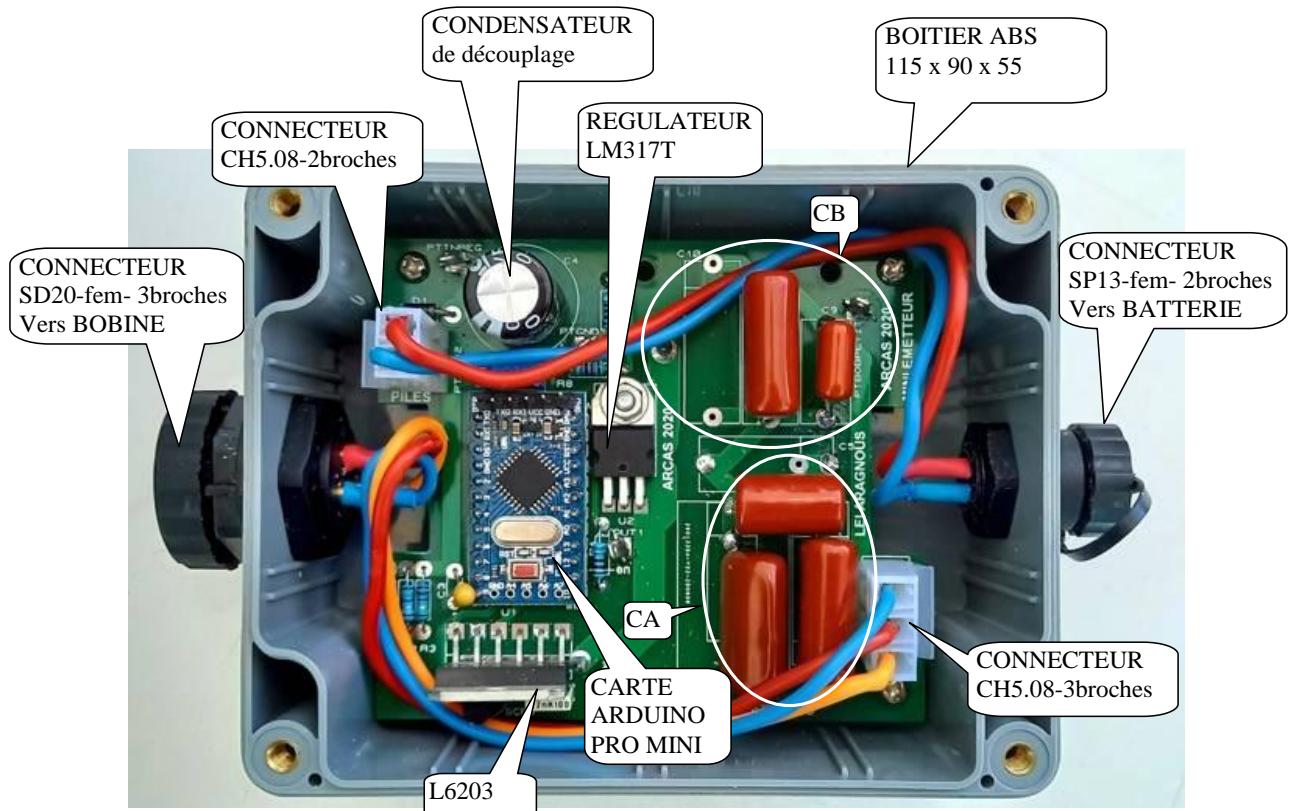

for(int i=0;i<3;i++)
{
    digitalWrite(led,1);
    digitalWrite(enable,0);
    digitalWrite(buzzer,1);
    delay(80);// génératetion du signal pendant 80ms
    digitalWrite(enable,0);
    digitalWrite(buzzer,0);
    digitalWrite(led,0);
    delay(80);
}
}

void loop() {
// générer 3 bips espacés de 1s
for(int i=0;i<3;i++)
{
    digitalWrite(led,1);
    digitalWrite(enable,1);
//digitalWrite(buzzer,1); // si on veut que le buzzer sonne à chaque bip enlever // en début de ligne
    delay(80);// génératetion du signal pendant 80ms
    digitalWrite(enable,0);
//digitalWrite(buzzer,0); // si on veut que le buzzer sonne à chaque bip enlever // en début de ligne
    digitalWrite(led,0);
    delay(920);
}
// générer 2 bips espécés de 0,1s
for(int i=0;i<2;i++)
{
    digitalWrite(led,1);
    digitalWrite(enable,1);
//digitalWrite(buzzer,1); // si on veut que le buzzer sonne à chaque bip enlever // en début de ligne
    delay(80);// génératetion du signal pendant 80ms
    digitalWrite(enable,0);
//digitalWrite(buzzer,0); // si on veut que le buzzer sonne à chaque bip enlever // en début de ligne
    digitalWrite(led,0);
    delay(100);
}
delay(800);
}

```

## 4) FABRICATION BOITIER EMETTEUR

### Vue d'ensemble



- Le boitier de dimensions 115mm x 90mm x 55mm est un G311 étanche IP67.
- Le circuit imprimé est de type double face, les trous métallisés ne sont pas obligatoires.
- Des fichiers au format Gerber, sont disponibles pour la sous-traitance de la fabrication du PCB par un industriel.

Il est possible de télécharger gratuitement un visualisateur de fichiers Gerber qui vous permettra de visionner et d'imprimer les différentes couches du circuit imprimé.

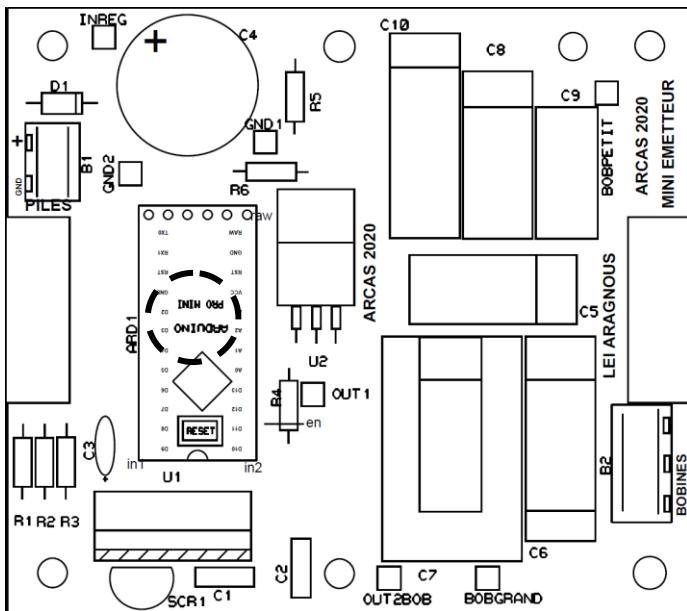
- Dimensions de la carte imprimée : 78 mm x 88mm
- On pourra équiper le L6203 d'un petit dissipateur thermique, constitué d'une tôle d'aluminium repliée à 90°. Sous terre, c'est-à-dire pour des températures ambiantes maximales de 15°, le dissipateur n'est pas nécessaire. Par contre si l'émetteur est placé en plein soleil à une température ambiante sous abri de 30°C ou plus, la protection thermique interviendra. Sans le dissipateur cela provoquera des arrêts de fonctionnement non destructifs.



## Schemas du circuit imprimé(PCB)

Attention, les schémas ne sont pas précisément à l'échelle 1

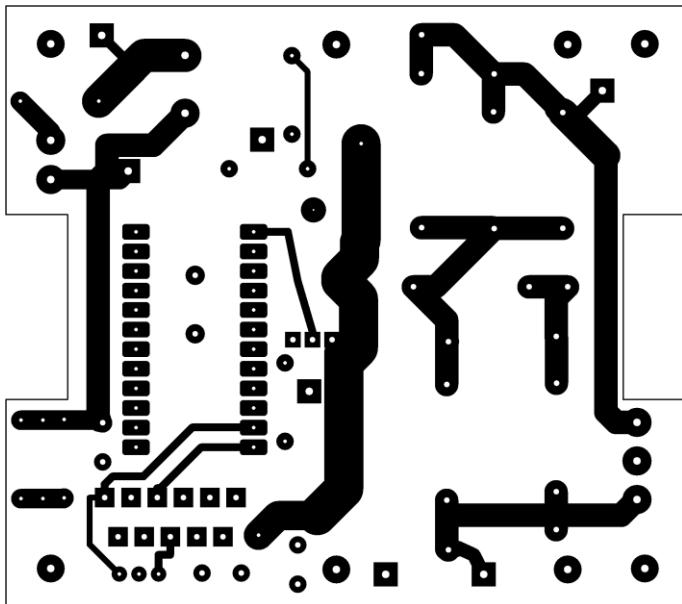
- Vue composants



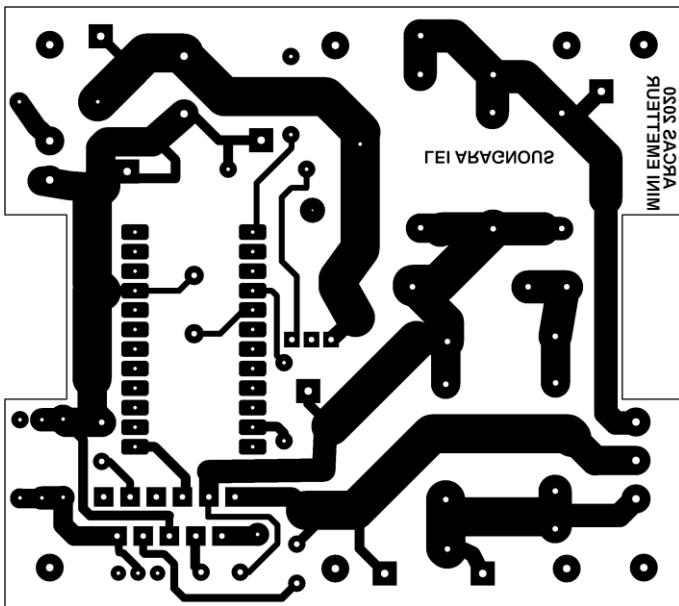
Le buzzer, représenté en pointillé sous la carte arduino, est soudé sur l'autre face de la carte imprimée.

- Vue des pistes imprimées

Face Top



Face Bottom (vue par transparence)



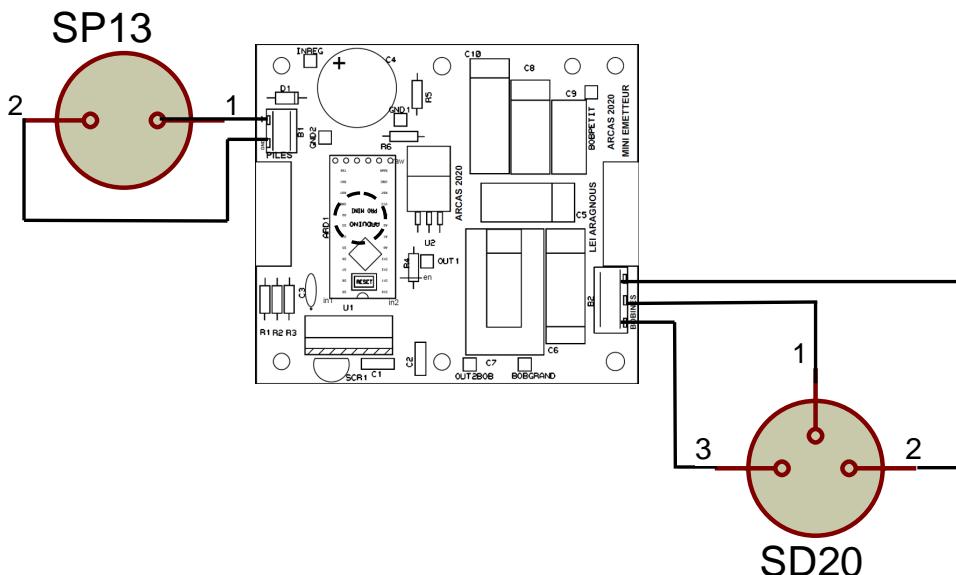
- Conseils de montage.

R1,R2,R3 sont en parallèle et constituent un shunt de courant. Suivant les valeurs disponibles une ou deux résistances suffiront.

C8, C9 et C10 en parallèle permettent d'obtenir CB.C7 en parallèle avec C5 et C6 en série permettent d'obtenir CA. Suivant la valeur des condensateurs disponibles on pourra ne pas câbler certains condensateurs.

La carte doit être montée sur des entretoises de 10mm, pour laisser la place au buzzer. Si on veut se passer des entretoises, on déportera le buzzer par collage sur la face composant de la carte imprimée ou sur la face intérieure du couvercle. On soudera deux fils suffisamment longs entre le buzzer et son ancien emplacement.

### Plan de câblage des connecteurs



## Liste du matériel du boitier émetteur

Hormis le boitier, on peut trouver tous les composants sur le site « AliExpress »

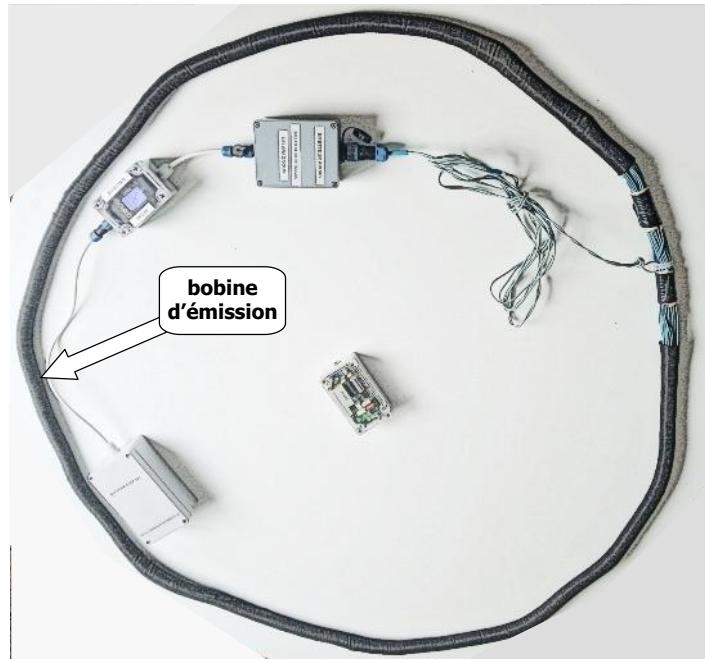
| DESIGNATION     | REPERE    | QTE | VALEUR                      | REMARQUES                             | EMPREINTE PCB           |
|-----------------|-----------|-----|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| BOITIER         |           | 1   | G311 étanche IP67           | 115mm x 90mm x 55mm                   |                         |
| BUZZER          | BUZ1      | 1   | BUZZER ROUV                 |                                       | BUZZER 3PAS             |
| CARTE           | ARD1      | 1   | ARDUINO PRO MINI SYM        | modèle 5V avec ATmega168 ou ATmega328 | ARDUINO PRO MINI        |
| CIRCUIT INTEGRÉ | U1        | 1   | L6203                       | Pont à MOSFET                         | MULTIWATT11V            |
| CIRCUIT INTEGRÉ | U2        | 1   | LM317T                      | régulateur de tension                 | TO220 A PLAT            |
| CONDENSATEUR    | C1        | 1   | 15nF                        |                                       | CAPA 2PAS               |
| CONDENSATEUR    | C10       | 1   | 47nF                        |                                       | CAPA 25X9               |
| CONDENSATEUR    | C2        | 1   | 15nF                        |                                       | CAPA 2PAS               |
| CONDENSATEUR    | C3        | 1   | 220uF                       | chimique 50V                          | CAPA TANT 2PAS          |
| CONDENSATEUR    | C4        | 1   | 680uF                       | chimique 50V                          | CAPA POL RADIAL 18 X 35 |
| CONDENSATEUR    | C5,C6,C7  | 3   | forment CA=249nF            | CA doit tenir 1000V                   | CAPA 20X9               |
| CONDENSATEUR    | C8,C9,C10 | 3   | forment CB=618nF            | CB doit tenir 250V                    | CAPA 20X9               |
| CONDENSATEUR    | C9        | 1   | 10nF                        |                                       | CAPA 15X8               |
| CONNECTEUR      | B1        | 1   | connecteurs mâle et femelle | 2 broches au pas de 5,08              | BORNIER2                |
| CONNECTEUR      | B2        | 1   | connecteurs mâle et femelle | 3 broches au pas de 5,08              | BORNIER3                |
| CONNECTEUR      |           | 1   | SD20 étanche                | connecteur chassis femelle 3 broches  |                         |
| CONNECTEUR      |           | 1   | SP13 étanche                | connecteur chassis femelle 2 broches  |                         |
| DIODE           | D1        | 1   | 1N5819                      | diode schottky                        | DIODE 4 PAS             |
| ENTRETOISES     |           | 4   | Hauteur 10, vis diamètre 3  | mâle d'un côté femelle de l'autre     |                         |
| PCB             |           | 1   | 78mm x 88mmp                | double face                           |                         |
| POINT TEST      |           | 7   | cosse poignard              |                                       | POINT TEST              |
| RESISTANCE      | R1        |     | non câblée                  |                                       | RESISTANCE 4PAS         |
| RESISTANCE      | R2        |     | 0.47                        |                                       | RESISTANCE 4PAS         |
| RESISTANCE      | R3        |     | 0.22                        |                                       | RESISTANCE 4PAS         |
| RESISTANCE      | R4        |     | 680                         |                                       | RESISTANCE 4PAS         |
| RESISTANCE      | R5        |     | 1k                          |                                       | RESISTANCE 4PAS JLC     |
| RESISTANCE      | R6        |     | 6.8k                        |                                       | RESISTANCE 4PAS         |
| THYRISTOR       | SCR1      |     | BT169                       |                                       | TO92                    |
| VIS             |           | 4   | diamètre 3                  |                                       |                         |

# BOBINES D'EMISSION

1) DIMENSIONNEMENT DES BOBINES D'EMISSION

2) FABRICATION & CARACTERISTIQUES DES BOBINES REALISEES :

3) MESURES



## 1) DIMENSIONNEMENT DES BOBINES D'EMISSION

### - Choix du type de bobines

Le champ magnétique d'une bobine est proportionnel à l'intensité du courant qui la traverse, à son nombre de spires et à sa surface.

C'est donc le carré du diamètre qui intervient dans la production du champ.

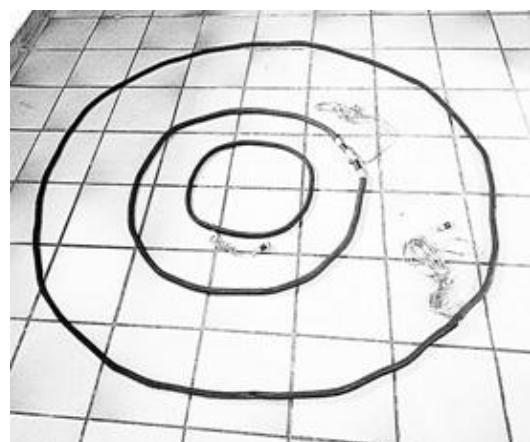
C'est pour cela que pour l'ARCAS, on a choisi de mettre en œuvre des bobines plates de grand diamètre plutôt que des bobines longues de petits diamètres.

Plus le diamètre est grand, plus la portée sera importante, mais aussi plus le poids sera important et moins la mise en place sera aisée.

C'est pour cela que l'ARCAS dispose de 3 bobines de diamètre différents : 56cm, 1m et 2m à choisir suivant la portée envisagée (voir guide utilisateur).

Ces bobines sont réalisées en fil souple. Pour des raisons pratiques, on a choisi de se passer de cadre support rigide. La bobine est donc déployée à même le sol en lui donnant à l'œil la forme la plus proche possible d'un cercle. Les nombreuses localisations effectuées par l'ARCAS ont validé cette solution.

La dernière version de l'ARCAS dispose en plus du VERTIMAG qui est un appareil de contrôle de la verticalité du champ magnétique, ce qui facilite une bonne mise en place de la bobine.



Les 3 bobines d'émission déployées sur un carrelage

## -nécessité de placer une capacité d'accord en série avec la bobine.

L'émetteur étant une source de tension, si on branche directement la bobine à sa sortie, le courant sera limité par la réactance  $L\omega$ .

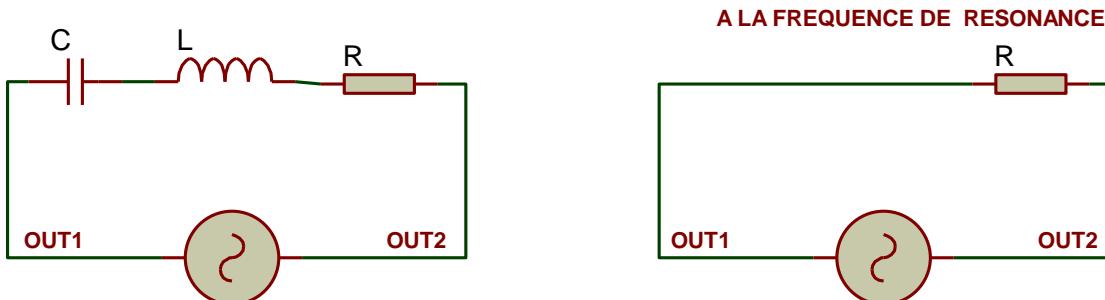
On rappelle que  $\omega$  est la pulsation , elle est liée à la fréquence  $f$  avec  $\omega=2\pi f$ .

En effet la bobine de 2m de l'ARCAS présente une inductance de 9,9mH et une résistance équivalente série (ESR) de  $5\Omega$ . A la fréquence de travail de 3200Hz la réactance soit  $L\omega =199\Omega$  qui sera prépondérante.

Le courant dans la bobine sera donc déterminé par  $L\omega$  et pour avoir 4,5A il faudrait que l'émetteur délivre une tension de  $199 \times 4=796V$  !!! Cela nécessiterait la mise en place d'un transformateur. Cela signifie des pertes et du poids en plus.

En plaçant un condensateur en série avec la bobine, on réalise alors un circuit résonant de type RLC, R étant la résistance équivalente série de la bobine. On parle de condensateur d'accord.

A signaler qu'à 3200Hz , bobine posée sur un sol calcaire ou sur un plan d'eau douce la résistance équivalente série est pratiquement égale à la résistance en continu du fil de cuivre qui la constitue.



On montre que la réactance du condensateur  $1/C\omega$  se soustrait à celle de la bobine  $L\omega$ . Pour une fréquence  $f_0$  correspondant à une pulsation  $\omega_0$ , telle que  $L\omega_0=1/C\omega_0$  , Les réactances sont égales. La réactance totale devient nulle et l'impédance du circuit RLC se réduit à la résistance R. Le courant devient très grand, on parle de résonance.

Le courant sera limité par la résistance R. Ainsi pour la bobine de 2m soit traversée par un courant de 4,5A, il suffira à l'émetteur de délivrer une tension d'amplitude  $5 \times 4=20V$ , qui peut être obtenue à partir d'une simple batterie 24V.

Il faudra donc dimensionner le condensateur de façon à ce que le circuit soit en résonance à 3200Hz.

Dans la réalité l'émetteur n'est pas une source de tension sinusoïdale mais rectangulaire à 3200Hz.

Ce signal rectangulaire se décompose en une somme infinie de signaux sinusoïdaux composé du fondamental et des harmoniques.

Le fondamental est la composante de fréquence 3200Hz, et les harmoniques, qui pour ce signal sont multiples impaires de la fréquence du fondamental :  $3 \times 3200Hz$ ,  $5 \times 3200Hz$ ,  $7 \times 3200Hz$  ...

L'amplitude des harmoniques diminue avec leur rang.

Pour les harmoniques, le circuit RLC présentera une impédance élevée et les courants correspondant seront faibles. Au final le courant dans la bobine sera pratiquement celui du fondamental. Il sera donc sinusoïdal bien que sa tension de commande soit rectangulaire. C'est l'effet de filtrage du circuit résonnant, caractérisé par sa sélectivité qui est son aptitude à atténuer les fréquences autre que la fréquence de résonance.

Pour n'avoir qu'un seul condensateur d'accord pour les bobines, il aurait fallu qu'elles aient la même inductance. Cela a été possible pour les bobines de 1m et 2m, mais pas pour la bobine de 56cm ; c'est pour cela qu'on a placé dans l'émetteur 2 capacités d'accord. Une pour les bobines de 1m et 2m et la seconde pour la bobine de 56cm.

### **-nécessité de limiter la sélectivité du circuit RLC**

La bobine étant déployée sur le sol sans cadre support, son inductance est sujette à de légères variations suivant que sa forme circulaire est plus ou moins parfaite.

Cela peut entraîner une légère modification de la fréquence de résonance du circuit qui ne sera plus celle de l'émetteur à 3200Hz.

Si le circuit est très sélectif, il peut s'en suivre une baisse importante du courant. On montre que la sélectivité est d'autant plus élevée que le rapport  $Q=L\omega/R$  est grand. Q s'appelle coefficient de qualité ou coefficient de surtension de la bobine.

### **-détermination de la section et du nombre de spires des bobines :**

Le but étant d'avoir un champ magnétique le plus important possible. Celui-ci est proportionnel au nombre de spires et au courant.

Pour des raisons d'ordre pratique on se fixe le diamètre de la bobine. Il reste à déterminer la section et le nombre de spires.

Pour avoir un champ le plus grand possible, il faut un grand nombre de spires, donc prendre une section  $S_c$  la plus grande possible dans les limites raisonnables pour le poids de cuivre, Il s'agit donc de faire un compromis entre le champ produit et le poids embarqué.

#### Principe :

- a) Calculer la résistance que doit avoir la bobine pour tirer le maximum de courant que peut fournir l'étage de sortie de l'émetteur.
- b) Le diamètre de la bobine étant fixé, se fixer un poids de cuivre.
- c) Calculer le nombre de spires et la section. Ensuite on choisit la valeur normalisée de la section la plus proche et on recalcule N de façon à garder la même résistance.
- d) On vérifie le poids

#### Application

- a) Calcul de la résistance de la bobine

Il a fallu tenir compte de la tension batterie (24V), de la résistance interne de la batterie, des transistors MOSFET, du shunt et de la diode de protection.

Bien que le courant maximum que peut fournir l'émetteur soit de 5A, on a choisi 4,5A, pour garder une marge de sécurité.

Pour obtenir 4,5A, avec une tension d'entrée de 24V, les calculs , simulations et expérimentations ont donné 5Ω pour la résistance de la bobine.

b) Diamètre 2m, on se fixe un poids Pds=2kg ( ce qui donne 3,5kg avec l'isolant),

c) Relations :

$$R = \frac{\rho \cdot \pi \cdot D \cdot N}{Sc} \quad R: \text{résistance du cuivre , Pds: poids de cuivre, D: diamètre de la bobine en m , Sc: section cuivre en m}^2, N \text{ nombre de spires.}$$

avec  $\rho$  résistivité du cuivre.  $Ce=1,85 \cdot 10^{-8} \Omega.m$ : résistivité du cuivre.

Il est généralement admis qu'à 20°C la résistivité du cuivre est de  $1,75 \cdot 10^{-8} \Omega.m$ . Hors en appliquant cette valeur on trouve des valeurs théoriques des résistances des bobines plus petites que celles mesurées. En tenant compte des mesures, après calculs j'ai trouvé  $Ce=1,85 \cdot 10^{-8} \Omega.m$  , valeur que j'ai adopté.

Il faut noter qu'à 3200Hz, l'effet de peau sur les conducteurs commence à agir et on a pu mesurer une augmentation de la résistance apparente jusqu'à 8%.

$$Pds = \sigma \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot Sc \quad \text{avec } \sigma : = 910^3 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique du cuivre}$$

Dès 2 équations précédentes on en déduit

$$N = \sqrt{\frac{R \cdot Pds}{1,610^{-3} \cdot D^2}} \quad Sc = \frac{\rho \pi D N}{R}$$

Avec D=2m et Pds=2kg ( 3,5kg avec l'isolant), le calcul donne N=39 et SC=0,93mm<sup>2</sup>. En prenant Sc=1mm<sup>2</sup>, il vient N=40.

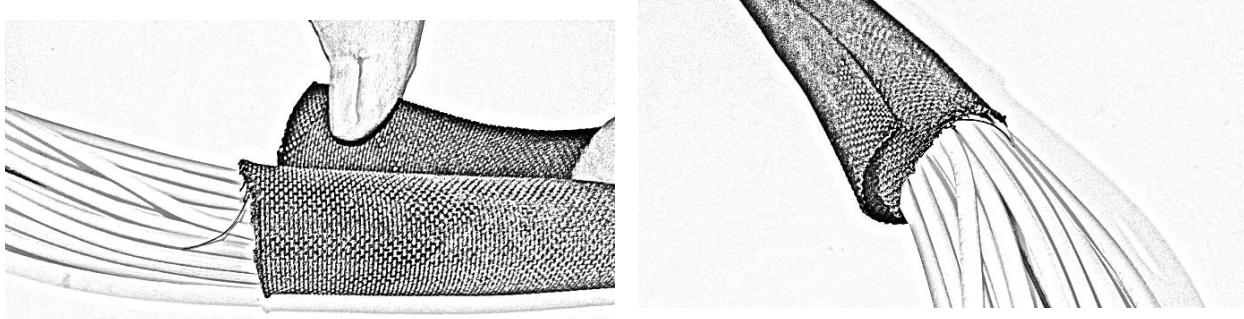
d) avec Sc=1mm<sup>2</sup>, Pds=2,2kg

## **2) FABRICATION ET CARACTERISTIQUES DES BOBINES**

Réalisées en fil souple d'électricité de type H05VK cuivre souple.

Remarque : L'isolant du câble H05VK a pour inconvénient de se raidir quand la température descend au voisinage de 0°C, donc dans les cavités d'altitude (> à 2000m). Cet inconfort disparait si on utilise un fil ayant du silicone comme isolant, par contre, il est mécaniquement moins solide.

L'ensemble du bobinage est protégé dans une gaine manchon fendue en polyester tressé de 19mm de diamètre.



Pour les grandes bobines, comme gabarit de bobinage on a planté dans un jardin des petits piquets en bois tout le long de la circonférence.

On a ensuite placé tout le long de la circonférence une quinzaine de liens en plastiques qui enserrent le bobinage de façon très lâche. Un seul sera serré de façon à maintenir la sortie des 2 fils de la bobine.

On enlève alors la bobine du gabarit. On positionne ensuite la gaine en enlevant les liens en plastique, sauf celui qui est serré. La longueur de la gaine doit être supérieure de 30cm à la circonférence de la bobine. Les 2 fils de sortie sortiront par un petit trou qu'on aura fait dans la gaine à l'aide petit tournevis chauffé.

On trouvera sur le tableau ci-dessous les spécifications des bobines réalisées.

A noter qu'on a rajouté sur le tableau une bobine de 1,6m de diamètre pour le cas où on trouverait la bobine de 2m vraiment trop grande. La bobine de 1,6m peut être branchée à la place de la 2m. Elle est un peu moins performante mais plus facile à mettre en place.

| Critères  | Méthode                          | <b>Bobine de 2m de diamètre</b>     | <b>Bobine de 1,6m de diamètre</b>  | <b>Bobine de 1m de diamètre</b>    | <b>Bobine de 56cm de diamètre</b>     |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Section du conducteur                               |                                  | 1 mm <sup>2</sup>                   | 1 mm <sup>2</sup>                  | 0,75 mm <sup>2</sup>               | 0,32 mm <sup>2</sup>                  |
| Diamètre gabarit                                    |                                  | 2m                                  | 1,62m                              | 1,02                               | 54,5cm                                |
| Diamètre moyen                                      |                                  | 2,02                                | 1,64                               | 1,04                               | 56cm                                  |
| Portée  |                                  | Grande portée, un peu lourde        | Grande portée, un peu lourde       | Portée moyenne, plutôt légère      | Petite portée très légère et compacte |
| Nombre de spires                                    |                                  | 40                                  | 46                                 | 60                                 | 55                                    |
| Longueur de fil nécessaire                          |                                  | 270m                                | 240m                               | 210m                               | 100m                                  |
| Poids du cuivre                                     | calculé                          | 2,3kg                               | 1,8kg                              | 1,3kg                              | 0,3kg                                 |
| Poids total bobine                                  | mesuré                           | 3,8kg                               | 3,2kg                              | 2,4kg                              | 0.62kg                                |
| Moment magnétique efficace<br>$M=NI_{eff}S$         | Calculé lorsque $I_{crete}=4,5A$ | 398 A <sub>eff</sub> m <sup>2</sup> | 294A <sub>eff</sub> m <sup>2</sup> | 162A <sub>eff</sub> m <sup>2</sup> | 43A <sub>eff</sub> m <sup>2</sup>     |
| Résistance  | à 1kHz au LCRmètre               | 5 Ω                                 | 4,8Ω                               | 5,1Ω                               | 5,5Ω                                  |
| Inductance  |                                  | 9,90mH                              | 9,90mH                             | 9,93 mH                            | 4mH                                   |
| Coefficient de surtension à 3,2kHz<br>$Q=L\omega/R$ | D'après mesures                  | 40                                  | 40                                 | 40                                 | 14,4                                  |
| Portée relative par rapport à la bobine de 1m       | Voir note 1                      | 136%                                | 124%                               | 100%                               | 63%                                   |

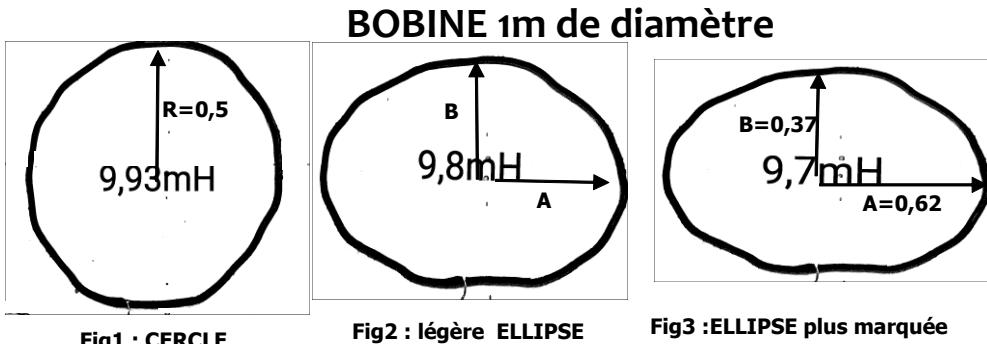
Note 1 : fait par calcul sur la base du moment magnétique de chaque bobine , le courant étant différent suivant la résistance des bobines .

**Attention :** L'inductance varie suivant que les spires sont plus ou moins serrées les unes contre les autres, ainsi suivant la gaine utilisée on peut avoir des écarts de plusieurs %. De même l'inductance est proportionnellement au diamètre moyen, ainsi un écart de 2cm sur le diamètre, donnera un écart de 2% sur l'inductance. Il est donc **impératif de mesurer l'inductance précisément avec un bon RLCmètre**. Elle risque de faire par exemple 9,75mH au lieu des 9,90mH attendus. Si la capacité d'accord avait été calculée pour la valeur attendue, on ne sera pas tout à fait à la résonnance avec la valeur réelle et le courant sera plus faible que prévu.

### -conséquence d'une pose effectuée imparfaitement

Suivant que la bobine de 1m est déployée parfaitement en forme de cercle (fig1), et imparfaitement en forme d'ellipse (fig2 et fig3), on a mesuré les valeurs suivantes de son inductance.

On obtient des résultats équivalents pour la bobine de 2m.



Avec un condensateur, on a accordé la bobine quand elle est circulaire (fig 1). Sur les fig2 et 3 le circuit sera légèrement désaccordé. Pour quantifier l'effet de ce désaccord, on a alimenté la bobine avec son condensateur par l'émetteur et à une dizaine de mètres on a mesuré le signal délivré par le cadre récepteur.

On relève dans le cas de la pose fig2 une baisse du champ de 2% par rapport à la pose fig1 et pour la pose fig3 une baisse de 10%.

En conclusion, une pose pas tout à fait circulaire n'affecte quasiment pas l'intensité du champ magnétique produit.

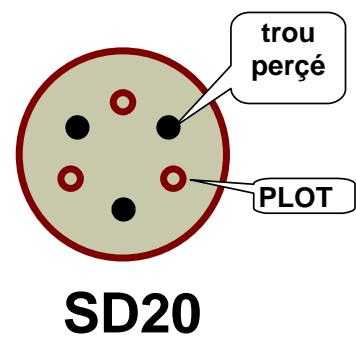
### -Câblage des bobines

Chaque bobine est câblée sur 2 plots d'un connecteur SD20 qui en compte 3.

- Les bobines de 1m et 2m de diamètre qui ont la même inductance sont câblés entre les plots 1 et 3.
- La bobine de 56cm d'inductance différente est câblée entre les plots 1 et 2 du SD20.

La bobine pouvant voyager en siphon, le connecteur SD20 donné pour étanche ne l'est plus à quelques mètres de profondeur. Le risque est alors d'emprisonner de l'eau dans le connecteur. Pour éviter cela, on a percé l'embout et les flancs du connecteur de 3 trous de 1,5mm de diamètres.

Avant de le connecter, il suffit alors de le secouer et de souffler dans son embout pour s'assurer de l'absence d'eau à l'intérieur.



### 3) MESURES

A l'oscilloscope on a relevé le courant et la tension aux bornes de la bobine d'émission.

#### -Conditions de mesures :

Bobine d'émission de 1m de diamètre, branchée à la sortie de l'émetteur

Tension de batterie à vide 24v, pendant la durée du bip : 23,2V

Mesure de la tension : sonde d'oscilloscope 1/100

Mesure du courant : sonde de courant sans contact 5A/V

#### -Relevés

CH1 (en haut) tension aux bornes de la bobine .

On mesure :

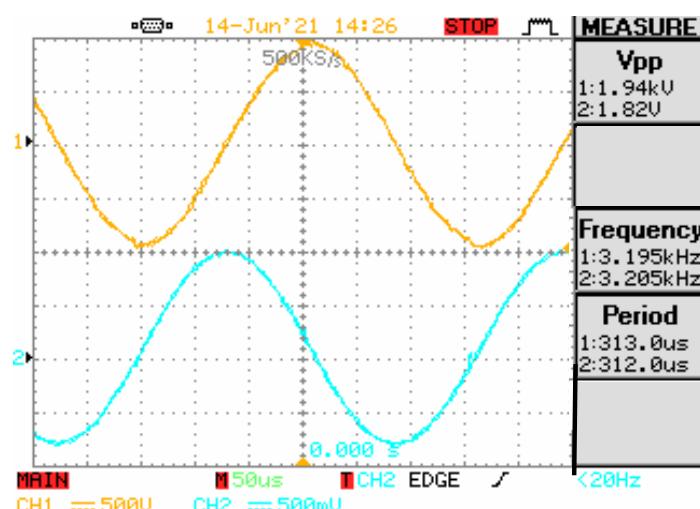
Tension crête à crête 1940V

Soit une amplitude de **970V**.

CH2(en bas) : tension image du courant dans la bobine 5A/V.

Soit une valeur crête à crête de  $1,82 \times 5 = 9,1\text{A}$

soit une amplitude de **4,5A**.

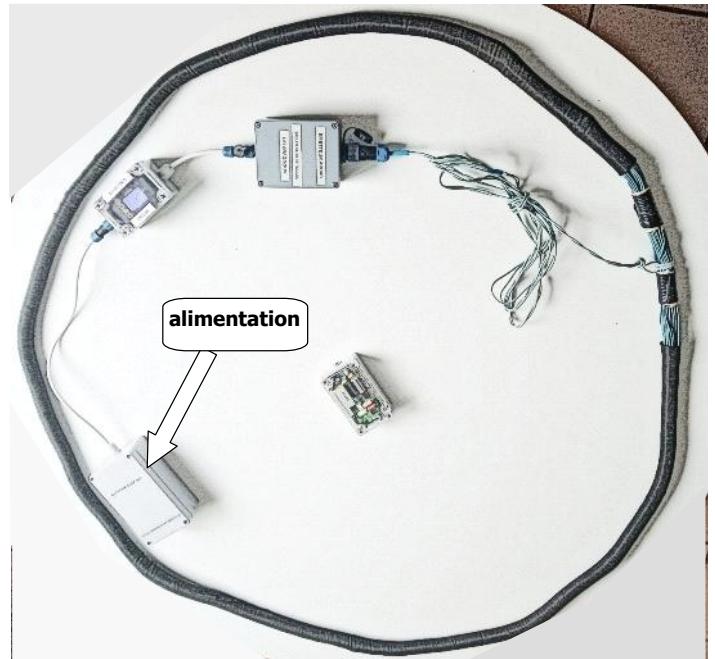


Lorsque la batterie 6S2P vient d'être chargée, sa tension atteint 27,2V, l'amplitude du courant est environ de 5A et celle de la tension dépasse légèrement 1000V.

# ALIMENTATION

- 1) CHOIX DE L'ALIMENTATION
- 2) TESTEUR D'ALIMENTATION
- 3) FABRICATION DES ALIMENTATIONS

## 1) CHOIX DES ALIMENTATIONS



### **Choix du type d'alimentation**

Les batteries sont plus adaptées que les piles, car avant chaque utilisation il suffit de les recharger. On sait alors de quelle autonomie on dispose pour la radiolocalisation.

De plus, cet ARCAS peut être utilisé lors d'opérations de secours en spéléologie, l'ARCAS doit être opérationnel à tout moment. Pour cela on a choisi de disposer de 2 sources d'alimentations. Plutôt que d'opter pour 2 batteries, on a choisi une batterie et en secours un boîtier de piles grand public.

Dans la valise on stockera donc un jeu de piles neuves, Ainsi en cas de défaillance de la batterie, il suffit d'équiper le boîtier de piles avec les piles neuves pour garantir une autonomie suffisante.

Par ailleurs, l'intérêt d'opter pour des piles grand public, c'est qu'on peut en trouver facilement dans les commerces.

On a choisi les piles bâtons alcalines de type AA (LR6) car ce sont les plus courantes. Ce choix va avoir des répercussions sur le choix de la tension d'alimentation.

Pour la batterie on a choisi le type Lithium-ion pour son bon rapport poids-puissance.

## Choix de la tension d'alimentation :

Même si l'émetteur admet 48V en entrée. Les piles ont limité cette tension à 27V obtenu avec 18 piles AA en série.

En effet, les essais ont montré qu'avec 24 piles en série soit une tension nominale de 36V, le courant dans la bobine n'était pas plus élevé.

L'explication de ce phénomène vient de l'addition des résistances internes des piles en série.

Ce phénomène n'a pas été relevé sur les batteries Lithium ion qui ont une résistance interne bien plus faible.

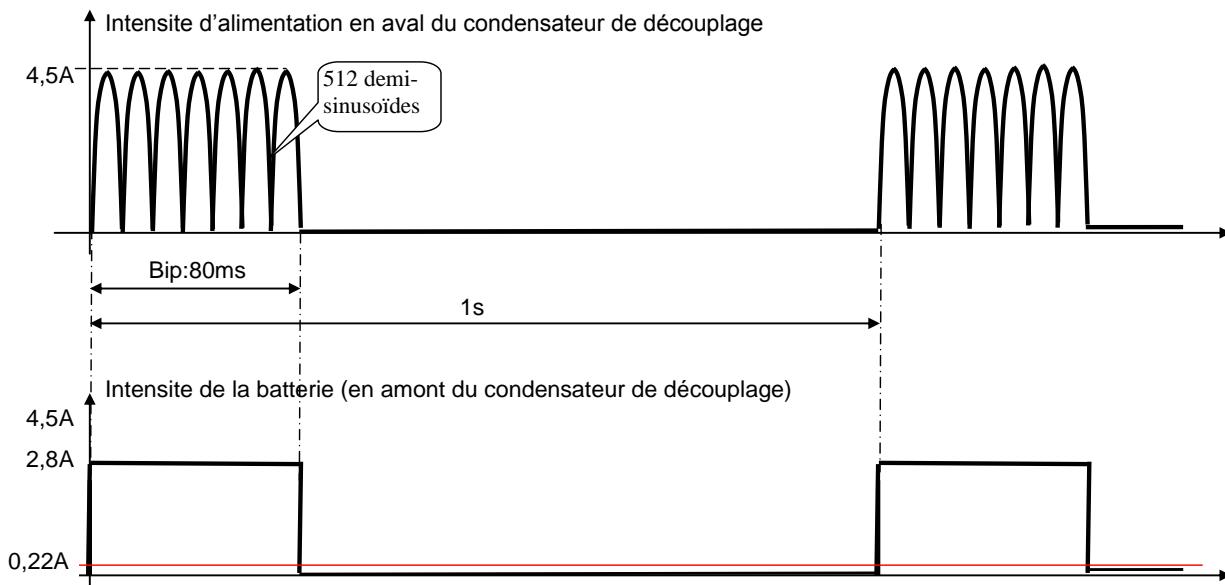
Des essais ont montré qu'avec 18 piles soit 27V à vide, on obtenait le même courant dans la bobine qu'avec une batterie Lithium de 6 éléments en série soit 22,2V à vide.

C'est l'option qui a été choisie, de façon à ce que les performances de la balise soient sensiblement identiques avec la batterie ou les 18 piles.

## Détermination de la capacité de la batterie :

On se fixe une autonomie d'au moins 10 heures. Il faut connaître le courant moyen consommé.

En aval du condensateur de découplage, durant la durée du bip le courant correspond à du 3200Hz redressé double alternance d'amplitude 4,5A. On montre que sa valeur moyenne sur la durée du bip vaut  $(2/\pi) \times 4,5A = 2,8A$ .



Du fait du lissage du condensateur de découplage, idéalement on retrouve un courant en sortie de la batterie quasiment constant à 2,8A durant le bip.

Sachant le bip de 0,08s a lieu toutes les secondes, le courant moyen consommé ne sera que de  $2,8 \times 0,08/1 = 224mA$ .

La capacité restituée par la batterie pour 10h d'autonomie devra donc être de  $10 \times 224 = 2240 \text{ mAh}$ .

On a choisi d'utiliser une batterie à base des populaires cellules 18650, (bâtons de 18mm de diamètre pour 65mm de longueur).

En théorie une batterie 6S1P composée de 6 cellules Lithium-ion 18650 en série pour obtenir la tension devrait suffire, puisque une 18650 est donnée pour une capacité de 2000mA à 3000mA suivant les modèles.

Dans la pratique, il se trouve que pour éviter une décharge complète qui serait destructive, ces batteries sont équipées d'un circuit appelé BMS qui coupe la batterie avant qu'elle ne soit complètement déchargée.

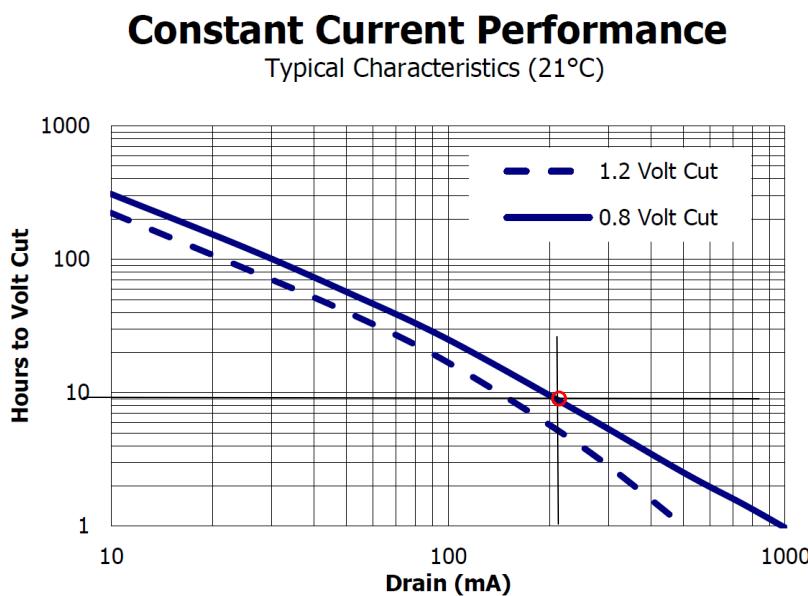
Expérimentalement, on a relevé qu'une batterie 6S1P donne à l'ARCAS une autonomie de **7h**. On a donc aussi prévu une batterie 6S2P composé de 6 éléments en série chaque élément étant composé de deux 18650 en parallèle.

### Chargeur de la batterie

C'est un chargeur adapté pour batterie Lithium 6S. la charge dure de 3 à 5h avec un chargeur 1A ; 25,2V.

### Autonomie du boitier de 18 piles AA

Une pile AA est déchargée quand sa tension tombe à 0,8V, cela correspond à  $(18 \times 0,8) = 14,4 \text{ V}$ .



D'après l'abaque constructeur ci-dessus, on relève une autonomie 9h, donc peu différente de celle obtenue avec la batterie.

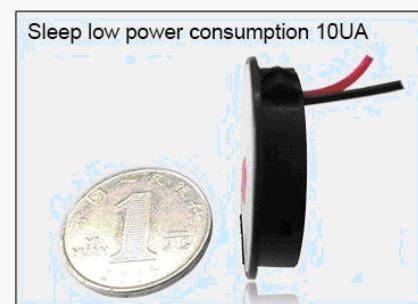
A noter qu'au bout de 9h la tension sera passé à 14V et l'intensité du courant dans la bobine aura presque été divisée par 2, ce qui correspond à une perte de portée de 20% seulement.

## **2) TESTEUR D'ALIMENTATION**

Permet de connaitre l'état de charge de la batterie ou du boitier 18 piles.

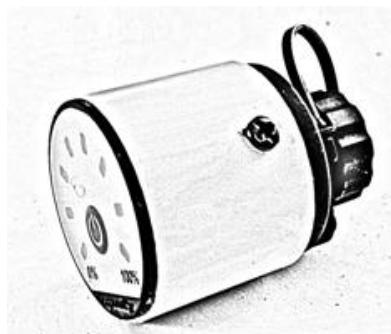
On a choisi le petit testeur tout fait ci-dessous.

Ce testeur correspond au test d'un accu Lithium 6S. Il peut être reprogrammable à l'aide du bouton du milieu à d'autres modèles de 1S à 13S. Pour éviter de fausses manipulations, nous avons dessoudé le bouton.



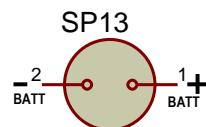
Le testeur est alors emmanché dans un bout de tube IRL de 32mm équipé d'un bouchon au bout duquel on a fixé un connecteur chassis SP13 .

| Lithium battery | LED1 红 | LED2 红 | LED3 白 | LED4 白 | LED5 绿 | LED6 绿 | LED7 蓝 | LED8 蓝 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24V/6S/25.2V    | 18V    | 18.9   | 19.8   | 20.7   | 21.6   | 22.5   | 23.4   | 24.6   |



## **3) FABRICATION DES ALIMENTATIONS**

La sortie de chaque alimentation s'effectue sur un connecteur 2 étanche mâle 2 broches SP13 dont on donne ci-contre l'affectation de chaque broche.



### **Adaptateur connecteur SP13/chargeur**



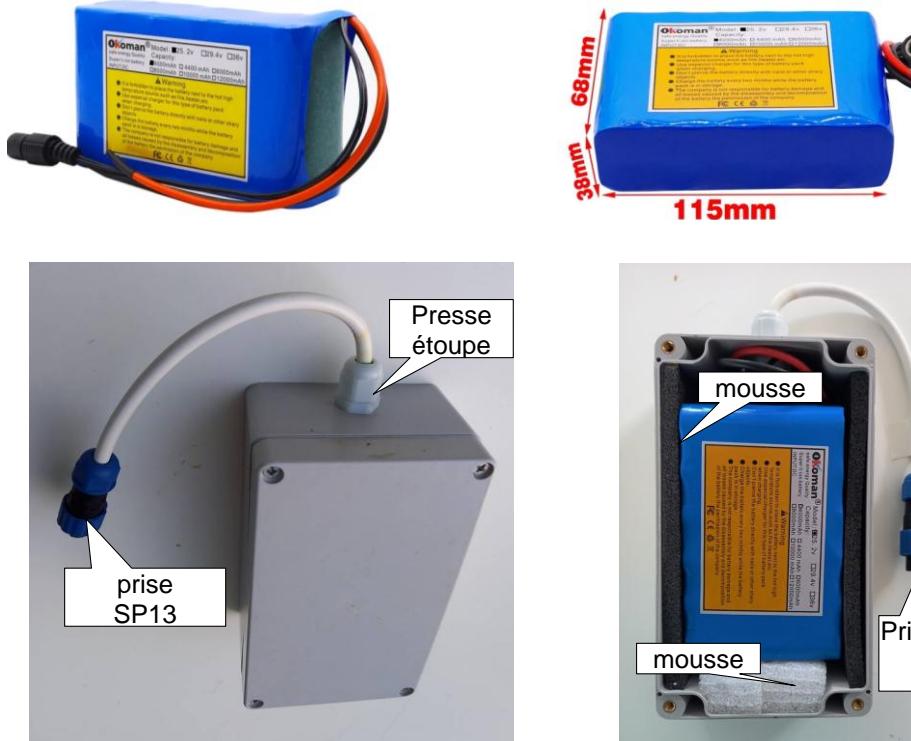
Le + du chargeur relié à la borne 1 du SP13 et le - à la borne 2.

## Boitiers batteries

### Boitier batterie 6S2P

On a choisi d'acquérir une batterie Li-ion de 6 éléments 18650 en série déjà assemblés et qui intègre sa carte BMS de contrôle de charge et décharge.

Il est livré avec un petit chargeur secteur. On placera le tout dans un boitier plastique ABS étanche IP65.



| LISTE MATERIEL                                |                    |                                    |
|---|--------------------|------------------------------------|
| Batterie Lithium-ion                          | 6S2P<br>4000mAh    | Avec BMS intégré et prise chargeur |
| Boitier ABS étanche IP65                      | 158x90x60          |                                    |
| Presse étoupe                                 | PG7                | Diamètre perçage 13                |
| Câble 2 brins H05VVF                          | 1,5mm <sup>2</sup> | 30cm                               |
| Connecteur 2 broches mâle étanche IP68        | SP13               |                                    |
| Mousse de calage                              |                    | Cotés et couvercle                 |
| Chargeur secteur pour batterie Lithium-ion 6S | 1A, 25,2V          |                                    |

A noter, que la charge s'effectue via le connecteur SP13 de sortie. On a néanmoins garder le connecteur 5,5x2,1mm câblé en usine sur la batterie et qui est compatible avec le connecteur du chargeur. Il est laissé à l'intérieur du boitier étanche et il pourra être utilisé en secours en cas de perte de l'adaptateur SP13/5,5. Dans ce cas, pour charger la batterie, il conviendra d'ouvrir le boitier en dévissant les 4 vis du couvercle.

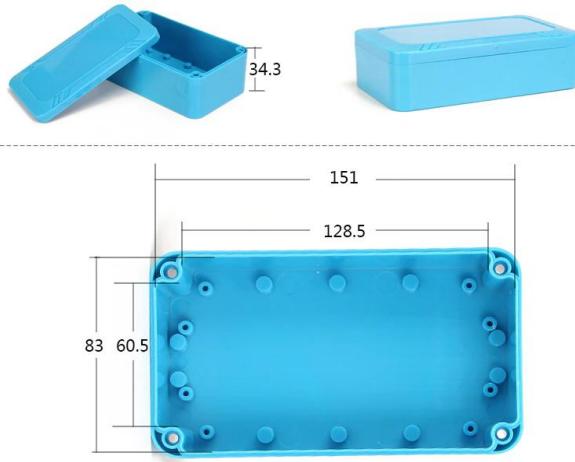
### Boitier batterie 6S1P

Même principe mais avec un boitier moins épais, de dimensions 158x90x45 et une capacité réduite à 2000mAh.

Le reste du matériel est identique à la batterie 6S2P précédente, y compris le chargeur.



**Model : Y4-1**  
**Size : 158×90×45mm**



### Boitier 18 piles AA

Les 18 piles AA (LR6) alcalines sont regroupées sur 3 support de 6 piles chacun, câblés en série.

Ces supports se placent verticalement dans un boîtier de ABS étanche IP65 de dimensions 130x80x70.

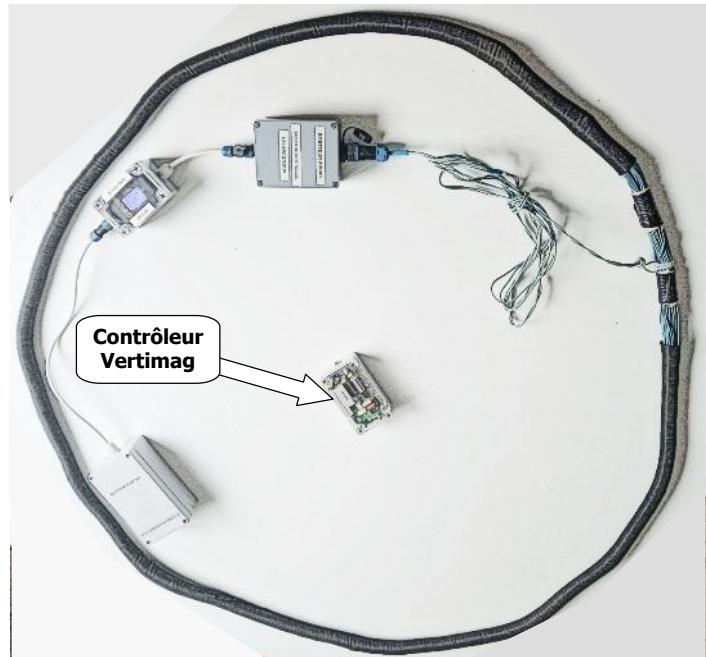
Le reste du matériel est le même que pour les boîtiers batteries.



# VERTIMAG

## CONTROLEUR DE VERTICALITE

- 1) OBJET & PRESENTATION
- 2) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
- 3) PRESENTATION FONCTIONNELLE
- 4) SCHEMA &  
ANALYSE STRUCTUREL LE
- 5) FABRICATION DU VERTIMAG



### **1) OBJET & PRESENTATION DE L'APPAREIL**

La bobine d'émission doit émettre un champ magnétique vertical suivant un axe qui passe en son centre.

Si le sol est plat et horizontal, il suffit de poser la bobine à plat sur le sol.

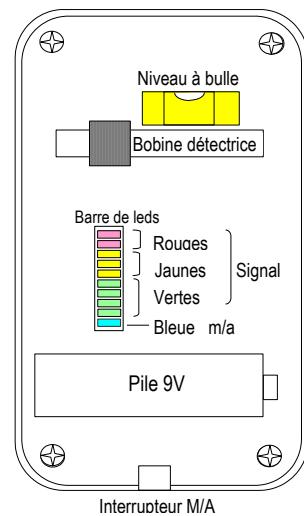
Cependant sous terre , on a le plus souvent à faire à des sols inégaux et non parfaitement horizontaux.

Le contrôleur VERTIMAG (VERTicalité MAGnétique) permet le contrôle de la verticalité du champ magnétique produit. Il permet de déterminer de quel côté est incliné le champ et ainsi de le corriger, en ré-haussant légèrement avec des pierres ou de l'argile un coté de la bobine.

Avec cet appareil, la mise en place correcte de la bobine d'émission ne prend que quelques minutes.

Le Vertimag , est de petites dimensions (11,5cm x6,6cm), alimenté par une pile de 9V (6LR61), avec un couvercle transparent au travers duquel on distingue :

- Un niveau à bulle éclairé plaqué contre la bobine
- Une bobine de détection
- Une barre de 10 leds. comprenant
- Une led bleue Marche/Arrêt (en bas)
- 9 « leds signal »indiquant l'intensité du champ magnétique qui traverse la bobine dans le sens de sa

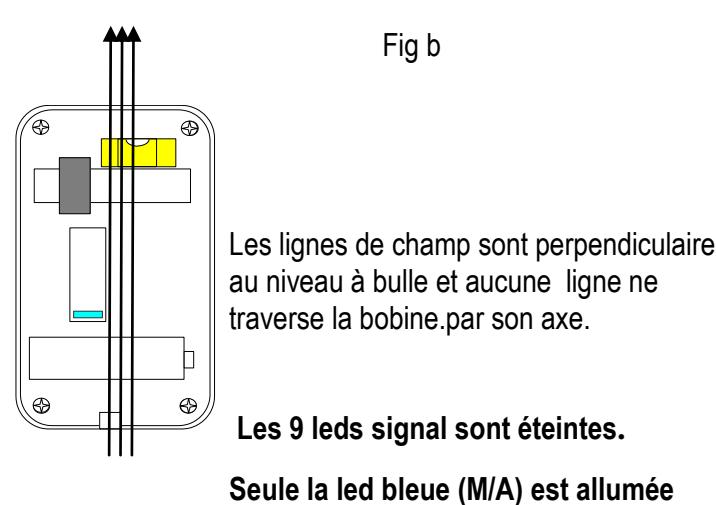
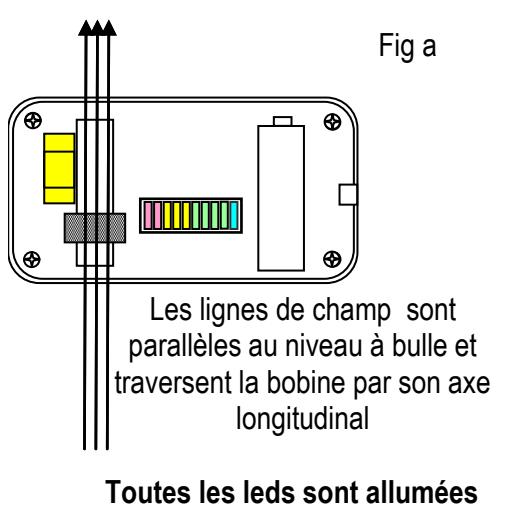


longueur. Plus l'intensité du champ magnétique est grande plus le nombre de leds allumées est important ;

- De plus un discret interrupteur sur la tranche de l'appareil permettra sa mise sous tension.

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Suivant l'angle du niveau à bulle du Vertimag par rapport au champ magnétique, on aura plus ou moins de « leds signal » allumées.

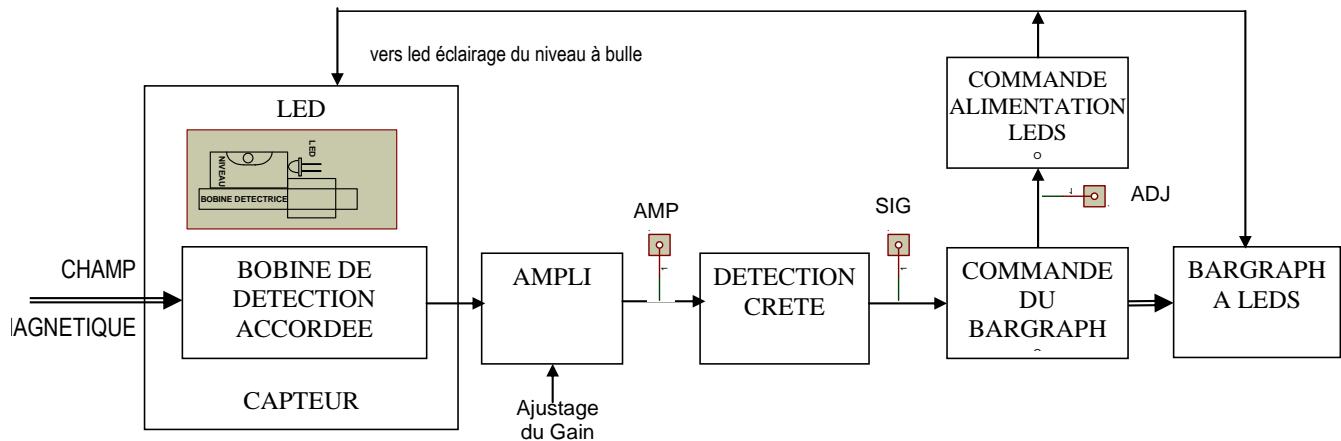


La recherche de la position menant à l'extinction des « leds signals » donnera l'orientation des lignes du champ magnétique.

On place l'appareil au dessus du centre de la bobine d'émission, si le champ magnétique est vertical, alors toutes les « leds signal » s'éteignent, quand le niveau à bulle est positionné horizontalement. La précision étant **de  $\pm 0,5^\circ$** .

**Note :** Pour les informations sur la mise en œuvre du Vertimag, voir le guide utilisateur de l'ARCAS.

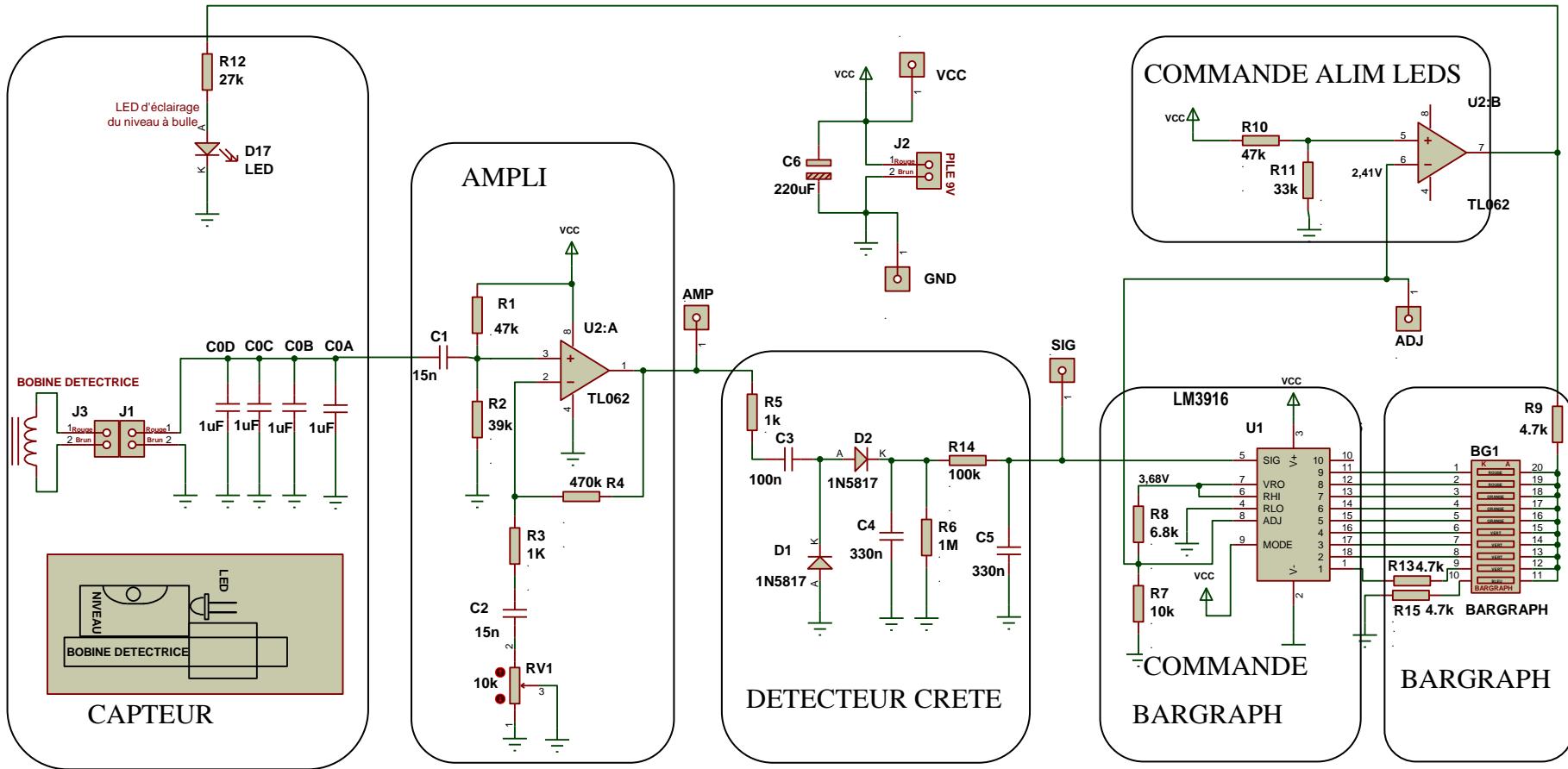
## 2) PRESENTATION FONCTIONNELLE



- Le capteur transforme le champ magnétique à 3200Hz qu'il reçoit de la bobine émettrice en un signal de même fréquence et d'amplitude proportionnelle à celle du champ magnétique.
- Au point AMP ce signal se retrouve amplifié, car il était d'amplitude trop faible pour être traité.
- Au point SIG, le détecteur crête délivre une tension continue fonction de l'amplitude du signal.
- Un dispositif à seuils, commande alors l'allumage d'un nombre de leds du bargraph d'autant plus grand que l'amplitude du signal est grande.
- Ce dispositif délivre en ADJ une tension constante de référence, indépendamment de l'usure de la pile. La fonction « commande de l'alimentation des leds », interrompt brutalement l'alimentation des leds quand la tension de la pile n'est pas suffisante à un fonctionnement correct de l'appareil. Cela indique aussi à l'utilisateur qu'il est temps de changer la pile.

La solution structurelle choisie est purement analogique, cela vient du fait de l'existence du circuit intégré LM3916 basse consommation spécialisé dans la commande d'un bargraph en fonction d'une tension d'entrée donnée.

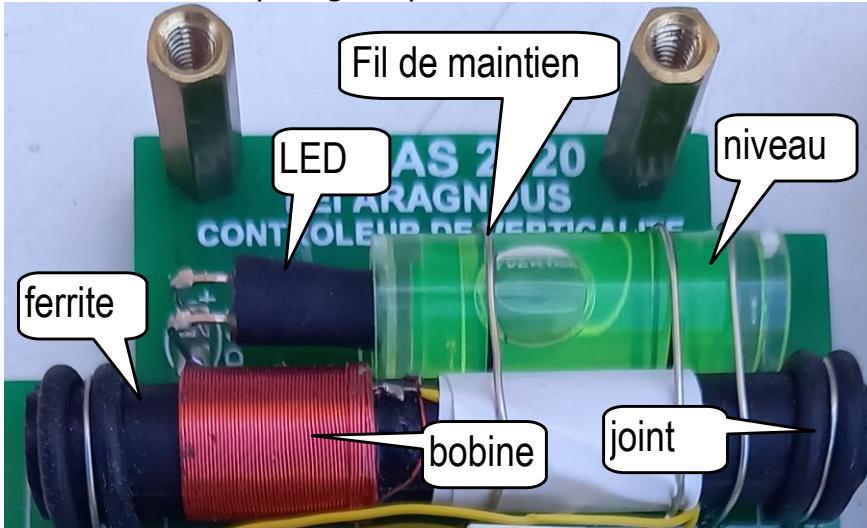
### 3) SCHEMA & PRESENTATION STRUCTURELLE



## Le capteur

Constitué d'une petite bobine sur une petite ferrite, d'un niveau à bulle éclairé par une led.

La ferrite permet de canaliser les lignes du champ magnétique, et la bobine transforme les variations du champ magnétique en variation de tension.



Le niveau est maintenu sur la ferrite à l'aide de 2 fils électriques rigides soudés sur la carte. La ferrite est maintenue à ses extrémités par 2 autres fils soudés sur la carte. Autour de la ferrite on a placé des joints toriques en caoutchouc pour compenser l'épaisseur de la bobine et comme amortissement.

Le niveau étant plaqué sur la ferrite, ce qui signifie que si le niveau est placé à l'horizontale, seules entreront dans la bobine les lignes de champ horizontales.

Cette bobine est accordée avec un condensateur de façon à ce que la fréquence de résonance de l'ensemble soit à la fréquence du signal émis donc à 3200Hz.

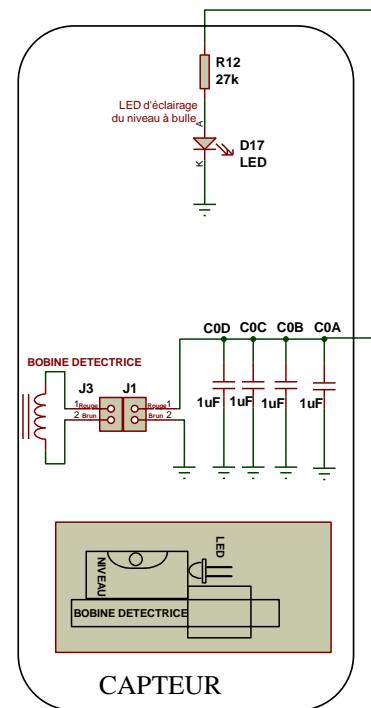
Cet accord, permettra un effet de filtrage et augmente la tension délivrée par la bobine.

Le signal aux bornes de la bobine sera une image de la composante horizontale de la ligne de champ. On pourra donc s'assurer de la verticalité du champ magnétique quand le signal aux bornes de la bobine sera nul.

### Choix de la bobine

On a choisi une antenne pour le signal DCF77, qui est un signal pour le radio-pilotage des horloges et pendules. Cette antenne est constituée de la bobine sur sa ferrite.

Son inductance est d'environ  $610\mu\text{H}$  et sa résistance d'environ  $2\Omega$ .  
A défaut on pourra récupérer un enroulement d'une antenne AM d'un récepteur radio.



## Choix du Condensateur d'accord

On rappelle que la valeur du condensateur d'accord doit être telle que  $L \omega_0 = 1/C \omega_0$   
Avec  $L=610\mu\text{H}$ ,  $\omega_0=2\pi \times 3200$ , il vient  $C=4\mu\text{F}$ .

Il est déconseillé d'utiliser des condensateurs polarisés du fait de leur imprécision et de leurs importantes pertes. En non polarisé,  $4\mu\text{F}$  est une valeur importante et pas facile à trouver, on a choisi de l'obtenir avec 4 condensateurs (C0A à COD) de  $1\mu\text{F}$  en parallèle.

### Choix de la led :

On a opté pour une led basse consommation de couleur jaune, que l'on a placé dans un petit manchon en gaine thermo-rétractable.

## **L'ampli**

L'amplificateur permet au signal d'avoir une amplitude suffisante pour être exploitée. Il est bâti à partir d'un amplificateur opérationnel TL062. Celui-ci a été choisi en raison de sa faible consommation.

Suivant le capteur utilisé, l'amplitude du signal à sa sortie sera différente, c'est pour cela qu'on a rendu le gain ajustable dans un rapport 10, grâce à RV1.

Pour le capteur précédemment décrit, on a réglé RV1 presque à 0 (curseur patte 3 en 2)

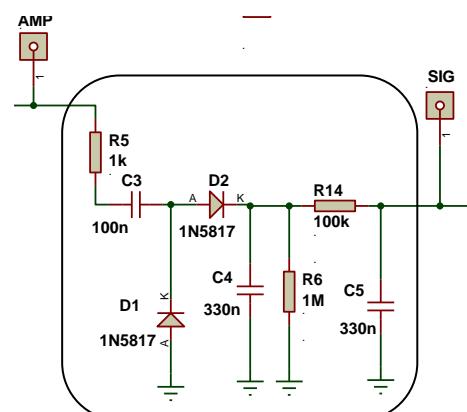
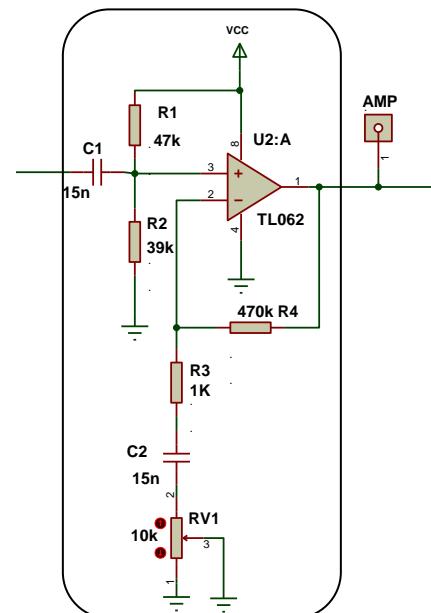
Si on utilise un capteur beaucoup moins sensible, donc d'inductance bien plus faible sur la même ferrite, il est possible qu'on soit emmené à augmenter fortement le gain. Ceci peut être fait en diminuant la valeur les valeurs de R3 et RV1, par exemple  $R3=100\Omega$  et  $RV1=1\text{k}\Omega$ .

## Le détecteur crête

Bâti autour d'une pompe à diode (C3,D1),D2,C4), Ce dispositif permet d'avoir une tension fonction de l'amplitude du signal sinusoïdal à son entrée.

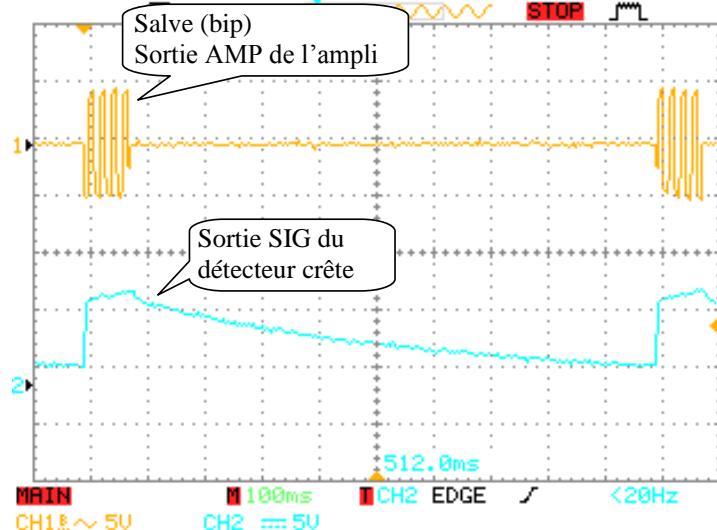
La résistance R6 permet à la tension de sortie de redescendre doucement à 0V entre 2 bips d'émission. Cela améliore le confort d'utilisation en laissant le temps à l'opérateur de voir redescendre le bargraph. Cela ne grève par le temps de réponse de l'appareil puisqu'il est de 1s. Le circuit formé par R14 et C5 est un filtre passe-bas qui a pour rôle de lisser le signal obtenu.

On a choisi des diodes de type Schottky 1N5817 car elles ont un faible seuil, ce qui permet de baisser le seuil de détection du détecteur.



Sur cet oscillogramme, en haut la salve de sinusoïdes à 3200Hz, correspondant au bip qui dure 80ms.

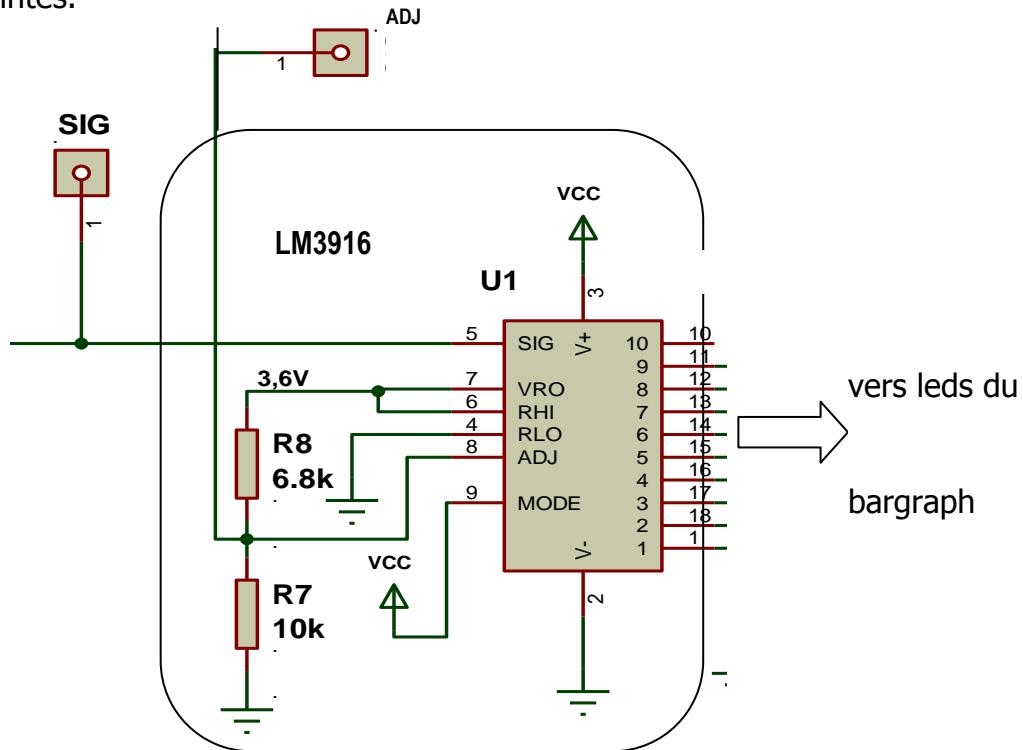
En bas, le signal en sortie SIG, où l'on voit une montée rapide de la tension à l'apparition de la salve.. La tension reste ensuite à peu près stable durant toute la durée de la salve, puis redescend doucement à 0 à sa disparition.



La valeur maximum du signal en sortie du détecteur suivra l'amplitude des sinusoïdes du signal en sortie de l'ampli.

### Le circuit de commande de commande du bargraph

Il s'agit du circuit intégré LM3916, il commande jusqu'à 10 leds d'un bargraph. Le nombre de leds allumées est fonction croissante de la tension d'entrée SIG. Les tensions appliquées aux entrées RHI et RLO sont les bornes de la commande du bargraph. Pour VSIG>VRHI toutes les leds sont allumées et pour VSIG<VRLO toutes les leds sont éteintes.



Pour le LM3916 le nombre de leds allumés est fonction logarithmique de la tension d'entrée, ce qui permet d'accroître la dynamique de mesure.

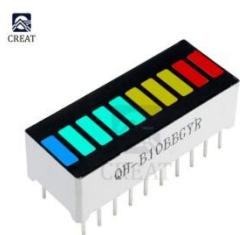
Un régulateur interne de 1,25V associé aux résistances R7 et R8 permet d'obtenir une tension constante en VRO que l'on a relié à HI. Comme RLO est relié au 0V, les 2 bornes d'allumage du bargraph seront 0V et VRO.

Pour que le montage puisse fonctionner pour une alimentation de 9V (pile neuve) à 6V (pile usée), on ne peut dépasser 3,6V en RHI.

Les résistances R7 et R8 ont donc été calculé pour obtenir 3,68V en VRHI=VRO.

En ADJ on a une tension une tension constante de 2,41V qui est envoyée sur le circuit de commande de l'alimentation des leds.

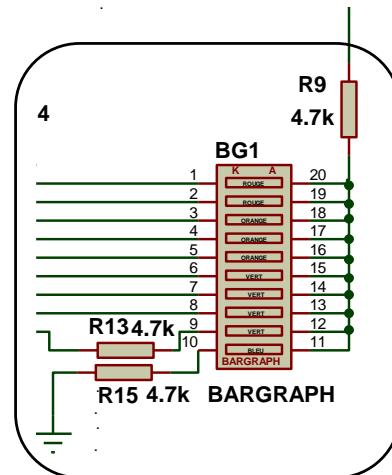
## Le bargraph



On a choisi un bargraph de 10 led basse consommation en 4 couleur : 1 bleue,4 vertes,3 oranges,2rouges.

Normalement il aurait fallu mettre une résistance par led.

Pour moins consommer, le choix a été fait de placer une seule résistance R9 pour les 10leds. Une autre conséquence est que l'intensité des leds diminue avec le nombre de leds allumées. A l'usage il a fallu tout de même placer une résistance en plus pour chaque des 2 premières leds, pour équilibrer un peu les luminosités.



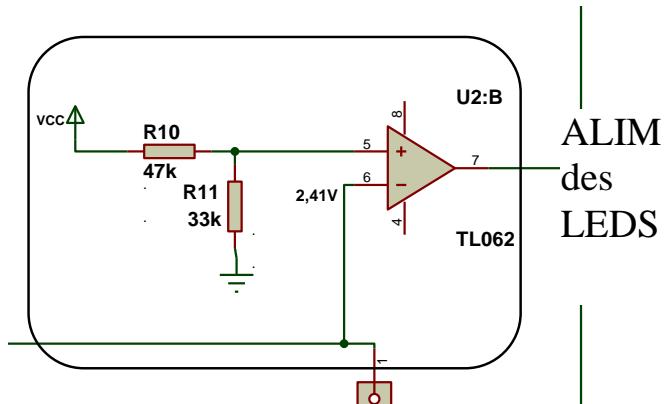
## La commande de l'alimentation des leds

Avant l'arrêt totale du à l'usure totale de la pile l'appareil risque de mal fonctionner. Pour éviter cela, on a prévu un dispositif qui coupe l'alimentation des leds, dès lors que la tension de la pile n'est plus suffisante à faire fonctionner correctement le montage. Cette tension a été déterminée à 6V. L'opérateur ne peut plus utiliser l'appareil et comprend qu'il faut changer la pile.

Le principe consiste à alimenter les leds avec la sortie d'un ampli Op monté en comparateur.

A l'aide du pont diviseur de tension R10 et R11, l'ampli Op compare une fraction de la tension Vcc de la pile avec la tension constante ADJ de 2,41V fournie par le LM3916.

Ce pont diviseur est calculé pour délivrer 2,41V quand la tension de la pile vaut 6V. Ainsi quand la tension de la pile passe en dessous de 6V, la sortie du comparateur passe à 0V et les leds ne sont plus alimentées.

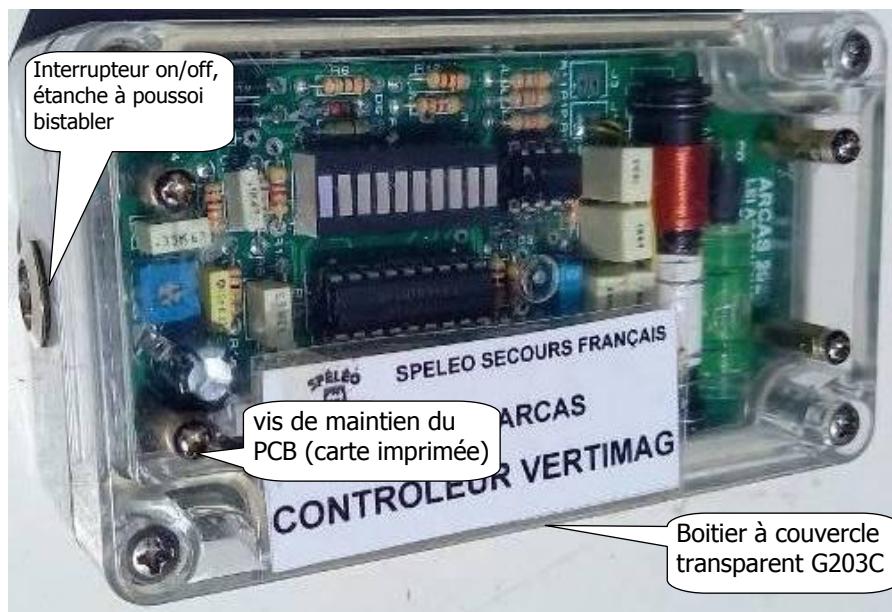


## SPECIFICATIONS

- Alimentation : pile 9V Alcaline 6LR61 (PP3)
- Autonomie 90h
- Poids : 200g
- Dimensions : L=115 , l=66 , H=43
- Indice de protection : IP65
- Housse de protection
  
- Précision  $\pm 0,5^\circ$
- Champ pour allumer une led : 300nT
- Champ pour allumer toutes les leds : 4,2 $\mu$ T
- Echelle du bargraph : logarithmique
- Consommation moyenne : 6,5mA

## **4) FABRICATION DU VERTIMAG**

### **Vue d'ensemble**



**ATTENTION :** la photo concerne un modèle dont le PCB ne correspond pas exactement à celui exposé plus en avant

Le boitier de dimensions 115mm x 65mm x 40mm est un modèle G203 étanche IP67 avec un couvercle transparent.

Le circuit imprimé (PCB) est de type double face à trous métallisés.

Des fichiers au format Gerber, sont disponibles pour la sous-traitance de la fabrication du PCB par un industriel.

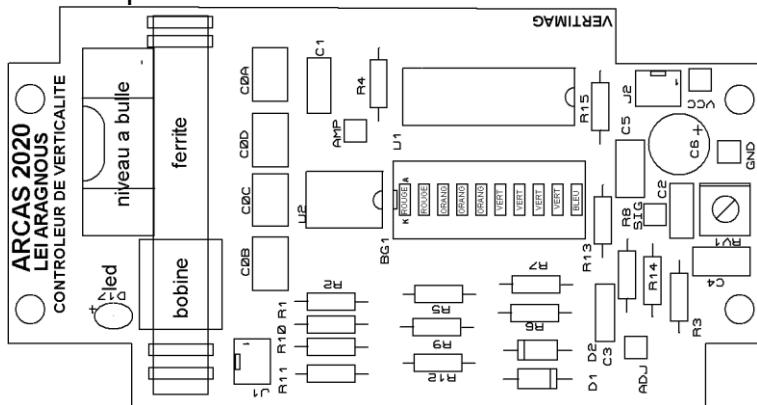
Il est possible de télécharger gratuitement un visualisateur de fichiers Gerber qui vous permettra de visionner et d'imprimer les différentes couches du circuit imprimé.

Dimensions de la carte imprimée : 53,5mm X 99,5mm

## Schemas du circuit imprimé

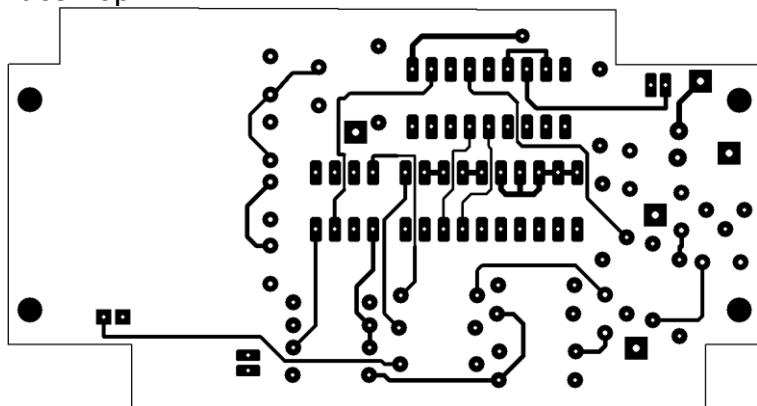
Attention, les schémas ne sont pas précisément à l'échelle 1

### Vue composants

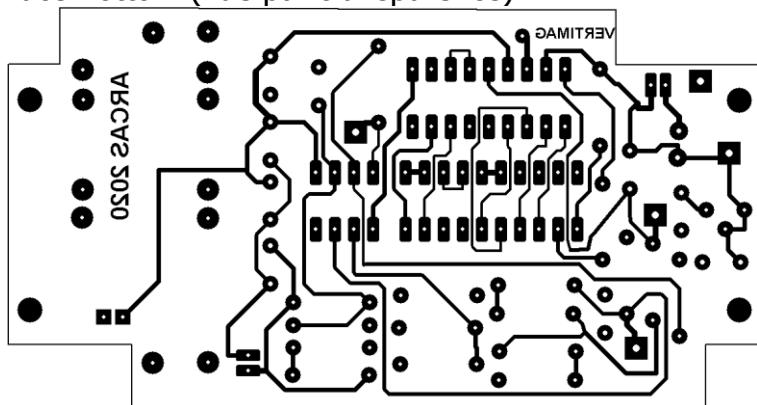


### Vue des pistes imprimées

#### Face Top



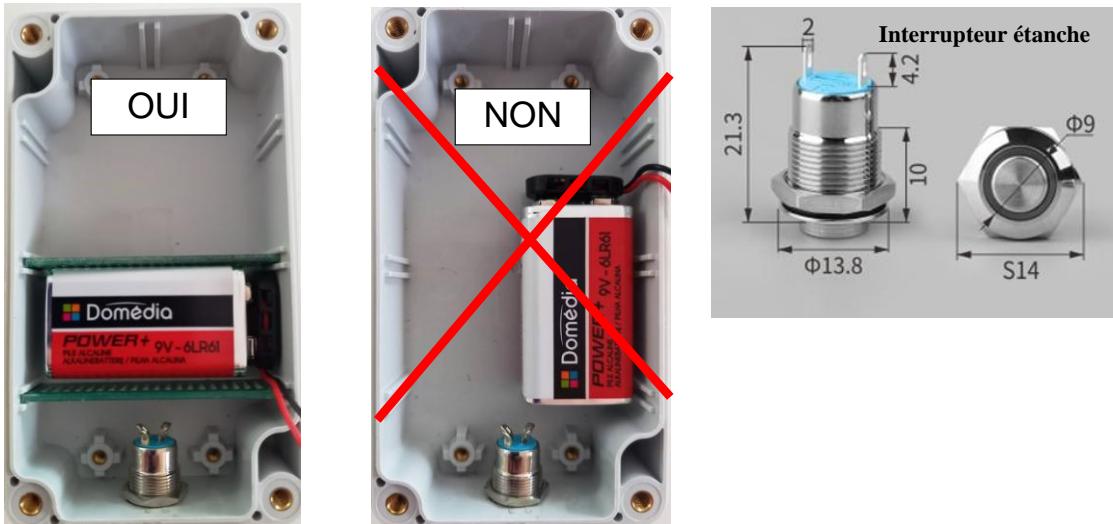
#### Face Bottom (vue par transparence)



## Conseils de montage.

La carte imprimée est fixée par 4 vis à partir du couvercle, cela grève l'étanchéité du boitier, mais cela facilitera la mise en place de la pile qu'on placera au fond du boitier .

La pile 9V alcaline contient des matériaux ferromagnétiques qui canalisent les lignes de champ. Pour ne pas perturber la mesure, la pile doit impérativement être placée parallèlement à la ferrite comme indiqué ci-dessous.



Si on utilise une batterie Li-po 9V qui a le même format qu'une pile 9V normale, on s'affranchira des risques de déviations des lignes de champs, car les batteries Li-po ne contiennent pas de matériaux ferromagnétiques.



Elles sont rechargeable par une connexion USB.

Les capacités annoncées par les fournisseurs sont souvent fantaisistes et bien inférieures à celle d'une pile 9V alcaline. Ainsi j'ai pu mesurer une capacité de 130mAh pour 500mAh annoncé. Cela laisse une autonomie d'environ 24h ce qui est suffisant.

## Liste de matériel du Vertimag

Hormis le boitier, on peut trouver tous les composants sur le site « AliExpress »

| DESIGNATION             | QTE | REPERE                  | Value                       | REMARQUE                             | EMPREINTE PCB              |
|-------------------------|-----|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Bagraph                 | 1   | BG1                     | 10 LEDS                     | Basse conso<br>Tricolore             | DIL20 étroit               |
| Bobine<br>Détectrice    | 1   | L1                      | 600µH                       | Ferrite 50 x 8                       | capteur<br>DCF77           |
| Boitier                 | 1   |                         | G203C                       | 115 x 65 x 40                        |                            |
| circuit intégré         | 1   | U1                      | LM3916                      |                                      | DIL18 ETROIT               |
| circuit intégré         | 1   | U2                      | TL062                       |                                      | DIL08                      |
| Condensateur            | 4   | C0A,C0B,C0C,C0D         | 1uF                         |                                      | CAPA 2PAS 4.7MM            |
| Condensateur            | 2   | C1,C2                   | 15n                         |                                      | CAPA 2PAS 3MM              |
| Condensateur            | 1   | C3                      | 100n                        |                                      | CAPA 2PAS                  |
| Condensateur            | 2   | C4,C5                   | 330n                        |                                      | CAPA 2PAS LARGE            |
| Condensateur            | 1   | C6                      | 220uF                       | polarisé                             | CAPA ALU RAD<br>1.5PAS 8MM |
| Connecteur              | 2   | J1-J2                   | PH2<br>Pas de 2mm           |                                      |                            |
| Diodes                  | 2   | D1,D2                   | 1N5817                      | diode Schottcky                      | DIODE 4 PAS                |
| Diodes                  | 1   | D17                     | LED                         | basse conso                          |                            |
| Entretoises             | 4   |                         | Hauteur 12à14<br>Vis diam 3 | mâle d'un coté<br>femeile de l'autre |                            |
| Interrupteur            | 1   |                         | Long 21,3mm                 | Étanche<br>Affleurant                |                            |
| Niveau à bulle          | 1   |                         |                             | 25 x 9,5                             |                            |
| PCB                     | 1   |                         |                             | 53,5 x 9,5<br>Double face            |                            |
| Point-test              | 5   | ADJ,AMP,GND,SIG,<br>VCC | cosses<br>Poignards         |                                      |                            |
| Résistance              | 3   | R1,R10                  | 47k                         |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              |     | R11                     | 33k                         |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 1   | R2                      | 39k                         |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 2   | R3,R5                   | 1K                          |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 1   | R4                      | 470k                        |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 1   | R6                      | 1M                          |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 1   | R7                      | 10k                         |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 1   | R8                      | 6.8k                        |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 3   | R9,R13,R15              | 4.7k                        |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 1   | R12                     | 27k                         |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| Résistance              | 1   | R14                     | 100k                        |                                      | RESISTANCE 4PAS            |
| résistance<br>Ajustable | 1   | RV1                     | 10k                         |                                      |                            |
| Vis                     | 4   |                         | diamètre 3mm                |                                      |                            |

# MINUTERIE

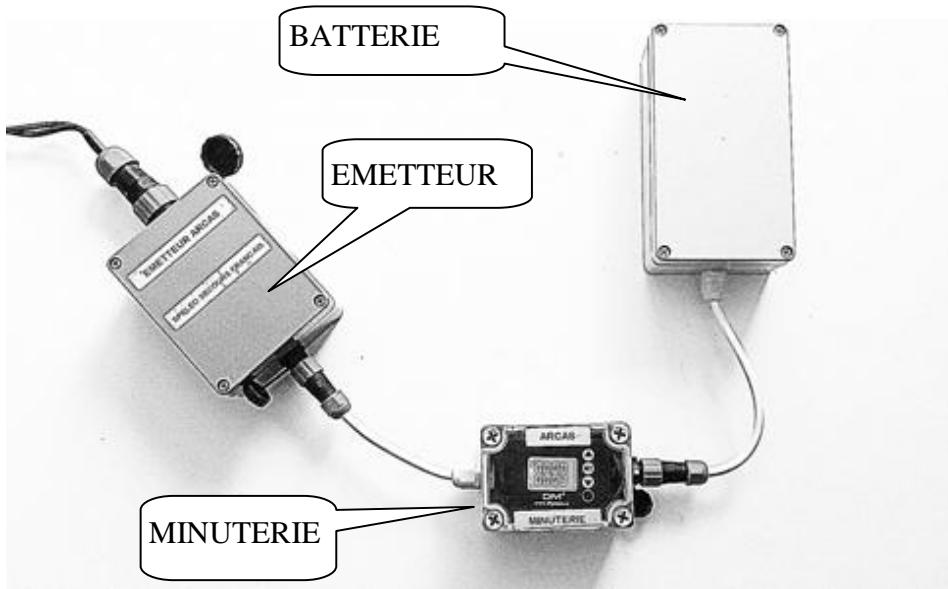
## **1) PRESENTATION**

Cette minuterie permet de retarder la mise en route de l'émetteur, mais aussi de le faire fonctionner pendant une durée déterminée, ou bien cycliquement.

Les durées vont de 1s à 99h.

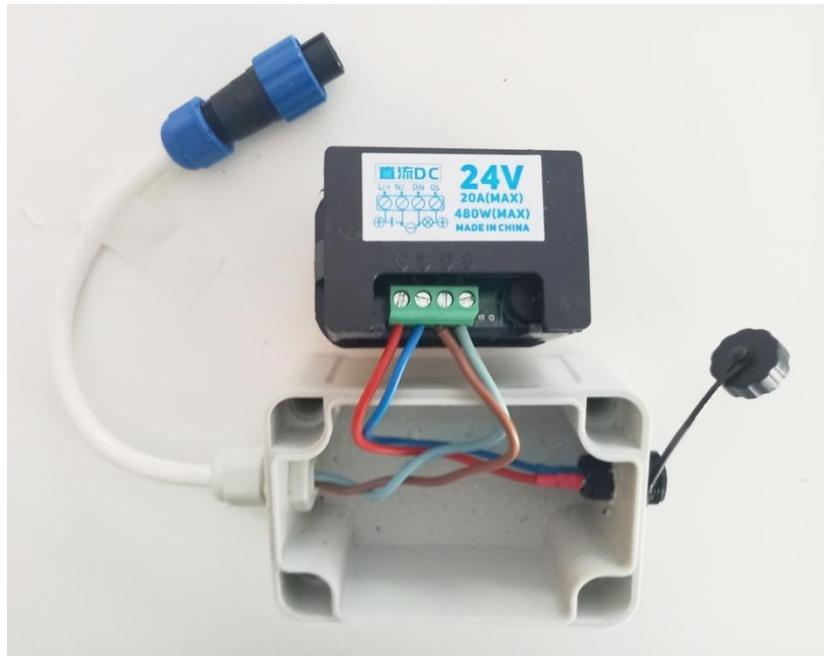


Une minuterie GM placée dans un boîtier s'intercale entre l'alimentation et la charge. La charge se trouve donc directement alimentée par l'alimentation via la minuterie.



Pour le mode d'emploi, consulter le « guide de l'utilisateur ARCAS ».

## **2) CABLAGE et LISTE du MATERIEL**



| LISTE MATERIEL                            |                    |                       |
|---|--------------------|-----------------------|
| Boitier ABS étanche IP65                  | 100x68x50          | Marque :AIRGLEE       |
| Presse étoupe                             | PG7                | Diamètre perçage 13   |
| Câble 2 brins H05VVF                      | 1,5mm <sup>2</sup> | 30cm                  |
| Connecteur 2 broches mâle étanche IP68    | SP13               | A souder sur cable    |
| Connecteur 2 broches femelle étanche IP68 |                    | Embase socle à souder |
| Mousse de calage                          |                    |                       |
| Minuterie                                 | GM                 |                       |
| Housse protection                         | 130x60x80          | Ou plus grand         |