

# BALISE DE POSITIONNEMENT SOUTERRAIN

## DISTAM

# DOSSIER TECHNIQUE de la PARTIE EMISSION

joan ERRA Spéléo Club de Toulon  
[joanToulon@gmail.com](mailto:joanToulon@gmail.com) Octobre 2021

# Sommaire

<b>PREAMBULE.....</b>	<b>3</b>
<b>BOITIER EMETTEUR .....</b>	<b>3</b>
1) CARACTERISTIQUES PRINCIPALES .....	4
2) ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE.....	4
-Protection .....	5
-Génération signaux : .....	5
-Régulateur de tension .....	5
-Capacités d'accord .....	9
3) SCHEMA STRUCTUREL & PROGRAMME ARDUINO .....	10
4) FABRICATION BOITIER EMETTEUR.....	13
<i>Schemas du circuit imprimé(PCB)</i> .....	13
Liste du matériel du boîtier émetteur .....	15
<b>BOBINES D'EMISSION .....</b>	<b>16</b>
1) DIMENSIONNEMENT ET FABRICATION DES BOBINES D'EMISSION.....	16
<b>ALIMENTATION .....</b>	<b>17</b>
1) CHOIX DES ALIMENTATIONS .....	17
Détermination de l'autonomie de la batterie 6S1P: .....	17
Chargeur de la batterie .....	18
Autonomie du boîtier de 18 piles AA .....	18
2) TESTEUR D'ALIMENTATION .....	19
3) FABRICATION DES ALIMENTATIONS.....	19
<b>VERTIMAG &amp; MINUTERIE.....</b>	<b>20</b>

# PREAMBULE

*La principale différence entre la balise d'émission ARCAS et la balise d'émission DISTAM, c'est que cette dernière émet un champ constant durant toute la durée de vie de la batterie ou des piles.*

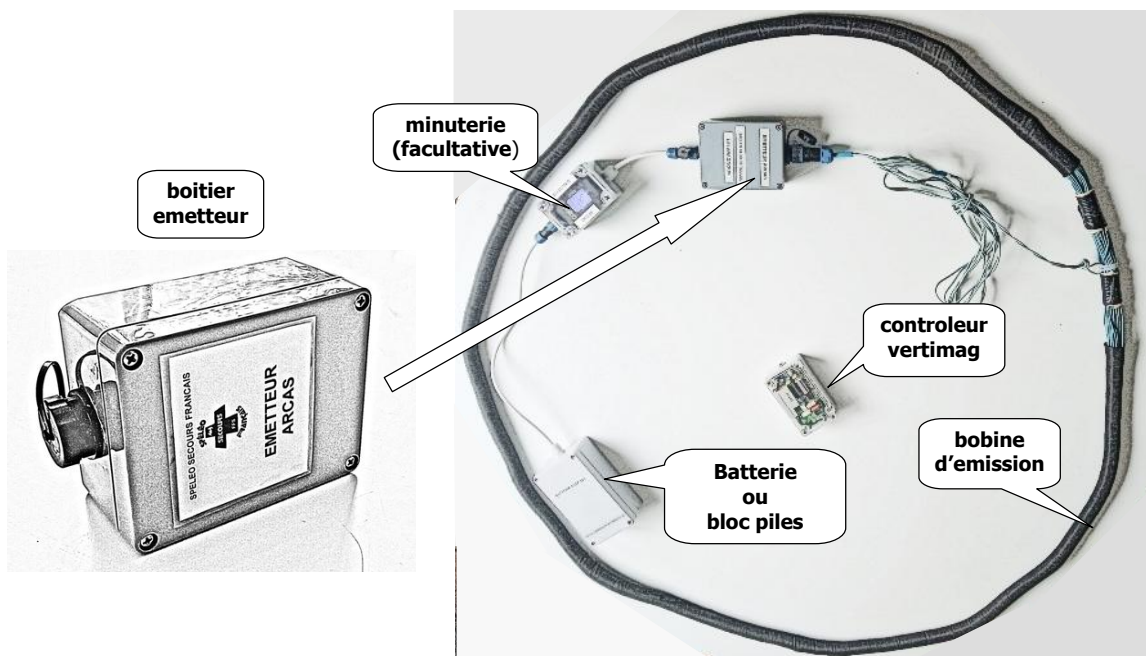
*Les alimentations, le contrôleur Vertimag, la minuterie, ainsi que les bobines sont communes aux 2 émetteurs, la différence se situe au niveau de l'électronique de commande dans le boîtier émetteur.*

*Dans le boîtier émetteur DISTAM, entre la batterie et le circuit de puissance on a intercalé un régulateur de tension linéaire abaisseur de tension. De ce fait l'amplitude du champ magnétique fourni à une même bobine sera plus faible qu'avec l'émetteur ARCAS.*

*Une partie du dossier technique de la partie émission de l'ARCAS est donc reconduite ici. **Les parties spécifiques au DISTAM sont en italiques et en bleu.***

## BOITIER EMETTEUR

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

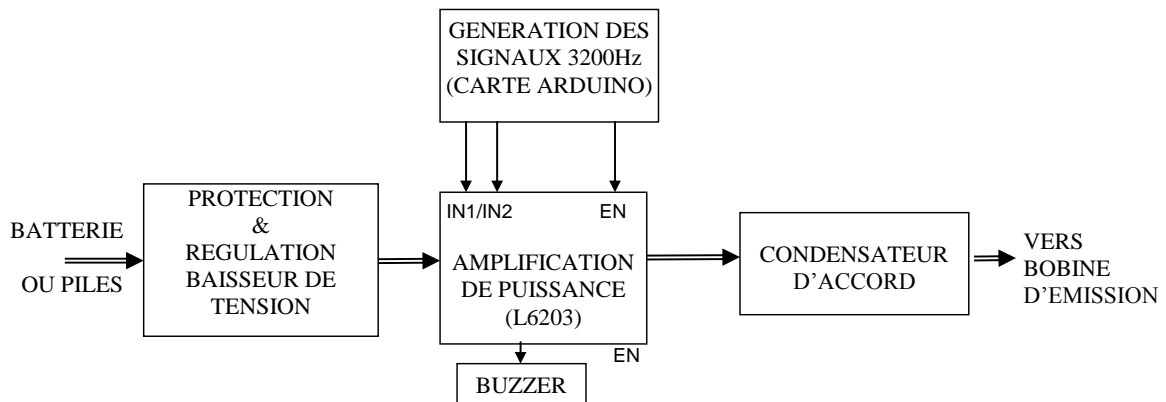


# 1) CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

- 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 DISTAM dispose d'une batterie 24V. Bien chargée elle délivre aux différentes bobines de l'ARCAS un courant d'amplitude 1,8A.
- *Emission d'un bip de fréquence 3200Hz pendant 150ms 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.

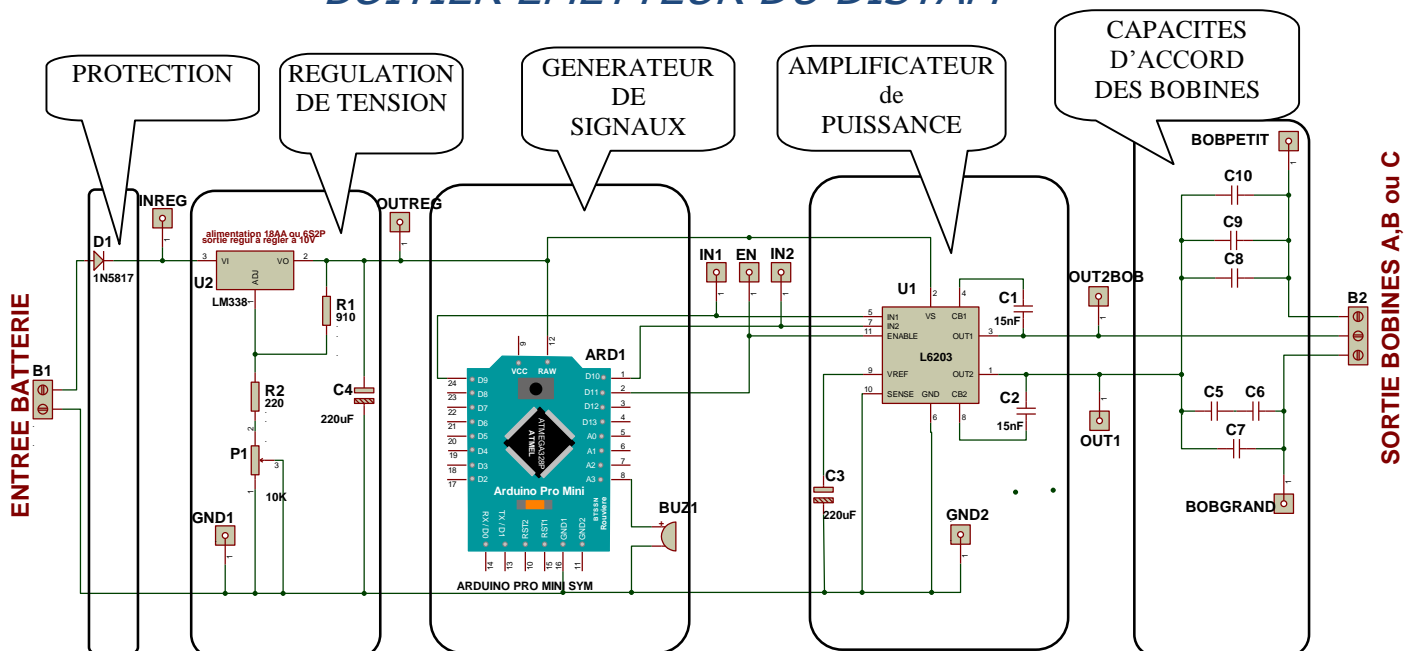
# 2) ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE

## - Schéma fonctionnel



## -Structures correspondant aux fonctions

### BOITIER EMETTEUR DU DISTAM



## **-Protection**

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

Il est à noter 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.

## **-Génération signaux :**

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

On a choisi de générer le même type signal que l'ARCAS afin que le cas échéant on puisse aussi utiliser le récepteur de l'ARCAS.

*La durée du bip sera cependant plus long, elle passera de 80ms pour l'ARCAS à 150ms pour le DISTAM. Cette durée plus longue s'est avérée utile pour la détection des bip et la mesure électronique de leurs amplitudes par le récepteur DISTAM.*

Le but est d'alimenter la bobine par un signal BF à 3200Hz de façon intermittente de 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 En de 1s de période . Celui-ci autorise ou pas le signal BF à être envoyé à la bobine. Au niveau logique 1 qui dure *150ms*, le signal BF est transmis à la bobine : le reste de la période de 1s, la bobine n'est pas alimentée.

Comme pour l'émetteur de l'ARCAS on aura l'émission d'un double bip tous les 4 bips, 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.

*Pour de plus amples explications techniques lire le « dossier technique de la partie émission de l'ARCAS ».*

## **-Régulateur de tension**

*Cette régulation de tension a 2 rôles :*

*-Alimenter la carte Arduino avec une tension inférieure à la valeur maximum qu'elle tolère et qui est de 16V*

*-Alimenter l'amplificateur de puissance avec une tension constante de façon à ce que l'amplitude du courant dans la bobine reste constante durant toute la durée de la décharge des piles ou de la batterie. En effet*

*dans le cas contraire, le récepteur DISTAM indiquerait une distance différente suivant l'état de décharge de la batterie.*

*Pour avoir cette tension constante on a choisit la solution le plus simple qui est circuit intégré régulateur intégré linéaire.*

*Le principe est de générer une chute de tension qui s'ajuste automatiquement de façon à ce que la tension de sortie soit constante.*

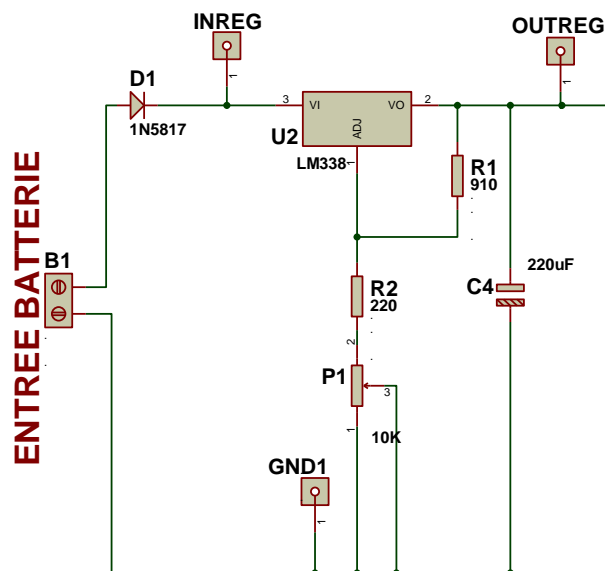
*On a choisi le régulateur LM338 en boîtier TO220 car*

*-il peut délivrer un courant de 5A et admet une tension d'entrée jusqu'à 40V.*

*-Sa tension de sortie peut-être ajustée à l'aide de composants externes.*

*-Il dispose d'une protection contre les surchauffes et les surintensités, ce qui évite de prévoir des protections pour l'amplificateur de puissance.*

*Associé aux résistances R1,R2 et au potentiomètre P1, il permettra d'obtenir une tension constante réglable (OUTREG).*



*Ce dispositif simple car en peu de composants présente cependant 2 inconvénients*

*-Pour fonctionner la tension de d'entrée doit être supérieure au minimum de 3V à la tension de sortie.*

*-Son rendement est mauvais, car le régulateur doit dissiper le produit de la chute de tension par le courant de sortie*

*Il faut choisir la tension de sortie du régulateur pour que la fonctionnement puisse être assuré par la batterie ou bien le bloc de 18 piles.*

*Il s'agit de trouver la tension de sortie du régulateur la plus grande possible afin d'envoyer le maximum de courant dans la bobine.*

*Il faut connaître la tension en fin de décharge des alimentations :*

- batterie lithium-ion 6 éléments. Un élément est considéré comme déchargé à 2,5V soit 15V pour les 6 éléments.
- 18 piles AA. Une pile est considérée comme déchargée à 0,8V soit 14,4V pour les 18 éléments.

Le régulateur doit pouvoir fonctionner avec les 2 types d'alimentations donc jusqu'à 14,4V. En fait il faut prévoir moins à cause de la chute de tension dans la résistance interne du bloc piles. On a opté pour 13V minimum en entrée, auxquels il faut soustraire la chute de tension minimale de 3V nécessaire au régulateur. La tension de sortie du régulateur sera choisie à 10V. A noter que si on n'alimente l'émetteur que par sa batterie lithium-ion 6S, on pourra monter cette tension à 12V. C'est pour cela que l'on a prévu un élément de d'ajustage de la tension de sortie du régulateur.

Quoiqu'il en soit, l'émetteur DISTAM enverra en gros 2 à 2,5 fois moins de courant dans la bobine que l'émetteur de l'ARCAS, cela se traduira par une perte de portée de 25 à 35% par rapport à l'ARCAS.

Evaluation de la dissipation maximale du régulateur.

-Les bobines ayant une résistance de 5Ω, on a mesuré un courant d'amplitude 1,8A, soit un courant moyen durant le bip de  $2 \cdot I_{max} / \pi = 1,14A$ .

Comme un bip dure 150ms et est émis toutes les secondes, le courant moyen sur plusieurs bips de  $(1,14 \cdot 150) / 1000 = 170mA$ .

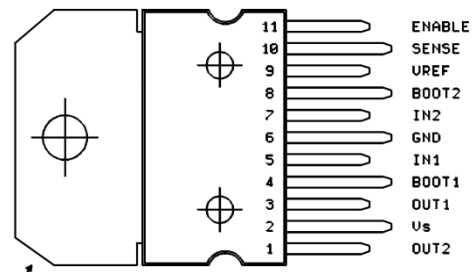
-La puissance dissipée sera maximale pour la tension d'entrée maximale (25V avec la batterie) soit 2,5W. Cela ne génère qu'un échauffement de 90°C sans radiateur. Mais comme la température dans le boîtier peut monter à 40°C voir plus lors d'essais en extérieur au soleil, on a choisit d'équiper le LM338 d'un petit dissipateur thermique.

On ajustera la tension de sortie du régulateur (point test OUTREG) à 10V en réglant le potentiomètre ajustable Ra1.

### -Amplificateur de signaux

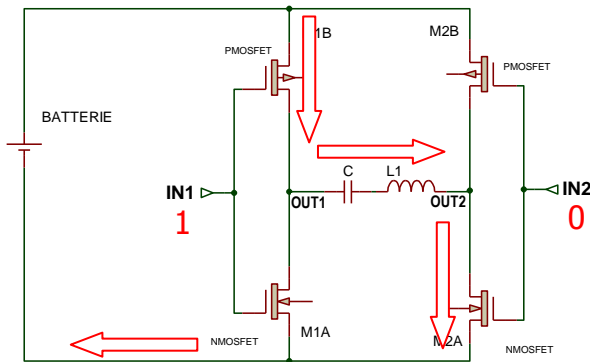
On a choisi le circuit intégré L6203, contenant un pont de transistor en H de 4 transistor MOSFET fonctionnant en commutation.

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.

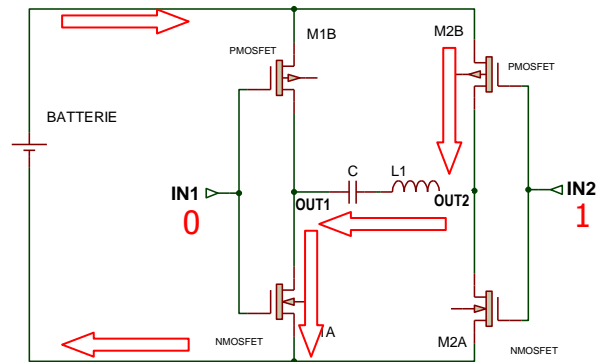


Principe de fonctionnement :

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.

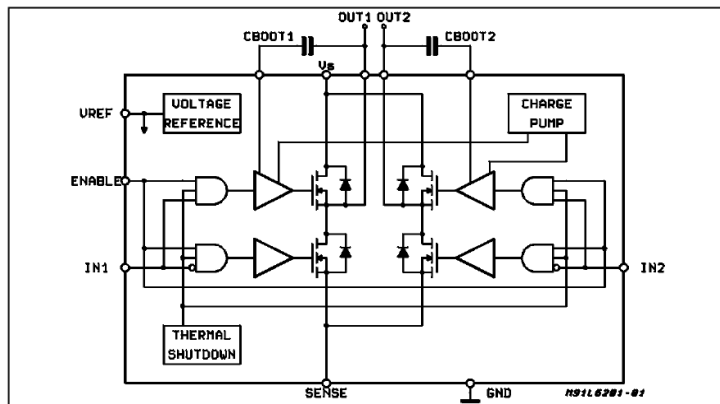
Pour obtenir entre OUT1 et OUT2 un signal alternatif rectangulaire à 3200Hz en sortie du pont, on envoie donc un signal rectangulaire à 3200Hz sur le signal de commande IN1 et son complémentaire sur IN2.

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.



July 1997

1/20

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).

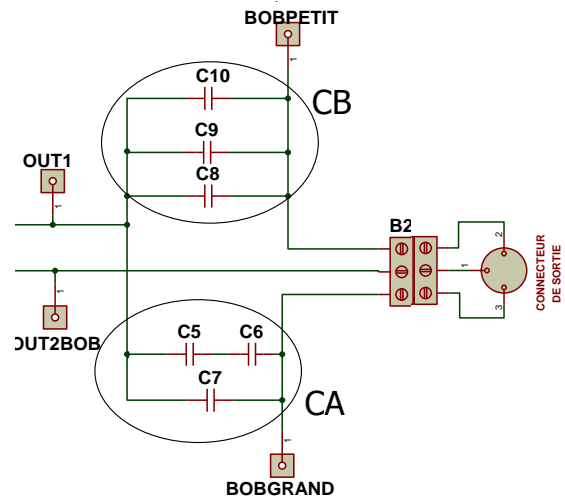


## -Capacités d'accord

*Le rôle et la détermination des capacités d'accord sont expliqués dans le dossier technique de la partie émission de l'ARCAS.*

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

*Alimentées par l'émetteur du DISTAM, ces capacités doivent supporter des amplitudes de tensions proches de 500V.*



Par ailleurs comme pour l'ARCAS leurs valeurs doit 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. On a utilisés des condensateurs haute-tension, 10% , mesurées précisément au capacimètre. Ainsi nous avons pu obtenir et les valeurs désirées de CA et CB par associations de plusieurs condensateurs en parallèle et/ou série.

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

---

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

### Condensateur CA

Entre les pattes 1 et 3 du connecteur rond on branchera les bobines de grand diamètre (1m,1,6m ) qui ont la même inductance .

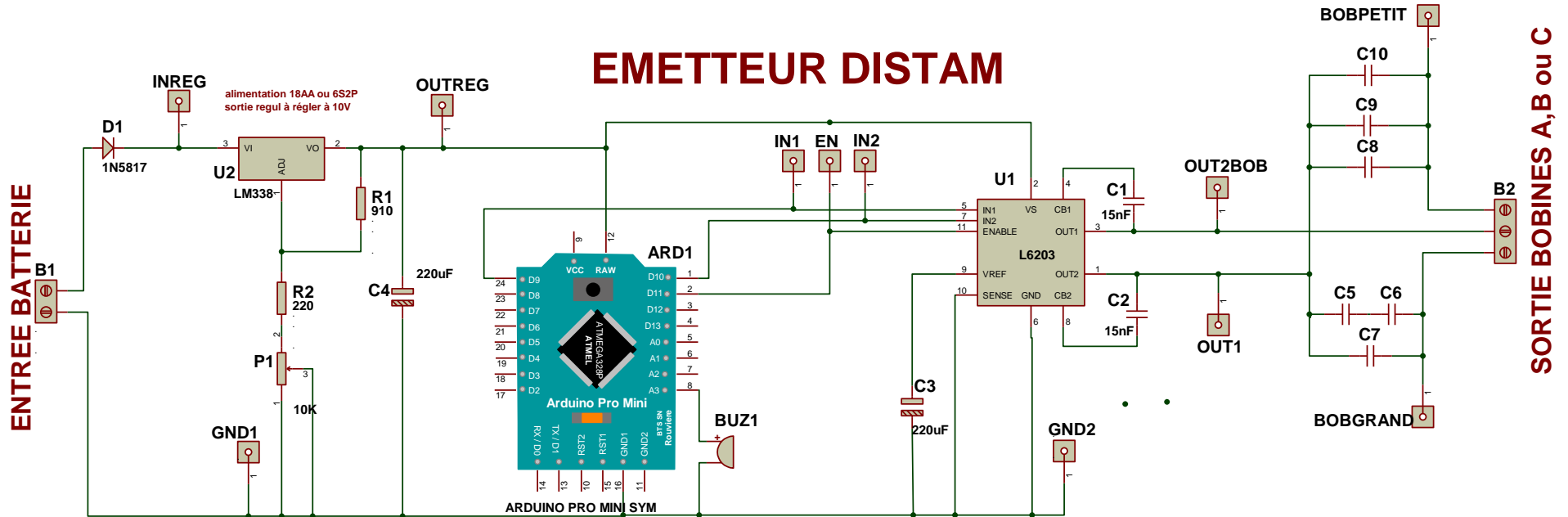
### Condensateur CB

Entre les pattes 1 et 2 du connecteur rond on branchera la bobine de 56cm qui a une inductance différente.

*Consulter le « dossier technique de la partie emission de l'ARCAS » pour plus de précisions.*

### 3) SCHEMA STRUCTUREL & PROGRAMME ARDUINO

les petits carrés correspondent à des points tests sur la carte .



```

/* PROGRAMME EMETTEUR DISTAM
 * 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: 150ms
 * à la mise sous tension le buzzer sonne 10 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

/* indicatif de mise sous tension: 10 bips*/
for(int i=0;i<10;i++)
{
  digitalWrite(led,1);
  digitalWrite(enable,0);
  digitalWrite(buzzer,1);
  delay(80);// g n rateion 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(150);// g n rateion du signal pendant 150ms
  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(850);// génération d'un temps mort de 850ms
}
// générer 2 bips espacés 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(150);// génération du signal pendant 150ms
  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(900);// pause avant bip suivant
}

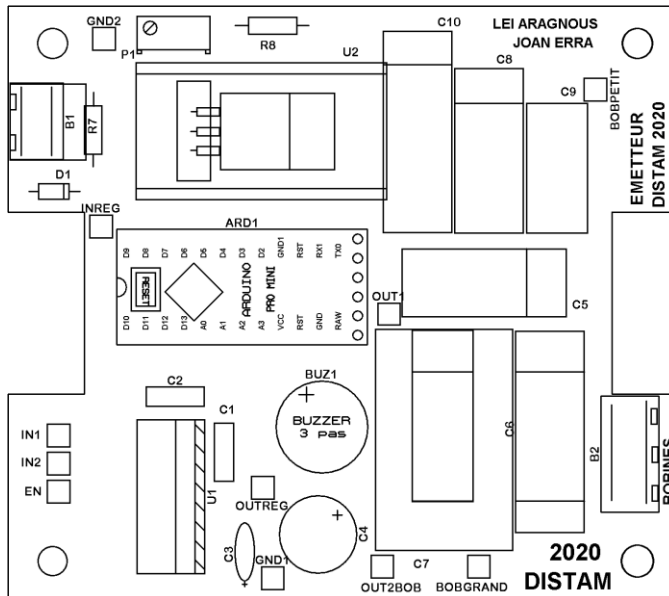
```

## 4) FABRICATION BOITIER EMETTEUR

### *Schemas du circuit imprimé(PCB)*

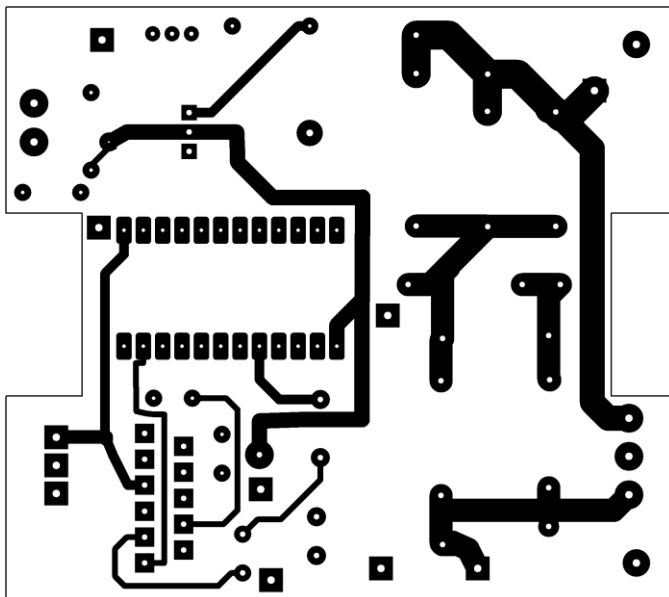
*Attention, les schémas ne sont pas précisément à l'échelle 1*

- *Vue composants*

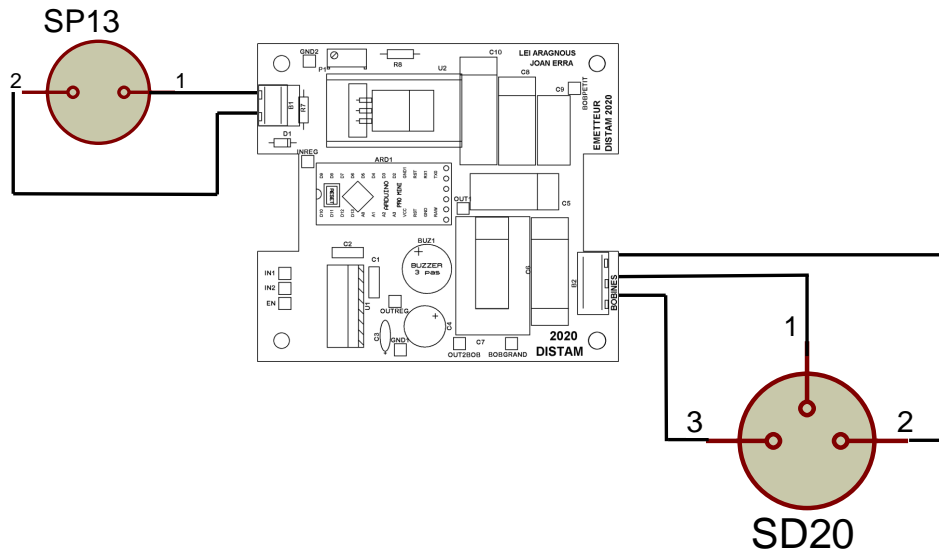


- *Vue des pistes imprimées*

*Face Top*





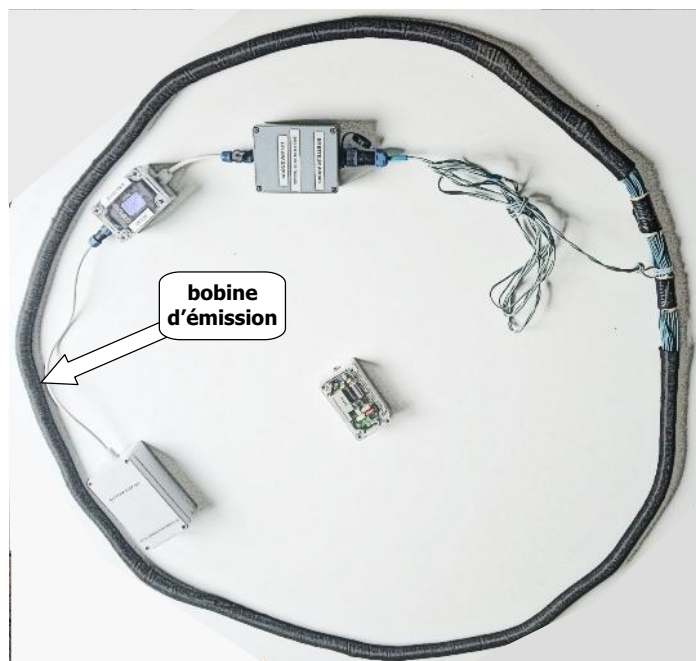


### Liste du matériel du boîtier émetteur

On peut trouver tous les composants sur le site « AliExpress »

DESIGNATION	REPERE	QT E	VALEUR	REMARQUES	EMPREINTE PCB
BOITIER		1	G311 étanche IP67	115mm x 90mm x 55mm	
BUZZER	BUZ1	1	BUZZEROUV		BUZZER 3PAS
CARTE	ARD1	1	ARDUINO PRO MINI SYM	modèle 5V avec ATmega168 ou ATmega328	ARDUINO PRO MINI
CIRCUIT INTEGRE	U1	1	L6203	Pont à MOSFET	MULTIWATT11V
CIRCUIT INTEGRE	U2	1	LM338	régulateur de tension, en boîtier TO220	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	C5,C6,C7	3	forment CA	CA doit tenir 1000V	CAPA 20X9
CONDENSATEUR	C8,C9,C10	3	forment CBF	CB doit tenir 250V	CAPA 20X9
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	1N5817	diode schottky	DIODE 4 PAS
DISSIPATEUR		1	Lmax :33mm Lmax :23mm	A plat et en U pour TO220	
PCB		1	78mm x 88mmp	double face	
POINT TEST		10	cosse poignard		POINT TEST
RESISTANCE	R1	1	910		RESISTANCE 4PAS
RESISTANCE	R2		220		RESISTANCE 4PAS
POTENTIOMETRE	P1		10k		
VIS		4	diamètre 3		

# BOBINES D'EMISSION



## **1) DIMENSIONNEMENT ET FABRICATION DES BOBINES D'EMISSION**

*On a choisi de pouvoir utiliser les mêmes bobines que l'ARCAS .*

*Soit 3 bobines en fil souple de diamètres différents : 56cm, 1m et 2m (ou 1,6m) à choisir suivant la portée envisagée (voir mode d'emploi de la partie émission du DISTAM).*

*Pour leur dimensionnement et leurs caractéristiques se référer au dossier technique de la partie émission de l'ARCAS.*



*Les 3 bobines d'émission déployées sur un carrelage*

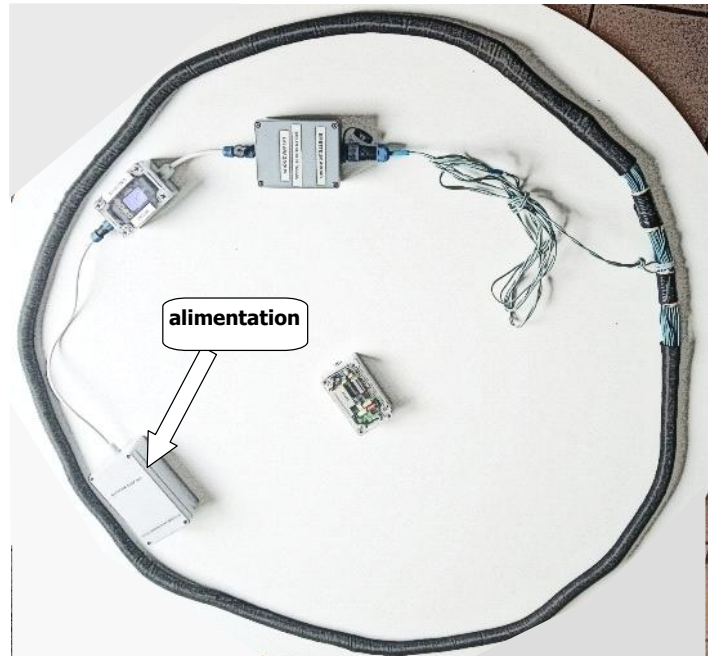


# ALIMENTATION

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

## 1) CHOIX DES ALIMENTATIONS

*On a choisi de pouvoir utiliser les mêmes alimentations que l'émetteur ARCAS, soit un boîtier de 18 piles AA en série, soit une batterie lithium ion 6S1P.*

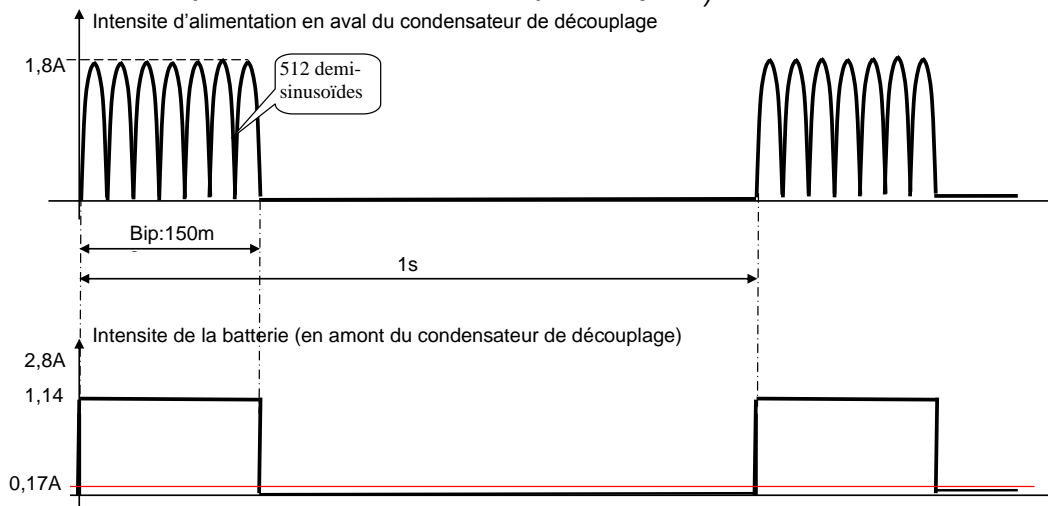


### **Détermination de l'autonomie de la batterie 6S1P:**

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

L'hypothèse initiale est que

En aval du condensateur de découplage, durant la durée du bip le courant est correspond à du 3200Hz redressé double alternance d'amplitude 1,8A. On montre que sa valeur moyenne sur la durée du bip vaut  $(2/\pi) \times 1,8A = 1,14A$ .



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  $1,14 \times 0,15/1=170\text{mA}$ .

La capacité restituée par la batterie pour 10h d'autonomie devra donc être de  $10 \times 224=1700\text{mAh}$ .

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

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.L'autonomie sera donc d environ 12h

### Chargeur de la batterie

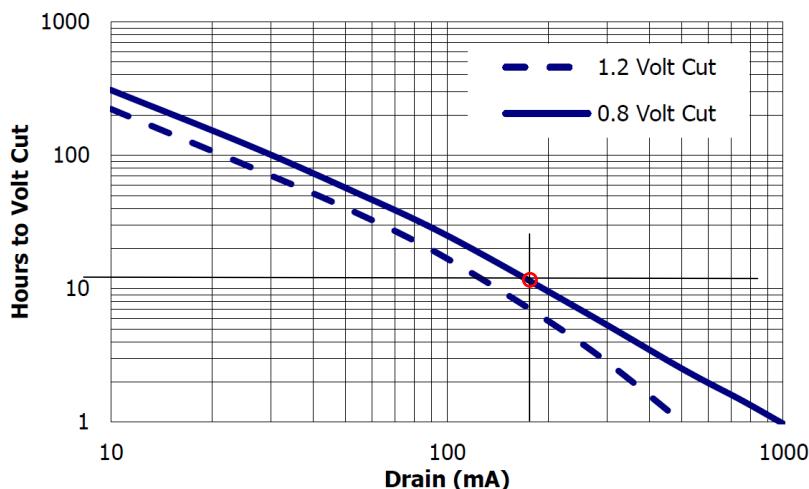
C'est un chargeur adapté pour batterie lithium 6S. la charge dure de 3 à 5h avec un chargeur 1A,25,2V.

### Autonomie du boitier de 18 piles AA

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

### Constant Current Performance

Typical Characteristics (21°C)



D'après l'abaque constructeur ci-dessus, on relève une autonomie 12h, donc peu différente de celle obtenue avec la batterie 6S2P

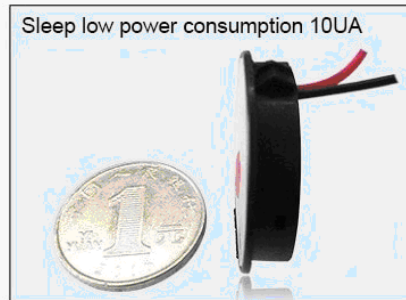
A noter qu'au bout de 9h la tension sera passé à 14V et l'intensité du courant dans la bobine aura presque été divisée par 2, ce qui correspond à une perte de portée de 20% seulement.

## 2) TESTEUR D'ALIMENTATION

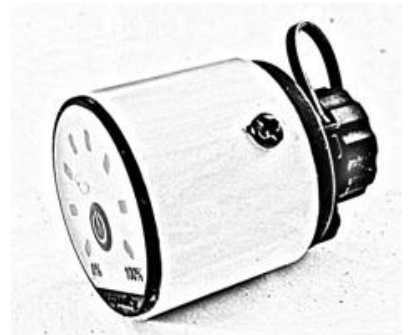
Permet de connaître l'état de charge de la batterie ou du boîtier 18 piles.

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

Ce testeur correspond au test d'un accu lithium 6S. (25,2V) 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 .

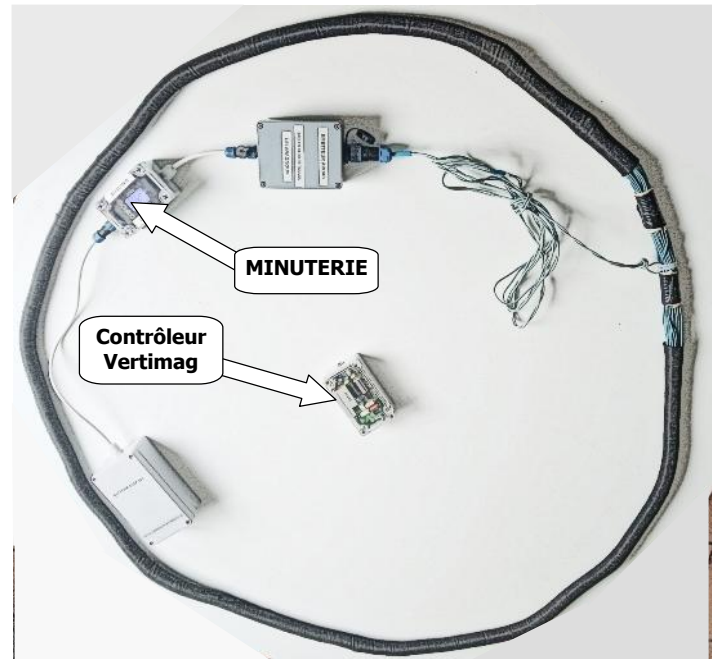


Lithium battery	LED1红	LED2红	LED3白	LED4白	LED5绿	LED6绿	LED7蓝	LED8蓝
24V/6S/25.2V	18V	18.9	19.8	20.7	21.6	22.5	23.4	24.6

## 3) FABRICATION DES ALIMENTATIONS

*Voir dossier technique de la partie Emission de I »ARCAS.*

# VERTIMAG & MINUTERIE



*Pour les descriptions techniques du contrôleur de verticalité et de la minuterie consulter au « dossier technique de la partie émission de l'ARCAS ».  
Pour leurs modes d'emplois consulter le « guide utilisateur de l'ARCAS ».*