

## Documents techniques – Batterie Pédagogique

**Sommaire :**

- **Le banc de décharge :** Pages 2-3

Utilisation des résistances de décharge :

Afin d'assurer le meilleur refroidissement des résistances il est préférable d'utiliser ces dernières dans l'ordre ci-dessous :

Nombre de résistance souhaitée	Résistance à utiliser
1	R1
2	R1 + R3
3	R1+R2+R3 ou R1+R3+R4
4	R1+R2+R3 +R4

- **La batterie :** Pages 3-7

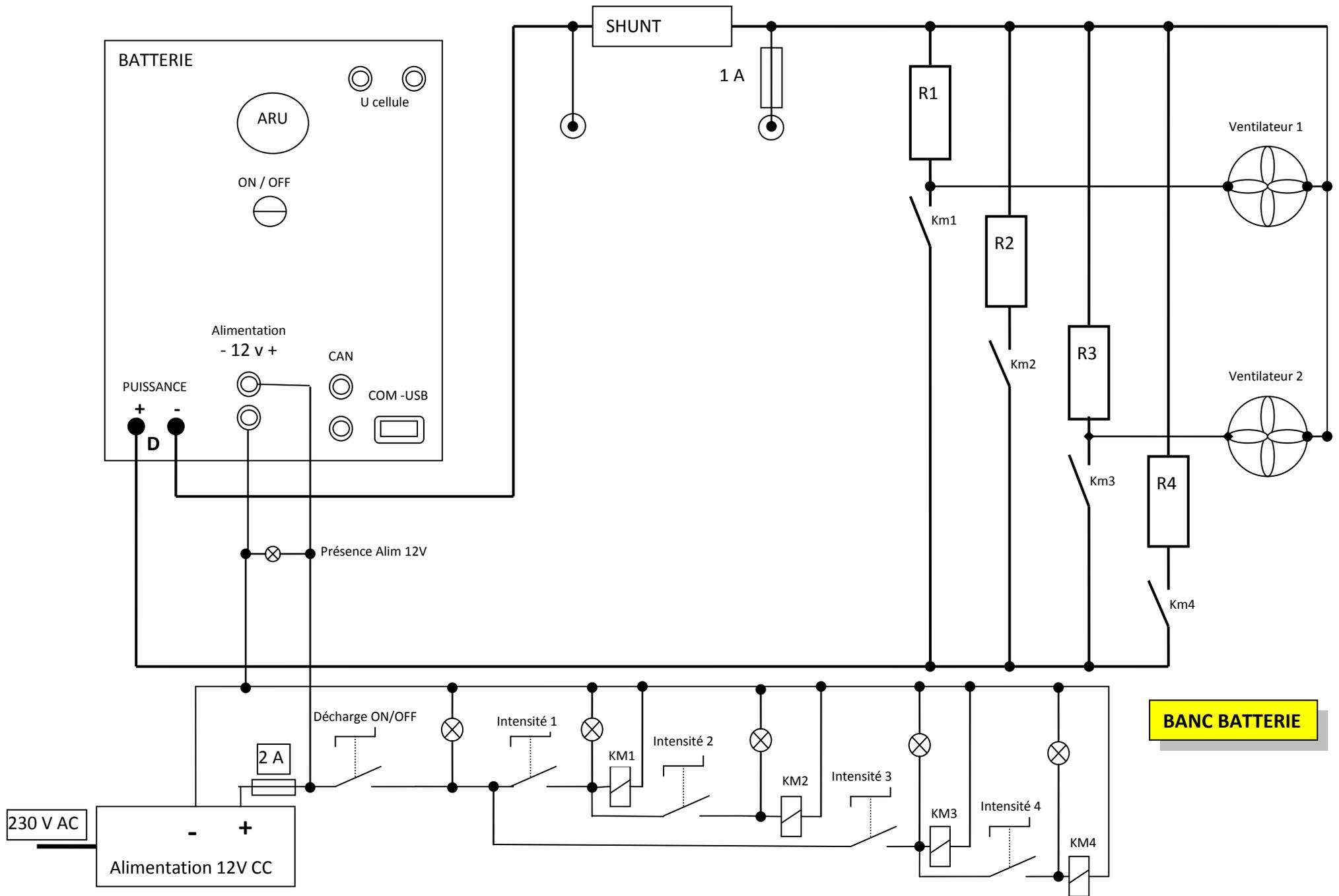
- **Le protocole CAN :** Pages 8-13

- **Le logiciel PCAN explorer 6 :** Pages 14-15

- **Le BMS:** Page 16

Le matériel pédagogique décrit et utilisé ci-après est la production conjointe de :

- La société SVTEIC ([s.vayssiere@svteic.fr](mailto:s.vayssiere@svteic.fr)) pour la batterie instrumentée
- Le LPO CARNOT-BERTIN à Saumur pour le support, le circuit de décharge et l'exploitation pédagogique.
- Pour utiliser pleinement cet outil, l'achat d'un logiciel d'analyse de trame CAN est souhaitable.
  - Exemple : PCAN de la société PEAK-System



### Composition du **BANC** batterie :

Nomenclature	Désignation
R1, R2, R3, R4	Résistance de puissance : 2.2 ohms et 500 W maxi par unité
RS - résistance Shunt	Résistance de précision : 10 mOhm +/- 0.05 % , 50W maxi
ARU	Bouton arrêt d'urgence
On/Off	Interrupteur de mise en marche de la batterie : « réveil » du BMS
CAN	Bornes CAN-H et CAN-L permettant le transfert bidirectionnel de données via le logiciel P-Can
USB	Port USB permettant la lecture de données et le paramétrage du BMS via le logiciel du fabricant
Alimentation 12 V	Générateur de courant continu 12V, permettant l'alimentation des fonctions internes de la batterie et des éléments du banc
D – Puissance	Connecteur de puissance de la batterie
Ventilateur 1	Ventilateur de dissipation de chaleur alimenté en parallèle de la résistance R1
Ventilateur 2	Ventilateur de dissipation de chaleur alimenté en parallèle de la résistance R3
KM ( 1, 2, 3, 4)	Bobines de commande 12 V des relais qui alimentent les résistances de puissance
km ( 1, 2, 3, 4)	Contact de puissance des relais qui alimentent les résistances de puissance ( I <sub>max</sub> = 30 A / relais )

### Listes des éléments de la **BATTERIE** :

Nomenclature	Désignation	Nomenclature	Désignation
BMS	Battery Management System (calculateur de la batterie)	B	Relais sortie puissance +
A	Fusible de puissance 50A	U1 à U9	Mesures des tensions des cellules
C1 à C8	Cellule LiFePo4 ( Lithium Fer Phosphate ): U <sub>th</sub> =3.30 V Q=259200 Coulomb	T2, T4, T6 et T8	Mesures des températures des cellules
D	Connecteur de Puissance	E	Chargeur commandé par le BMS
T0	Mesure de la température du connecteur de puissance	F	Bus de données CAN
G	Relais de puissance batterie +	H	Relais de charge +
R1,R2,R3	Commandes des relais B, G et H ( le moins est commun )		

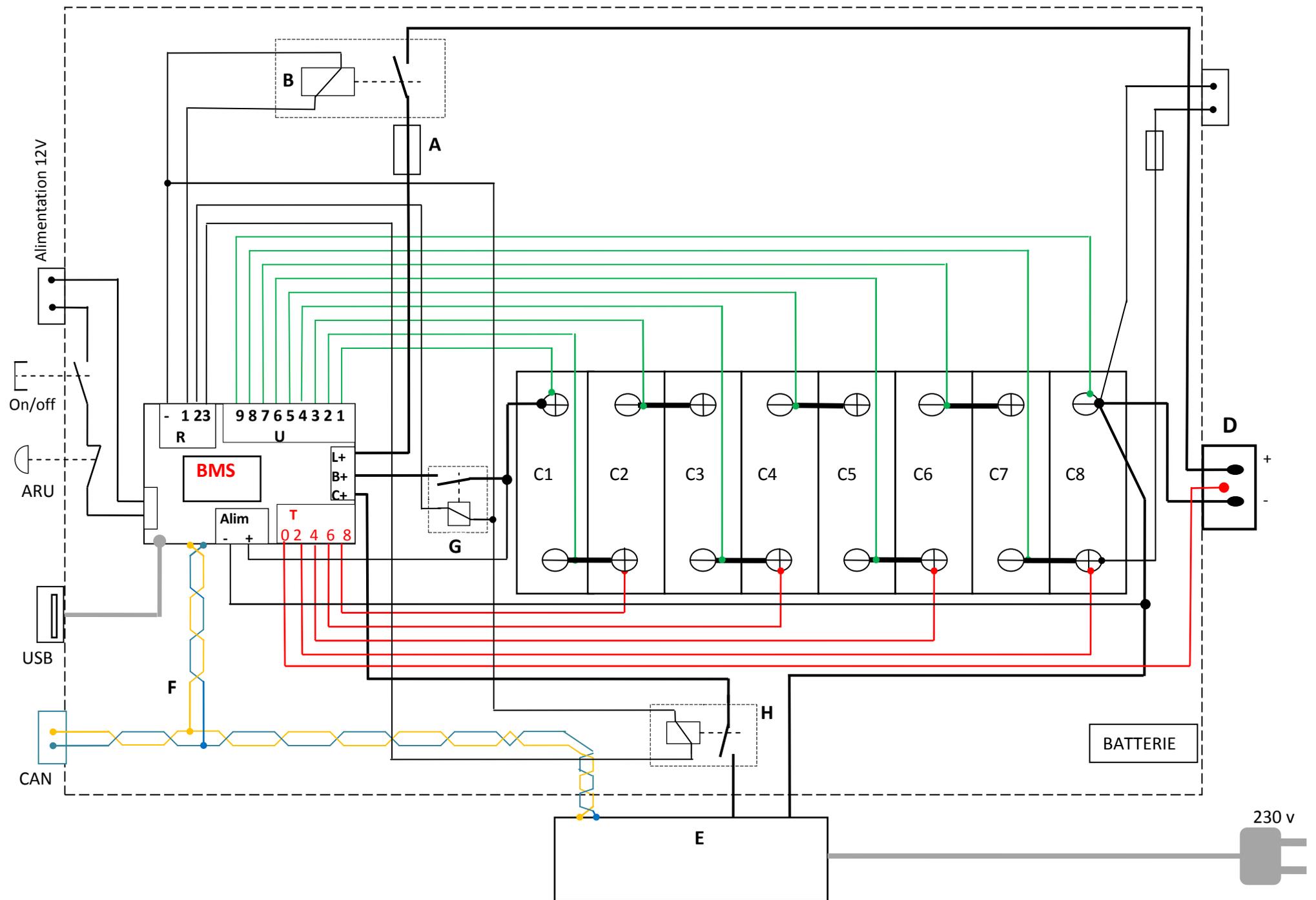
### **SOC : State Of Charge**

Représente en % l'état de charge de la batterie par rapport à sa capacité maximale théorique :  $SOC(\%) = \frac{Capacité\ disponible}{Capacité\ maximale} \times 100$

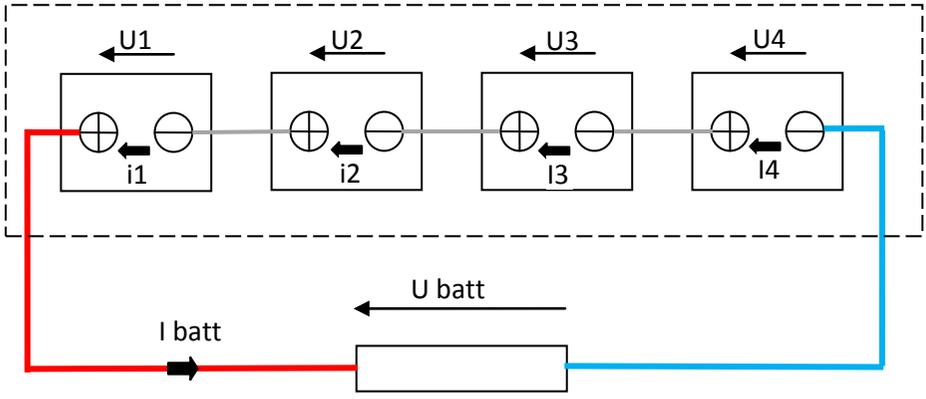
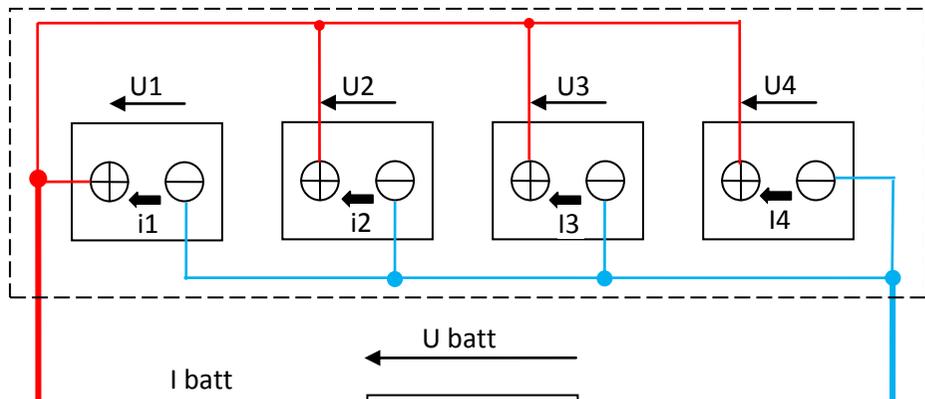
SOC = 100% représente une batterie **totalemt chargée**

SOC = 0% représente une batterie **totalemt déchargée**

**Attention :** Pour éviter d'endommager définitivement une batterie ( ou une cellule ) celle-ci n'est jamais déchargée entièrement. Le BMS conserve un SOC minimum en coupant l'alimentation ( relais de puissance interne )



Type de branchement des cellules :

SERIE	PARALLELE
	
<p><u>Ex : Une batterie composée de 4 cellules :</u>  <math>U_{batt} = U1 + U2 + U3 + U4</math>  <math>I_{batt} = i1 = i2 = i3 = i4</math>                      Capacité batt = <math>C1 = C2 = C3 = C4</math>                      Energie batt = <math>E1 + E2 + E3 + E4 = C_{batt} \times U_{batt}</math></p>	<p><u>Ex : Une batterie composée de 4 cellules :</u>  <math>U_{batt} = U1 = U2 = U3 = U4</math>  <math>I_{batt} = i1 + i2 + i3 + i4</math>                      Capacité batt = <math>C1 + C2 + C3 + C4</math>                      Energie batt = <math>E1 + E2 + E3 + E4 = C_{batt} \times U_{batt}</math></p>

**Définitions :**

**PILE :** Système électrochimique unidirectionnel qui permet de convertir une énergie chimique, déterminée et fini, en énergie électrique.

**ACCUMULATEUR ( pile rechargeable ) :** Système électrochimique bidirectionnel qui permet de convertir une énergie chimique en énergie électrique ( décharge ) ou une énergie électrique en énergie chimique ( recharge ).

**BATTERIE :** Système composé de plusieurs éléments de base, piles ou accumulateurs ( **cellules** ), qui permet d'accroître les capacités énergétiques par association des capacités de chaque cellule.

**PILE à COMBUSTIBLE H2 ( PAC ) :** Système électrochimique unidirectionnel qui permet de convertir en continu l'énergie chimique contenu dans un débit d'hydrogène en en énergie électrique.

**La tension nominale :** est défini par le constructeur dans des conditions spécifiques, très souvent, accumulateur chargé et ne débitant aucun courant.

**Quantité d'électricité en Coulomb ou Ah ( appelée aussi Capacité ) :** est la quantité d'électricité **Q** contenu dans la cellule.  $I(A) = \frac{Q (coulomb)}{t (seconde)}$

1 Ah correspond à une intensité de 1 A délivrée de façon continu pendant 1 heure soit 3600 C :  $Q = I \times t = 1(A) \times 3600(s) = 3600C$

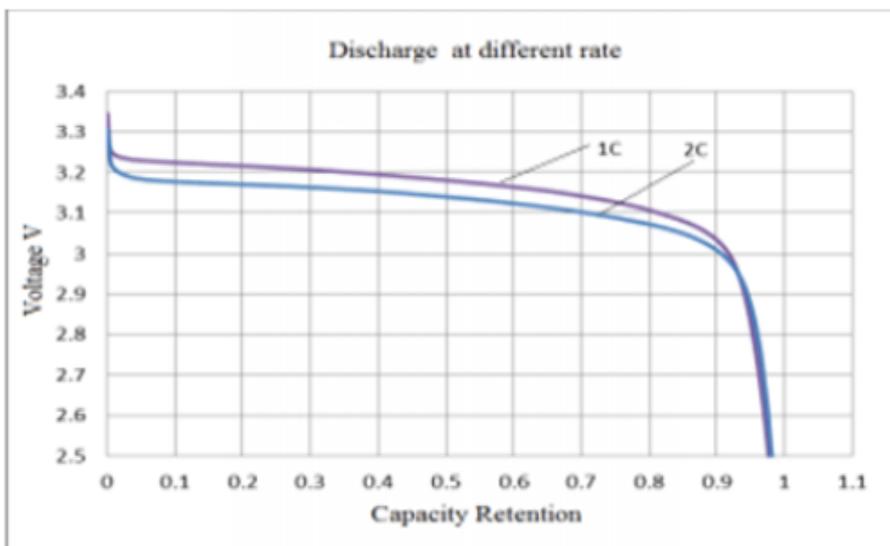
**L'énergie théorique en Joule ou Wh :** exprimée en Joule ou plus souvent en Wh elle dépend de la tension nominale (V) et de la capacité (Q) tel que :  $E(J) = U(V) \times Q(C)$

1 Wh correspond à une puissance délivrée de 1 W de façon continue pendant 1 heure soit 3600 J :  $E(Wh) = P(W) \times t(s) = 1(W) \times 3600(s) = 3600 J$

## Les cellules : exemple

Type de cellule de batterie	Phosphate de fer lithium (LiFePO4) batterie
Numéro de modèle	LYTH-CAM72
Tension nominale	3.3V
Capacité nominale	72Ah
Cycle de vie	>2000 cycles
Tension de travail	2.5-3.65V
Résistance interne	≤0.5 mΩ
Tension de fin de décharge	2.5V
Méthode de charge	0.3C (21.6UNE) CC / CV
Courant de décharge continu max.	72UNE
Max (Longue) Courant de décharge d'impulsion	144UNE
Max (Court) Courant de décharge d'impulsion	216A / 30S
Dimensions(mm)	L135 mm X largeur 30 mm X H220 mm
Poids	1.78± 0,1 kg
Matériau de la coque	Aluminium

### Décharge à température ambiante



### Evolution de la tension selon la décharge

En abscisse la capacité de la cellule :

0 = cellule chargée à 100%

1 = cellule totalement déchargée

Le courant de décharge est exprimé en nombre de fois la capacité totale, c'est le « **C-rate** », exemple :

Capacité = 100 Ah

Une décharge à 1C sera donc de 100 A pendant une heure

Une décharge à 2 C sera donc de 200 A pendant 30 minutes

Une décharge de 0.5C sera donc de 50 A pendant 2 heures

La capacité de charge et de décharge, nombre de « C » élevé, détermine la performance de la cellule. Celle-ci dépend de la chimie, la technologie et la température.

Attention, un courant élevé aura un impact négatif sur la durée de vie de la cellule.

**Nota** : selon la technologie les cellules les plus performantes ( sodium-ion ) peuvent accepter des taux de charge et décharge supérieurs à 15C.

**RESISTANCE SHUNT** : résistance de précision et de très faible valeur qui permet, lorsqu'elle est montée en série, de déterminer la valeur de l'intensité qui la traverse par mesure de la chute de tension à ses bornes. La caractéristique de résistance et la mesure de la tension permet de calculer l'intensité.

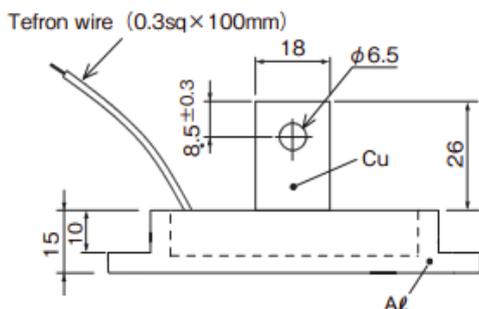
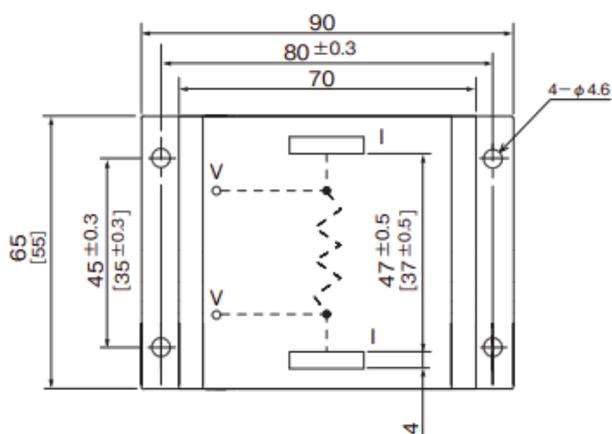
Max. Current (Permanent) : 220A (RXM50 1mΩ)

Type	Wattage Rating (W)		Standard Resistance (Ω)	Tolerance (%)	Temp. Coefficient (25°C~100°C)	Thermal EMF (0~100°C)
	Chassis Mounted	Free air				
RXM30	30	15	1m, 2m, 5m 10m, 20m	±0.05(A) ±0.1(B) ±0.5(D) ±1(F)	±30ppm/°C	2μV/°C MAX
RXM50	50	20	50m, 100m			

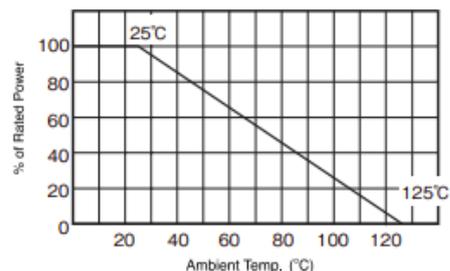
Operating Temp. -50°C~+125°C  
Weight : RXM30 185g  
RXM50 215g



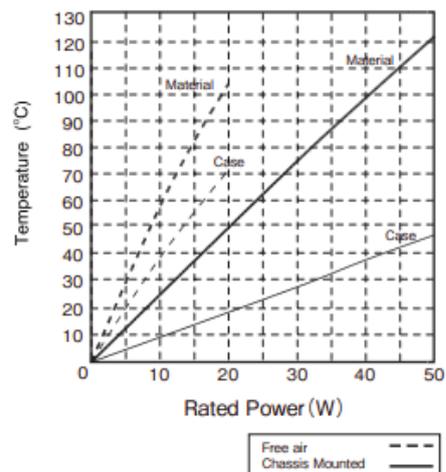
Dimensions [ ]:RXM30



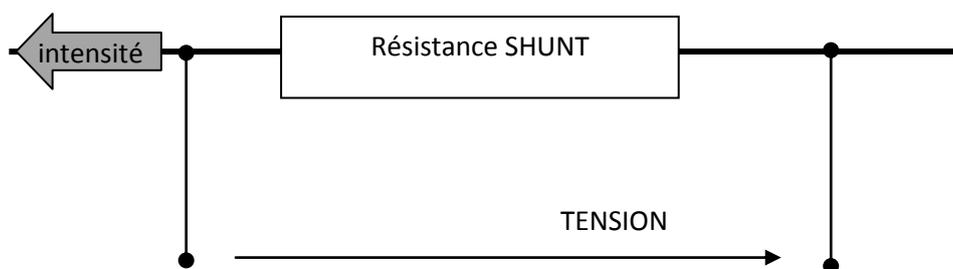
Power Derating Curve



Surface Temp. Versus Power Load. (RXM50 1mΩ)



Test Chassis Dimensions(mm) 305×305×3t AL  
(Thermal Resistance : About 1°C/W)



L'intensité, la résistance et la tension sont liés par la loi d'Ohm.

### 3) Le Protocole CAN ( Control Area Network )

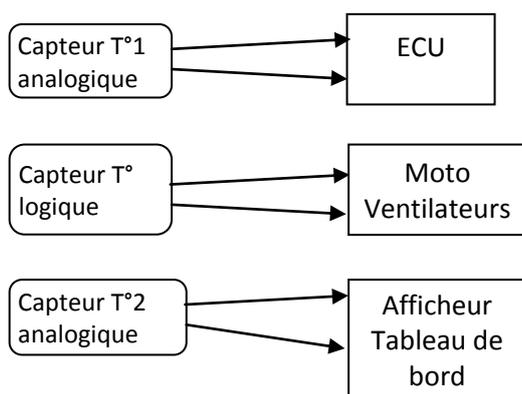
#### 3.1) Intérêt :

Partager les informations entre plusieurs éléments ( calculateurs, afficheurs, etc..) afin de :

- Limiter les capteurs ( coût et poids )
- Limiter les fils en nombre et en longueur ( coût et poids )
- Proposer des fonctionnalités nouvelles sans avoir recours à du matériel supplémentaire.

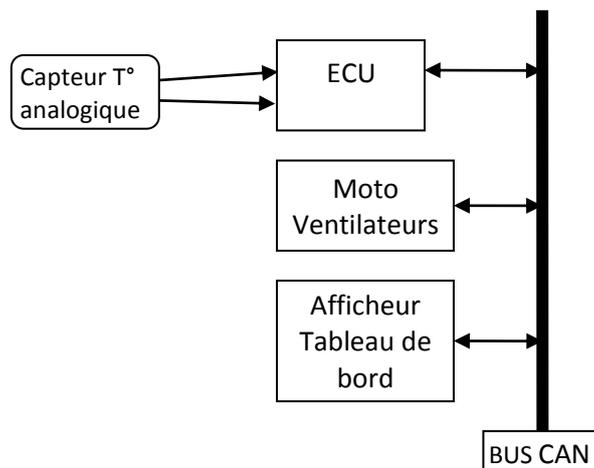
Lorsque que plusieurs systèmes (calculateurs, capteurs, afficheurs, ..) partagent des informations ou des commandes par le biais d'une voie unique ( le BUS ), l'ensemble est appelé système « **multiplexé** ».

#### Exemple gestion de la température moteur :



Système filaire :

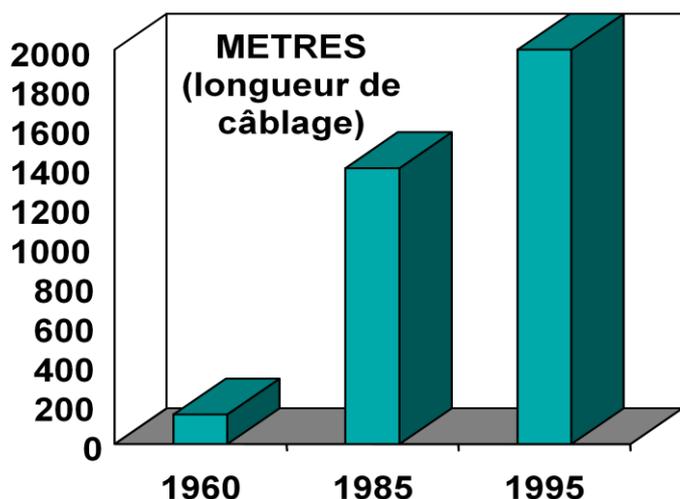
3 fonctions = 3 capteurs + 6 fils



Système multiplexé :

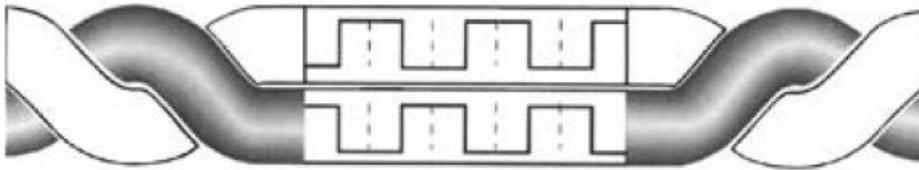
3 fonctions = 1 capteur + 2 fils + 1BUS

#### Evolution de la longueur du faisceau électrique dans un véhicule automobile :



### 3.2) Informations physique (électrique):

Le réseau CAN est constitué de 2 fils TORSADES qui véhiculent chacun une information complémentaire permettant d'annuler les perturbations électromagnétiques (les parasites).

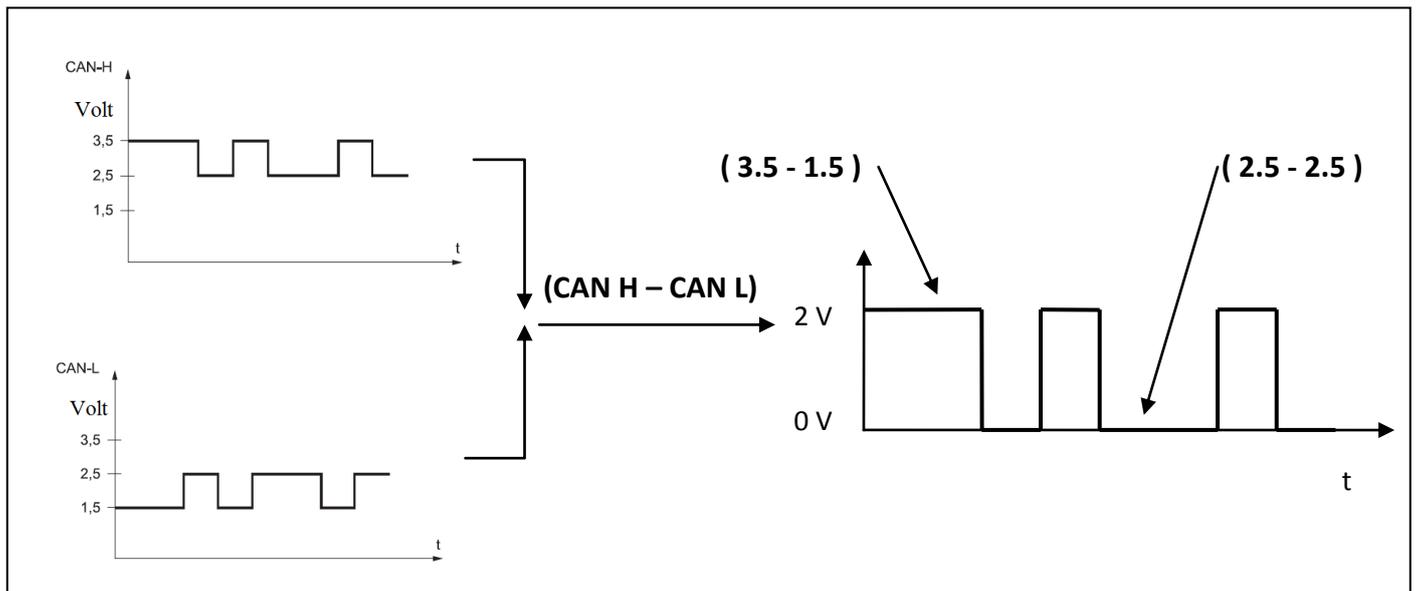


Les 2 fils sont nommés :  
CAN High et CAN Low  
Lorsque CAN\_H=1 alors CAN\_L=0  
Lorsque CAN\_H=0 alors CAN\_L=1

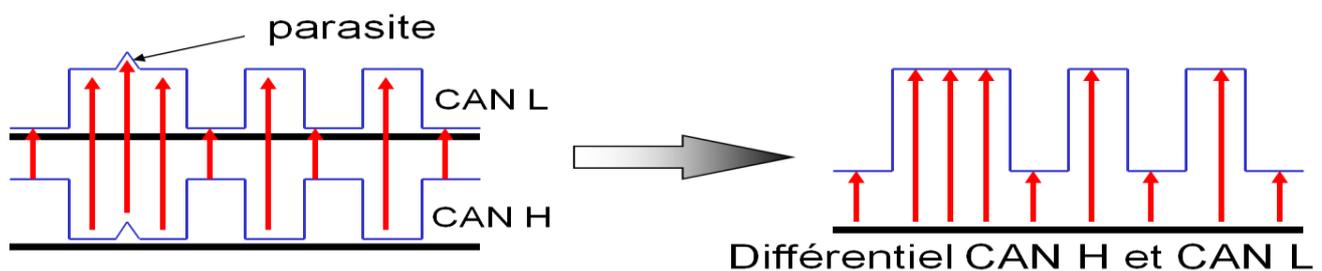
La tension sur le fil CAN\_H évolue entre 3.5V (état 1) et 2.5V (état 0) par rapport à la masse.

La tension sur le fil CAN\_L évolue entre 2.5V (état 1) et 1.5V (état 0) par rapport à la masse.

**L'information est obtenue par soustraction des 2 potentiels, on mesure la tension différentielle entre les 2 fils.**



**Nota :** les fils torsadés et la mesure de la différence de tension entre les 2 fils permettent de supprimer les parasites qui pourraient fausser le message numérique.



### Vitesse de transmission :

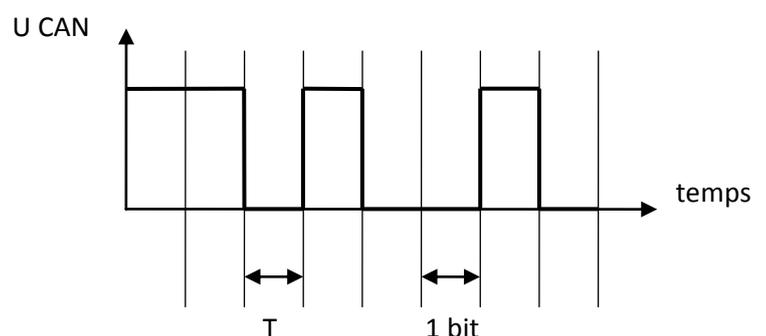
T la période définit la durée d'un bit.

La vitesse de transmission est définie en millier de bit / seconde (Kbit/s).

Exemple : Débit = 500 Kb/s

La durée d'un bit :  $T = \frac{1(s)}{500000} = 2 \times 10^{-6}s$

Soit 2  $\mu s$



### 3.3) Informations Numérique :

**BIT ( Binary digIT ) :** information élémentaire ne pouvant prendre que 2 valeurs ( 0 ou 1 )

**Byte ( mot ) :** c'est une combinaison de « bit » qui permet de coder un chiffre dont la valeur maxi dépend de la taille du byte.

**Byte de 4 bit = un Quartet** nombre de combinaison maxi =  $2^4=16$

Valeur maxi binaire = 1111

Valeur maxi décimale =  $1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 2 + 1 = 15$

**Byte de 8 bit = un Octet** nombre de combinaison maxi =  $2^8=256$

Valeur maxi binaire = 11111111

Valeur maxi décimale =  $1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (128 + 64 + 32 + 26 + 8 + 4 + 2 + 1) = 255$

**Le MSB ( Most Significant Bit ) :** est le bit de poids fort, la position du bit dont le puissance de « 2 » est la plus élevée.

**Le LSB ( Low Significant Bit ) :** est le bit de poids faible, la position du bit dont le puissance de « 2 » est à 0.

Base 16	Base 10	Base 2
0	0	0
1	1	01
2	2	10
3	3	11
4	4	100
5	5	101
6	6	110
7	7	111
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

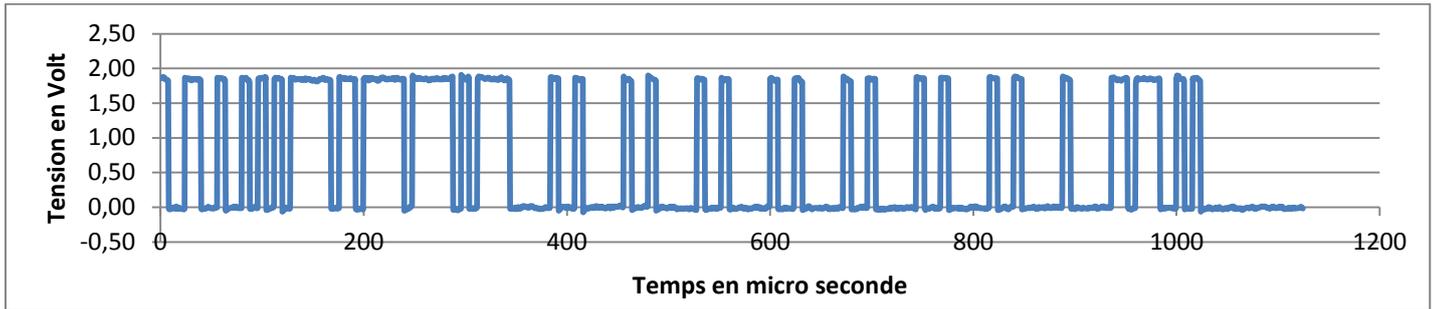
**L'Hexadécimale :** est une base de calcul qui utilise 16 symboles ( 0,1,...,9, A,B,C,D, E et F). Chaque symbole correspond à la combinaison binaire d'un mot de 4 bit ( Quartet )

Exemple :

Hexadécimale	Binaire	Décimale
<b>3E</b> 3 = MSB E = LSB	<b>0011 1110</b> MSB à gauche LSB à droite	62
$3 \times 16^1 + 14 \times 16^0$	$1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1$	$6 \times 10^1 + 2 \times 10^0$

### 3.4) La trame CAN :

Une trame est une succession de signaux électriques ( faible ou fort ) organisés selon une norme précise afin de représenter un message ou un ordre. Il existe plusieurs types de protocoles CAN qui se différencient par le débit et l'organisation des informations dans la trame.

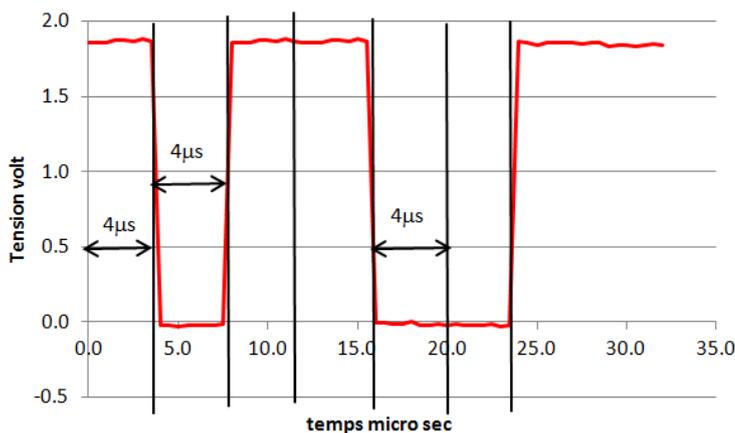


**ATTENTION :** - Lorsque la Tension est faible (0V), cela représente le bit dominant (= 1)  
 - Lorsque la Tension est forte (~2V), cela représente le bit récessif (= 0)

Un bit se différencie du suivant par sa période, le temps qu'il dure. Le temps théorique dépend du débit :

Exemple : Débit = 250 Kb/s

$$\text{La durée d'un bit : } T = \frac{1(s)}{250000} = 4 \times 10^{-6}s \quad \text{Soit } 4 \mu s$$

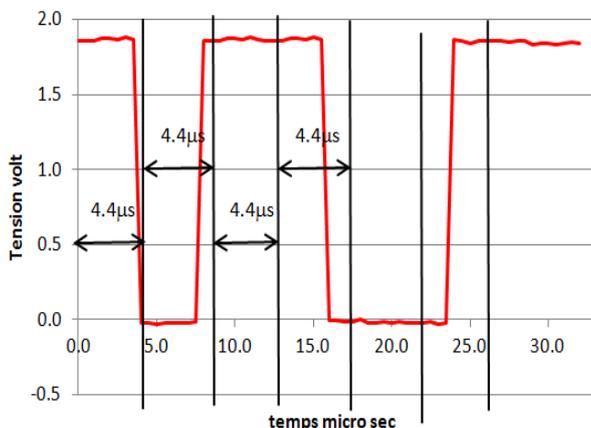


Exemple de lecture de trame :

volt	1.8	0	1.8	1.8	0	0	1.8	1.8
binaire	0	1	0	0	1	1	0	0

### Le BIT de STUFFING :

Le temps théorique d'un bit n'est pas toujours réalisable. La durée réelle peut souffrir d'une légère variation qui une fois cumulée sur plusieurs bit peut décaler la lecture et provoquer une erreur dans le message.



Exemple : la durée réelle est supérieure de 10% à la durée théorique :

Donc  $T_{réel} = 4.4 \mu s$ , à chaque bit la lecture se décale de  $0.4 \mu s$ , donc au 10<sup>ème</sup> bit le décalage est d'un bit complet.

Pour recaler le temps réel sur le temps théorique, tout les 5 bits identiques consécutifs ( 5x0 ou 5x1 ) le système intercale un bit de polarité inverse, qui ne fait pas partie du message mais sert juste à resynchroniser les horloges. **C'est le bit de stuffing qu'il faut supprimer lors du décodage.**

### 3.5) Décodage :

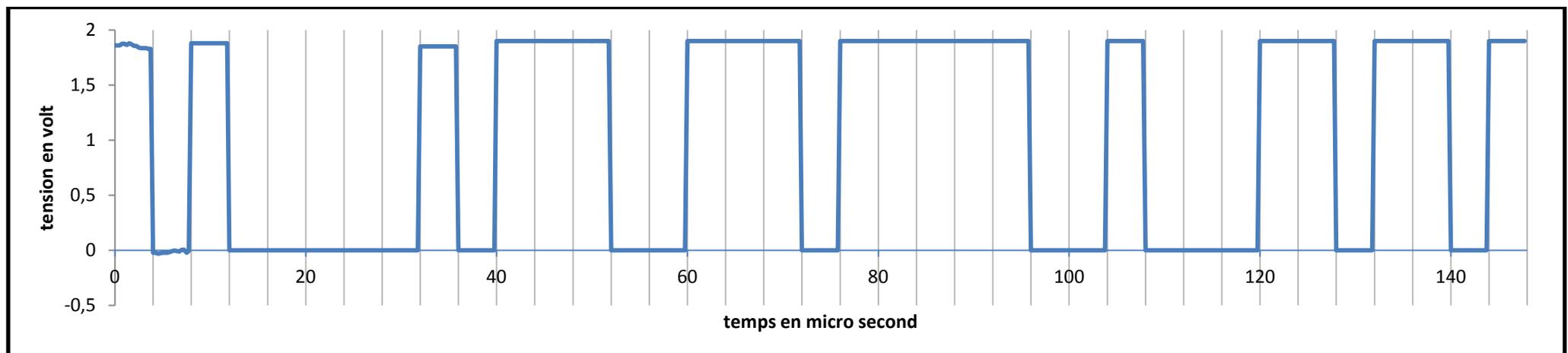
## Structure des trames CAN Etendu sur le bus : Pour Poids Lourds et Engins Agricoles



IFS Inter trame	trame libre 3 bits mini	
Début ou SOF	Début de trame 1 bit	
Identificateur	Champ d'identification de la trame 13 bits	
Eten	Champ Identifier l'extension Ident. 2 bits	
Identificateur	Champ d'identification de la trame 16 bits	
Com.	DLC 4 bits et champ de commande 3 bits	
Informations	données transmises par un équipement ou lues dans un équipement jusqu'à 8 octets (8 x 8 bits).	
CRC Contrôle	champ de contrôle 15 bits	
ACK	champ accusé de réception 2 bits.	
Fin ou EOF	symbole indiquant la fin de la trame 7 bits	

Longueur théorique mini = ( 1+13+2+16+7)+ 8 +(15+2) = 64      longueur théorique maxi : ( 1+13+2+16+7)+ (8x8) +(15+2) = 120    ( excepté IFS et EOF)

#### 3.5.1) Acquisition et lecture du signal électrique : EXEMPLE depuis le bit de SOF jusqu'au début du champ COM ( 37 premiers bits )



250 kbts	temps $\mu$ s	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110
	bit N°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
brute	valeur volt	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2	2	2	0	0	2	2	2	0	2	2	2	2	0	0	2	0	
	valeur binaire	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1

- Le 1<sup>er</sup> bit ( N°0 ) est le bit de SOF ( start of frame ) qui définit le début de la trame ( toujours à 2V, soit valeur binaire = 0 )
- Si 5 bit consécutifs ont la même valeur alors le système intercale un bit de stuffing qui ne fait pas partie du message  
Ex : du bit N°3 à N°7 les valeurs restent identiques à 0, alors le bit N°8 est un bit de stuffing ( en rouge ). Idem pour le bit N°24

### 3.5.2) Suppression des bits de stuffing

brute	valeur volt	2	0	2	0	0	0	0	2	0	2	2	2	0	0	2	2	2	2	2	2	0	0	2	0	0	0	2	2	0	2	2	0	2		
	valeur binaire	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
finale	valeur binaire	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0		
	Bit de stuffing																																			

Les bits de stuffing ne doivent pas être pris en compte dans le décodage du message final:

- la suppression du 1<sup>er</sup> bit de stuffing ( bit N°8 ) provoque un décalage de 1 bit entre la trame électrique et le message binaire.
- la suppression du 2<sup>ème</sup> bit de stuffing ( bit N°24 ) provoque un décalage de 2 bits entre la trame électrique et le message binaire.

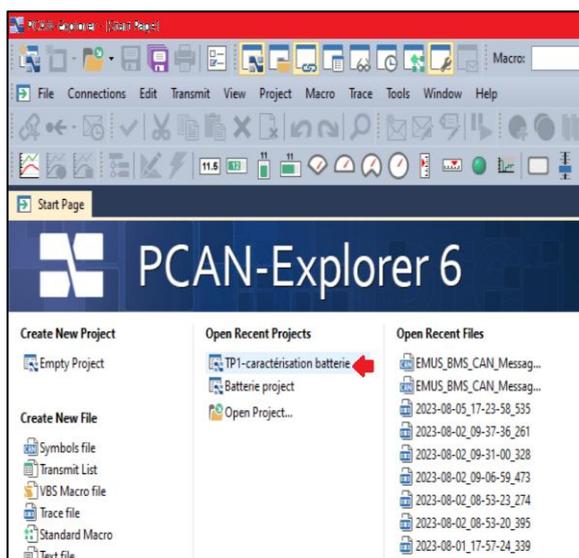
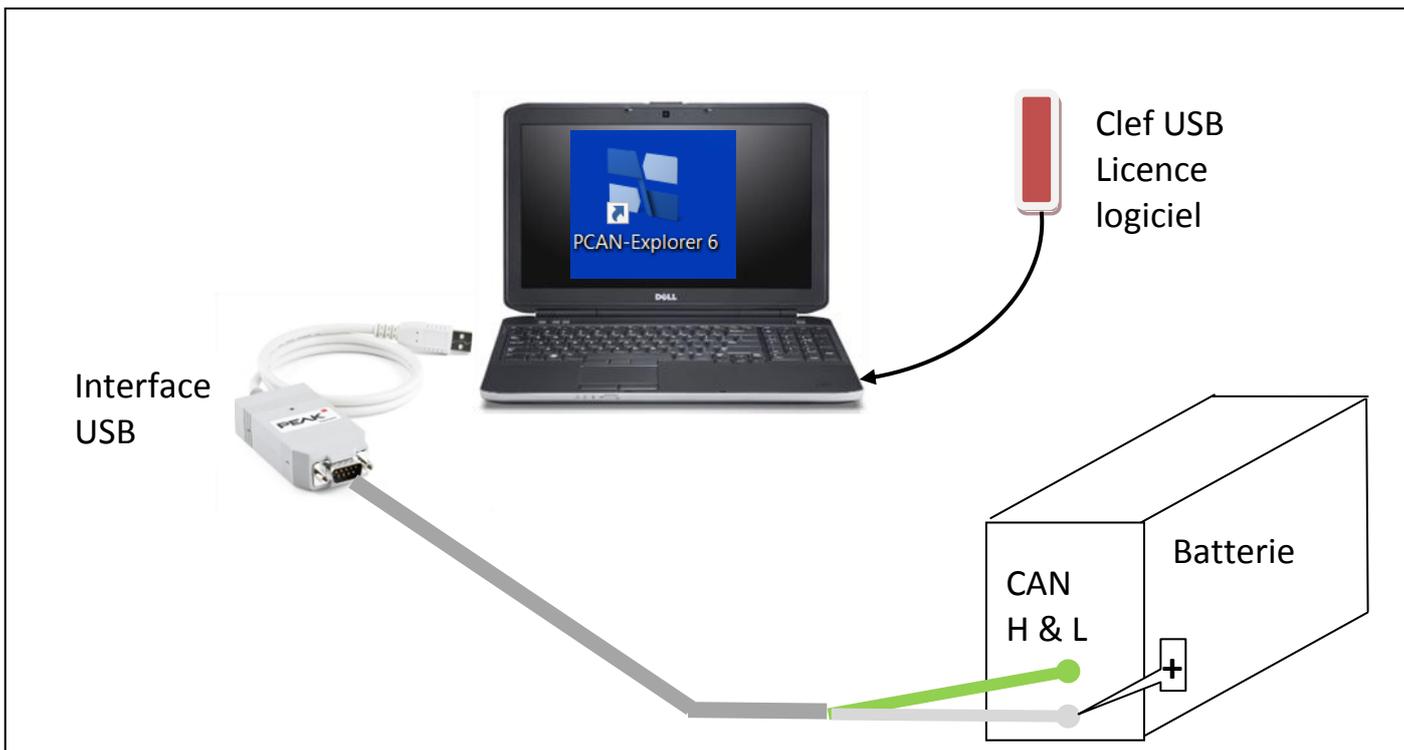
### 3.5.3) Décodage de la valeur binaire en hexadécimale ( ou décimale )

finale	valeur binaire	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	valeur hexa	0	1	7				E				3				0	0	4				1				7				2				0	0	0	
	signification	SOF	identificateur 1+ (3x4)=13 bits													eten		identificateur (4x4)=16 bits																commande			

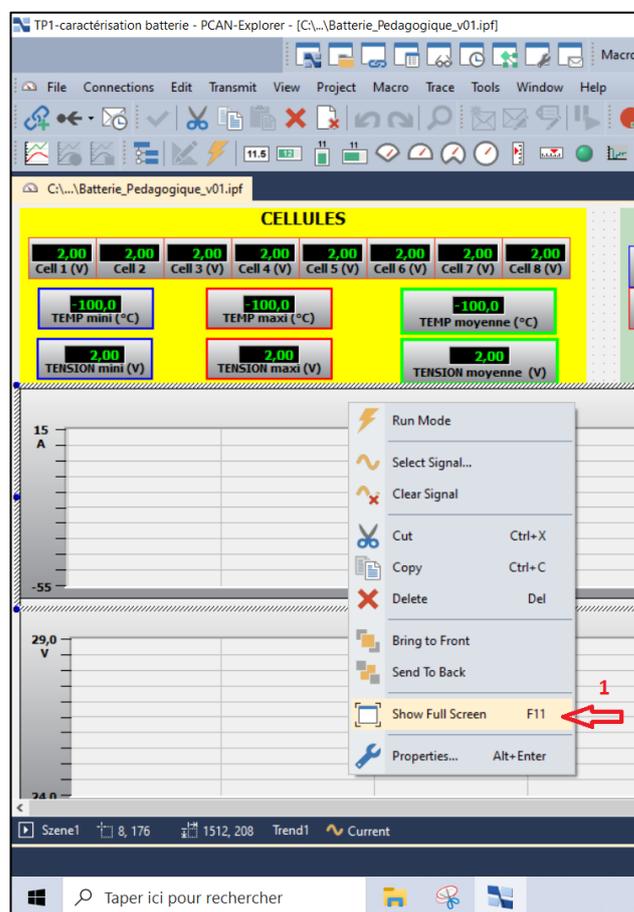
Les valeurs binaires sont décodées par paquets ( mots ) selon la spécification de la Norme ( voir tableau précédente )

Dans cet exemple l'identificateur du message ( la trame ) est en hexadécimal : 17E34172 soit en décimal : 171434172

#### 4) LOGICIEL PCAN explorer 6 :



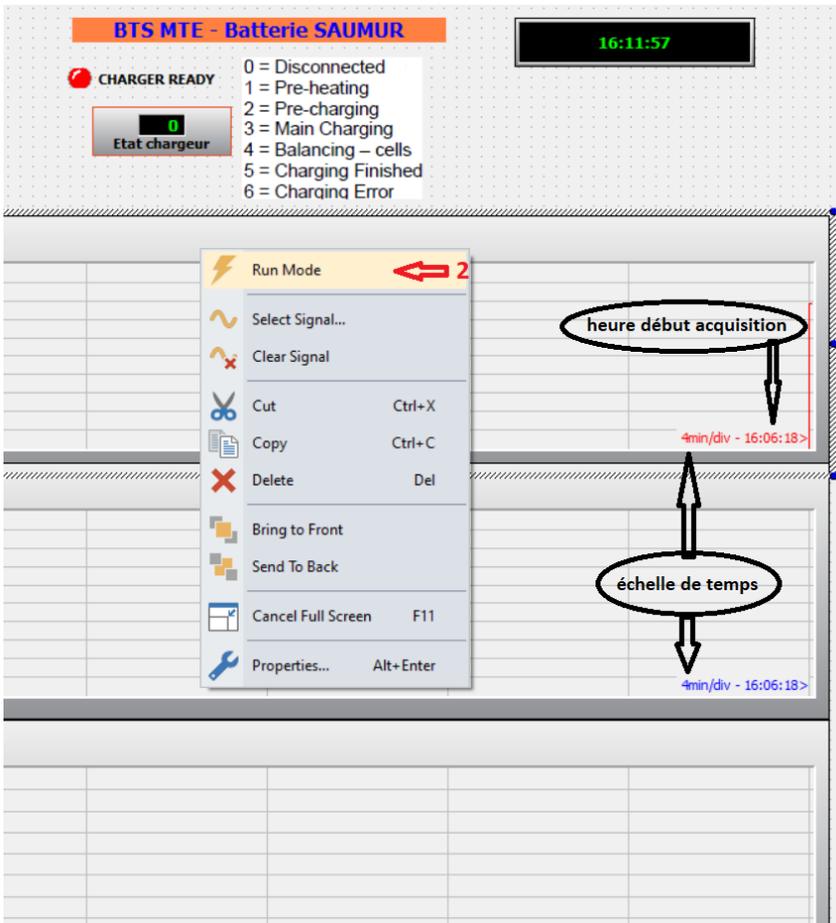
#### 4.1) Ouvrir le projet « TP1-caractérisation batterie »



#### 4.2) Ecran de visualisation en plein écran :

“clic droit” puis “show full screen”

Ou bien appuyer sur F11



### 4.3) Mode RUN :

Sur l'écran de visualisation, « clic droit »,  
Puis clic sur « RUN Mode »

Pour quitter le mode RUN, « clic droit »  
puis « design mode »

**Nota** : en **MODE DESIGN**, il est possible  
de modifier l'échelle de temps des  
graphiques :

- « clic droit »
- « Properties »

Sur la ligne :

« TREND HISTORY » régler la valeur en  
 $1/10^e$  de minute par division.

Exemple : Trend history = 100

Correspond à 10 minutes/division

## 5) Battery Management System : BMS



EMUS BMS Mini 3 is a compact, all-in-one BMS device, that autonomously executes all core and utility functions of battery management. It interacts with all other components in the system, monitors cell voltage levels, and controls charging and balancing functions, using various inputs, outputs, and interfaces. It is designed to use for battery packs consisting of 6 up to 16 cells connected in series.

Item	Conditions	Value	
Operating voltage		12 to 72.8 VDC	
<b>Current consumption</b>	At typical supply voltage, with nothing else connected	12 VDC typical 28 mA	72.8 VDC typical 10 mA
General purpose output GP01-GP05 max sinking current (resettable fuse trip current)		1.25A	
General purpose output max voltage		32 VDC	
General purpose input ON voltage		5 to 72.8 VDC	
General purpose input OFF voltage		0 VDC	
USB interface controller		F232R	
USB power supply data line transient/overvoltage protection	VS protection (Pd - 85W)	6V	
RS232 interface voltage	TVS protection (Pd -200W)	-15V to 15V	
USB/RS232 interface galvanic isolation		None	
CAN interface	TVS protection (Pd - 350W)	-24V to 24V	
RS485 interface voltage	TVS protection (Pd - 600W)	-7V to 12V	
USB interface duplexity	USB not connected	Full duplex (send and receive)	
RS232 interface duplexity	USB connected	Full duplex (send and receive) Half duplex (send only)	
USB/RS232 interface baud rate		57.6kbps	
USB/RS232 interface data bits		8 bits	
<b>CAN speeds</b>		50, 125, 250, 500, 800 kbit/s and 1 Mbit/s	
Load current	Continuous	without heatsink	100A
		with heatsink <sup>2</sup>	200A
	Peak	without heatsink, 10s	250A
		with heatsink, 60s	300A
Charge current	Continuous	without heatsink	50A
		with heatsink	100A
	Peak	without heatsink, 10s	100A
		with heatsink, 60s	150A
Balancing	Resistor	8.2 Ohm	
	Current @4.2V	500mA	
Pre-Charge Resistor		250 Ohm	
5V/12V	Hold current	1A	

