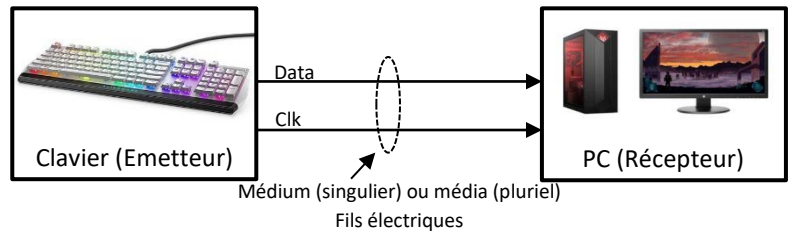


## 1. Liaison « point à point »

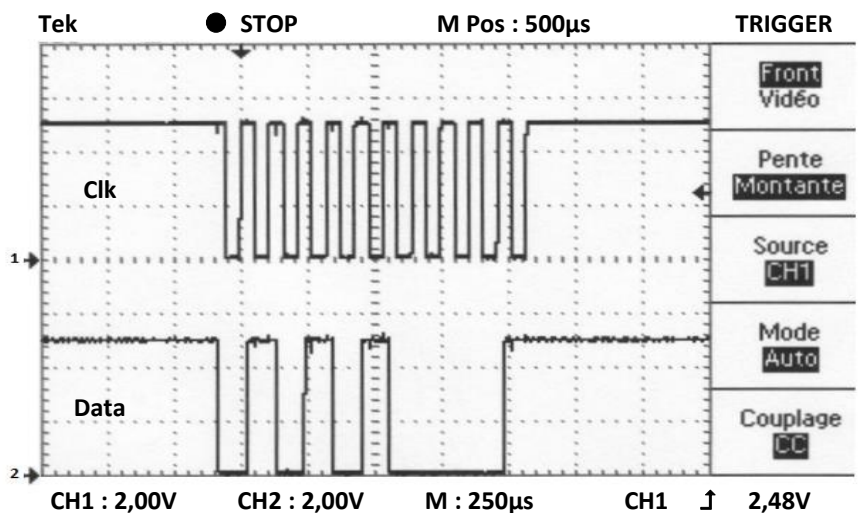
### 1.1 Communication PS2 entre un clavier et un PC

Le MCU du clavier passe la plupart de son temps à **scanner les touches**. S'il trouve qu'une touche a été enfoncée ou relâchée, le clavier enverra un paquet d'informations à l'ordinateur. Ce paquet (ou trame) est composé de « **Scan Code** » correspondant aux actions et aux caractères scannés.



#### Remarques :

- Les différents bits de la trame de données sont acquis par le PC sur les **fronts descendants** du signal d'horloge ;
- **Clk** est le signal d'horloge qui synchronise l'échange entre l'émetteur et le récepteur ;
- **Data** est le signal numérique contenant le message à transmettre.



**Q1. Décodez** la trame de l'oscillogramme ci-dessus en complétant le tableau suivant :

Format général	En-tête	Données								Terminateur	
Format trame IBM	Start	Code IBM du caractère								Parité	Stop
	St	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	P	Sp
Bits de la trame IBM											
de la gauche vers la droite	1 <sup>er</sup> bit	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>	7 <sup>ème</sup>	8 <sup>ème</sup>	9 <sup>ème</sup>	10 <sup>ème</sup>	11 <sup>ème</sup>

**Q2. Reconstituez** le code binaire puis hexadécimal du caractère transmis.

**Q3. Retrouvez** le caractère transmis grâce à la table des caractères IBM (Scan Code Set 2) de l'Annexe 1.

**Q4. Résumez** cette communication en rayant les mentions inutiles dans ce tableau :

<b>Liaison :</b>	Point à point ou Multi-point	<b>Réseau :</b>	Déterministe ou Non Déterministe
<b>Transmission :</b>	Synchrone ou Asynchrone	<b>Réseau :</b>	Maître/Esclave ou Multi-Maîtres
<b>Canal :</b>	Simplex, Half-Duplex ou Full-Duplex	<b>Bus :</b>	Bus Informatique ou Bus de Terrain

## 1.2 Communication RS232 entre une carte à MCU et un PC

Cette carte électronique est reliée à un PC par une **liaison RS232**. Le PC envoie le programme développé et compilé vers la carte munie d'un MCU (à la manière du système Arduino).



Il n'y a pas de signal de synchronisation. Pour que le signal transmis soit correctement reçu, Il faut que l'émetteur et le récepteur possèdent les mêmes réglages et obéissent ainsi au même **protocole**. Ceux-ci sont paramétrables aussi bien sur le PC que sur la carte électronique.

### Débit binaire et Temps bit

Le premier réglage concerne le **débit binaire  $D$**  exprimé en  $\text{bits.s}^{-1}$ . Il définit le nombre de bits transmis en une seconde. Il peut être calculé en connaissant le **temps bit  $T$**  correspondant à la durée d'un bit transmis exprimée en s.

**Exemple :** à un temps bit de  $T = 3,33 \text{ ms}$ , correspond un débit binaire de  $D = 1 / T = 1 / 3,33 \cdot 10^{-3} = 300 \text{ bits.s}^{-1}$ .

En connaissant le débit binaire et la composition d'une trame, il est possible de retrouver le message transmis.

### Trame n°1 :

- Le premier exemple de transmission de trame est donné ci-contre :

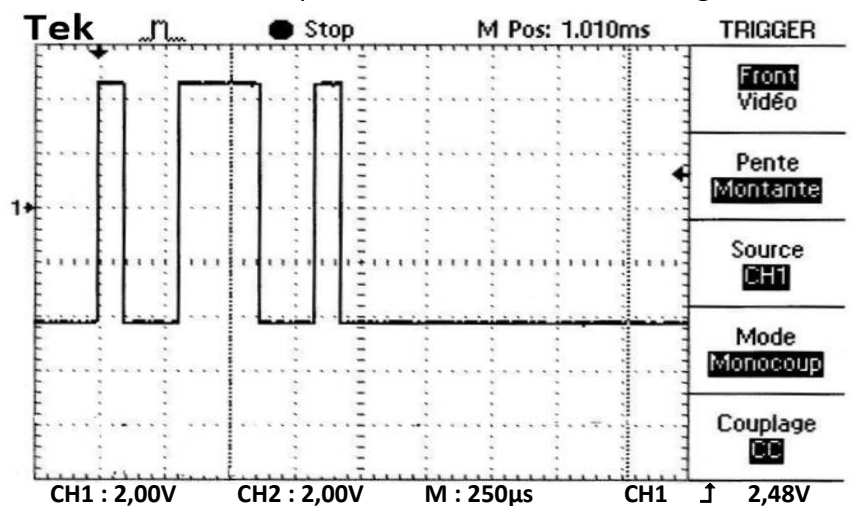
- Le débit binaire de ce signal est égal à :

$$D = 9600 \text{ bits.s}^{-1}$$

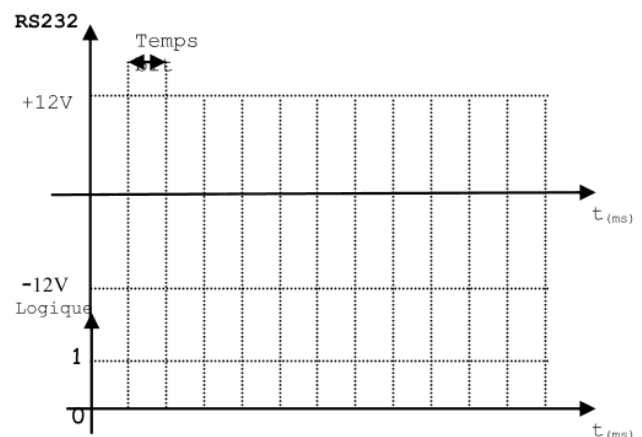
- Le niveau logique « 0 » correspond à un niveau de tension de +12 V.

- Le niveau logique « 1 » correspond à un niveau de tension de -12 V.

- La trame est organisée comme ci-dessous :



St	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	P	Sp
----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	----

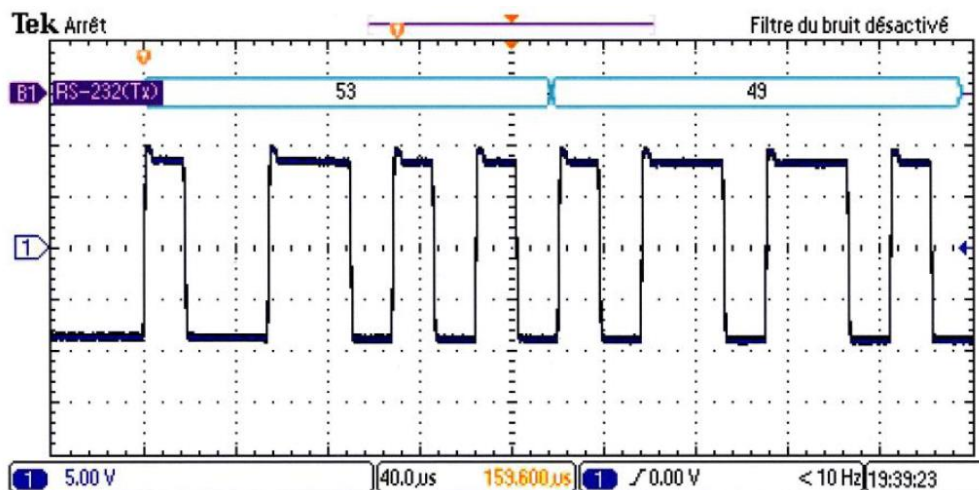


- Q5. Calculez le temps bit  $T$ .
- Q6. Calculez la durée de la trame  $T_{trame}$ .
- Q7. Dessinez la trame RS232 et le signal logique correspondant sur le graphe ci-contre :
- Q8. Décodez la trame et donnez le caractère ASCII transmis (voir Annexe 2).
- Q9. Entourez l'En-Tête, la Donnée et le Termineur.
- Q10. Résumez cette communication en rayant les mentions inutiles dans ce tableau :

<b>Liaison :</b>	Point à point ou Multi-point	<b>Réseau :</b>	Déterministe ou Non Déterministe
<b>Transmission :</b>	Synchrone ou Asynchrone	<b>Réseau :</b>	Maître/Esclave ou Multi-Maîtres
<b>Canal :</b>	Simplex, Half-Duplex ou Full-Duplex	<b>Bus :</b>	Bus Informatique ou Bus de Terrain

## Trame n°2 :

- Cette seconde trame n'a pas les mêmes réglages que la précédente.
- Cet oscilloscope possède une fonction de décodage de trame. Il nous indique que deux caractères ASCII sont envoyés. Ils correspondent aux codes : 0x53 et 0x49



- Q11. Mesurez sur l'oscillo la durée  $T_{trame}$  d'une trame et la durée  $T$  d'un temps bit.
- Q12. Déterminez le nombre de bits utilisés pour chacune des deux trames.
- Q13. En déduire le débit binaire  $D$ .
- Q14. Déterminez la valeur à sélectionner pour le réglage du débit binaire (*baud rate*) parmi les valeurs suivantes : 14400, 19200, 38400, 56000 ou 57600.

Trois autres réglages sont possibles pour l'organisation d'une trame :

- *Data bits* : 7, 8 ou 9 bits. Le nombre de bits utilisé pour coder la données ;
- *Parity* : pas de parité, pair ou impair. Le choix d'un mode de parité correspondant au nombre de 1 utilisés pour coder : message + bit de parité ;
- *Stop bits* : 1, 1,5 ou 2. Le nombre de bits de stop utilisés.

- Q15. Démontrez le fait que dans les deux trames, il n'a pas été utilisé de bit de parité (dans cette trame n°2, il n'est pas possible d'interpréter l'organisation de la trame de plusieurs façons).

- Q16. Repérez pour les deux trames : le bit de start, les bits de données et le bit de stop.

- Q17. Entourez l'En-Tête, la Donnée et le Terminateur dans chacune des deux trames.

- Q18. Isolez la donnée de chacune des deux trames et comparez les valeurs binaires extraites avec les valeurs hexadécimales données par l'oscilloscope.

- Q19. Complétez la copie d'écran ci-contre pour déterminer les valeurs à sélectionner dans les paramètres de communication.

- Q20. Résumez cette communication en rayant les mentions inutiles dans ce tableau :

### Principe du mode de parité

Suivant le mode (pair ou impair), il faut que le nombre de 1 compris dans la donnée et dans le bit de parité corresponde au mode choisi.

**Exemple :** Mode de parité choisi = pair.

① Donnée à envoyer = 0b01010110

b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	P
0	1	1	0	1	0	1	0	0

► Il y a déjà un nombre pair de 1 (4 bits à 1).

► On place « 0 » dans le bit de parité  $P$

② Donnée à envoyer = 0b01010010

b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	P
0	1	0	0	1	0	1	0	1

► Il y a un nombre impair de 1 (3 bits à 1).

► On place « 1 » dans le bit de parité  $P$  pour qu'au total il y ait un nombre pair de bits à un 1.

### Terminal Settings

Port: COM1

Baud rate:

Data bits: 8

Stop bits:

Parity: None

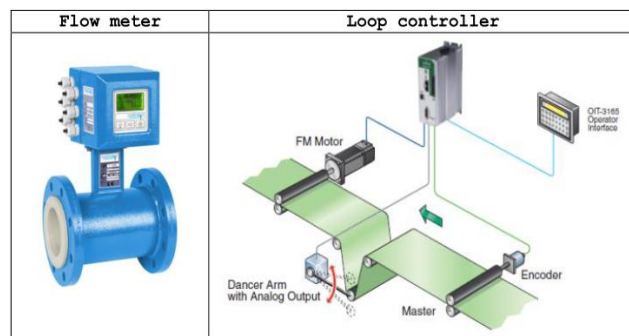
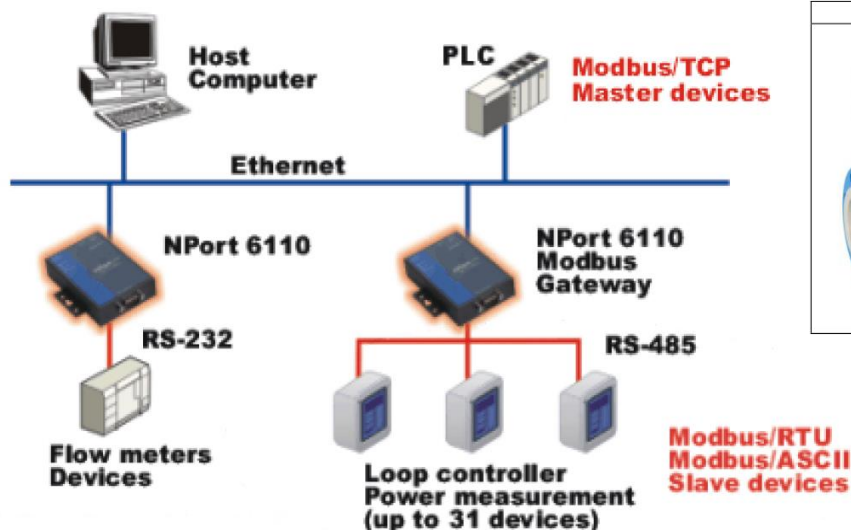
<b>Liaison :</b>	Point à point ou Multi-point	<b>Réseau :</b>	Déterministe ou Non Déterministe
<b>Transmission :</b>	Synchrone ou Asynchrone	<b>Réseau :</b>	Maître/Esclave ou Multi-Maîtres
<b>Canal :</b>	Simplex, Half-Duplex ou Full-Duplex	<b>Bus :</b>	Bus Informatique ou Bus de Terrain

## 2. Liaison multipoints (Réseau)

Dès qu'un système (voiture, avion, réseau téléphonique...) atteint un certain niveau de complexité, l'approche « point à point » devient impossible du fait de l'immense quantité de câblage à installer et de son coût (en masse, matériaux et main d'œuvre).

### 2.1 Bus de terrain MODBUS

Nous allons étudier un exemple de réseau industriel mettant en œuvre différents protocoles de communication (liaison RS232, Liaison RS485, MODBUS et Ethernet).



#### Notes :

- PLC (*Programmable Logic Controller*) = API (*Automate Programmable Industriel*) ;
- Loop Controller = Régulateur ;
- Gateway = Passerelle.

L'étude qui suit se limite aux échanges entre le PLC (maître MODBUS) et les trois Loop Controller (esclaves MODBUS).

L'étude du protocole MODBUS est limitée à son mode ASCII asynchrone.

Dans ce mode, le format des trames est le suivant :

Start	Adresse du destinataire	Code Fonction	Données	LRC	Queue	
:	2 caractères	2 caractères	N caractères	2 caractères	CR	LF

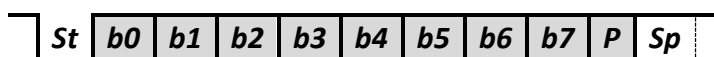
Notes : le contenu du champ « Données » dépend du Code Fonction.

Q21. Identifiez l'En-Tête, la Donnée et le Terminateur en les entourant sur la trame ci-dessus.

### Décodage partiel d'une trame MODBUS

Dans une transmission asynchrone type RS232, le récepteur se synchronise à chaque caractère transmis lors du premier front du bit de start.

Un caractère est émis comme ci-contre :

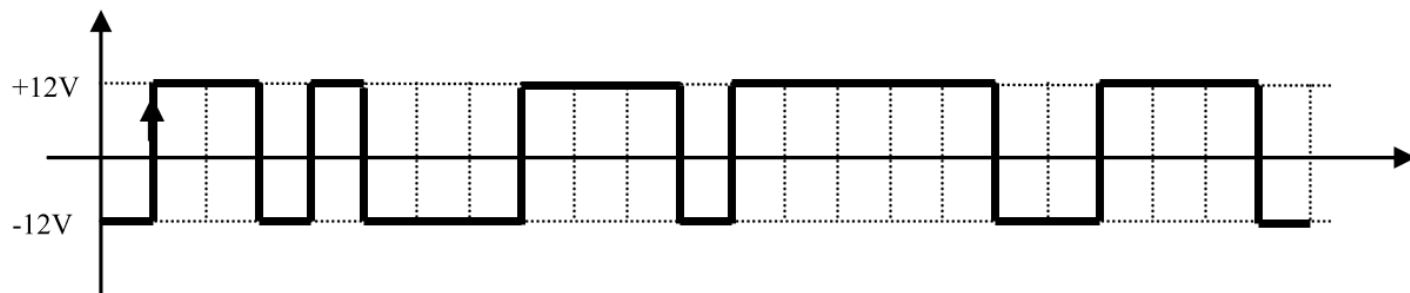


La transmission est paramétrée avec :

- 8 bits de données (b0 à b7) ;
- parité pair ;
- 1 bit de stop.



L'exemple ci-dessous contient deux caractères ASCII :



- Q22.** Sur le chronogramme ci-dessus, **décodez** le signal transmis en identifiant :
- les bits transmis : Bit de Start, Data, bit de Parité et bit de Stop pour les 2 caractères ;
  - les valeurs (0 ou 1) de chacun de ces bits.

- Q23.** Isolez les deux caractères en donnant :
- leur valeur binaire ;
  - leur valeur hexadécimale ;
  - leur valeur ASCII.

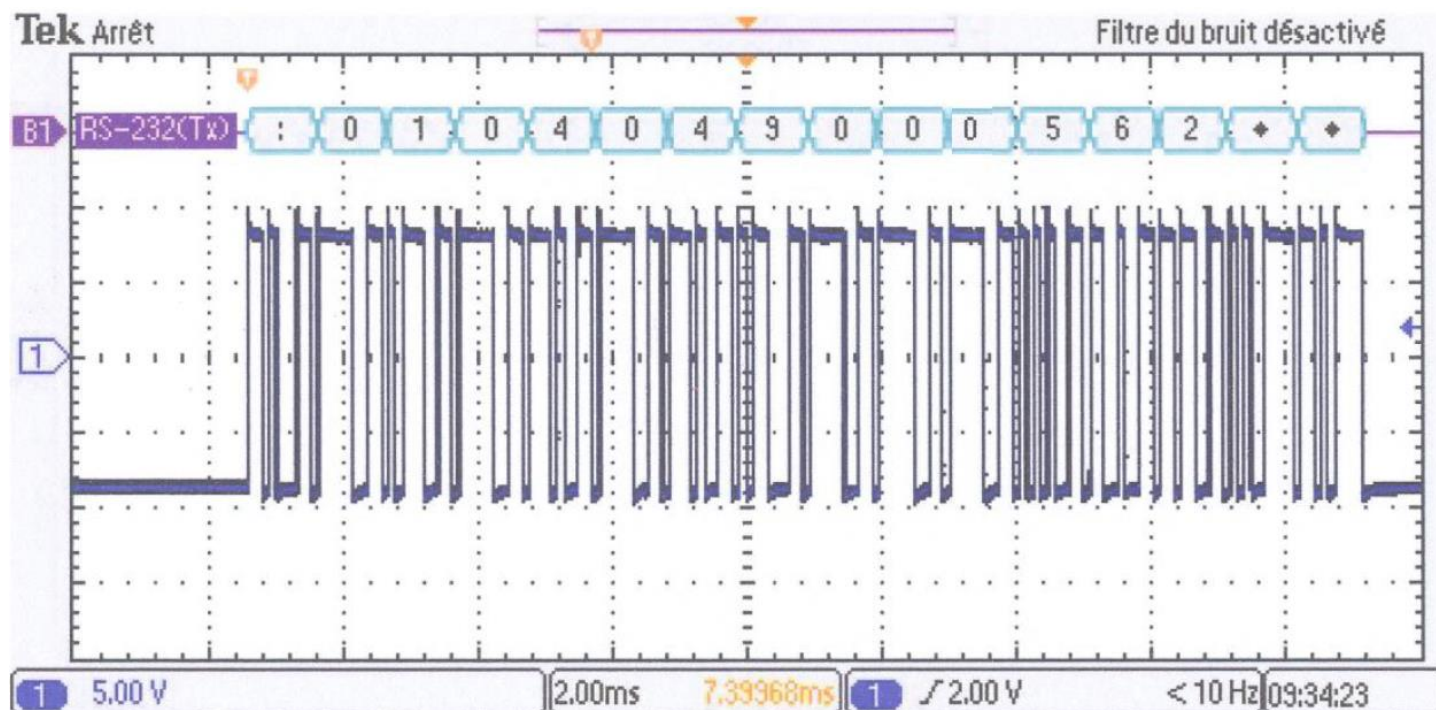
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	Hexa	ASCII
<i>1<sup>er</sup> caractère</i>									
<i>2<sup>nd</sup> caractère</i>									

- Q24.** Donnez la position de ces deux caractères dans la trame.

## Décodage d'une transaction

### ① Question posée par le maître

La trame ci-dessous a été relevée lors de la question transmise par l'API (PLC) à un des contrôleurs de boucle (Loop Controller).



**Note :** Cet oscilloscope possède une fonction de décodage de trame et il indique donc les caractères transmis.

- Q25.** Donnez l'adresse de l'esclave (contrôleur de boucle) destinataire de cette trame.

## Extrait du protocole MODBUS :

Code	Fonction réalisée	Contenu du champ de données	
0x04	Lecture de N mots consécutifs de 16 bits	Adresse du 1er mot, codé sur 4 caractères	N = Nombre de mots, codé sur 3 caractères

🔗 **Q26. Donnez l'adresse où commence la lecture dans la mémoire de l'esclave et le nombre de mots que le maître veut lire.**

## ② Réponse envoyée par l'esclave

La trame suivante est cette réponse :

3A	30	31	30	34	30	41	39	43	45	45	34	32	38	31	36	34	35	38	36	32	44	32	35	41	44	32	38	38	0D	0A
:	01	04	0A	9CEE	4281	6458	62D2	5AD2	88	CR	LF																			

→ N mots de 16 bits  
 → nombre d'octets de données envoyés dans la réponse  
 → Code Fonction de la question  
 → Adresse de l'esclave

← LRC

🔗 **Q27. Interprétez cette réponse en complétant le texte suivant :**

Cette trame est une réponse positive de l'esclave n° ..... à une demande de lecture (fonction 0x04) de N = ..... mots consécutifs situés dans la mémoire du Contrôleur de Boucles à partir de l'adresse @ = ..... .

🔗 **Q28. Complétez** le tableau ci-contre représentant la zone mémoire du Contrôleur de Boucle.

🔗 **Q29. Résumez** cette communication en rayant les mentions inutiles dans le tableau suivant :

Esclave n° .....	
Adresse	Donnée
	9C
	EE

<b>Liaison :</b>	Point à point ou Multi-point	<b>Réseau :</b>	Déterministe ou Non Déterministe
<b>Transmission :</b>	Synchrone ou Asynchrone	<b>Réseau :</b>	Maître/Esclave ou Multi-Maîtres
<b>Canal :</b>	Simplex, Half-Duplex ou Full-Duplex	<b>Bus :</b>	Bus Informatique ou Bus de Terrain

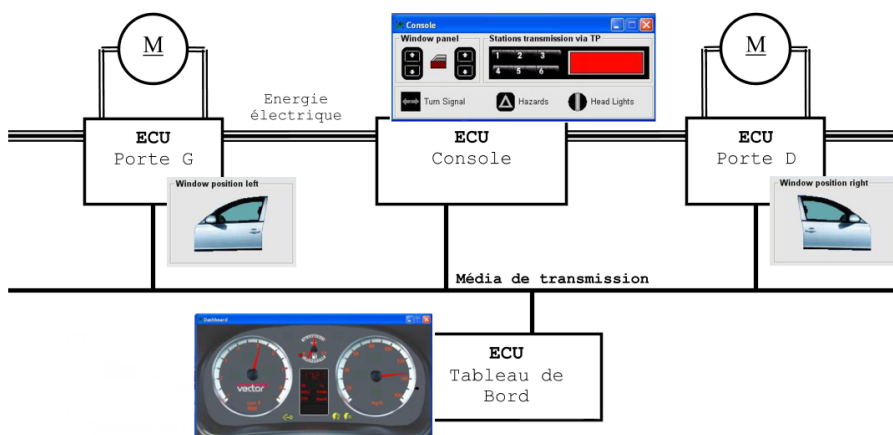
## 2.2 Bus de terrain CAN

Le **bus CAN** (*Controller Area Network*) est un standard particulièrement utilisé dans les voitures.

Dans sa version basse vitesse (125 kbits.s<sup>-1</sup>), il relie les équipements de confort (lèves vitres, rétroviseurs, éclairages, etc.).

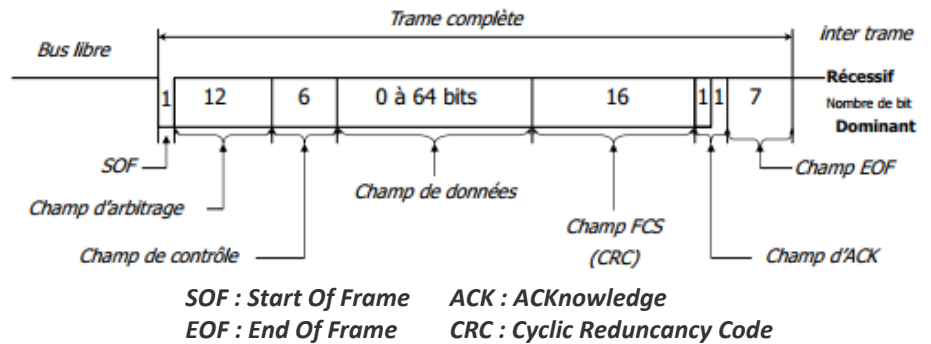
Le schéma ci-contre représente quatre de ces équipements :

- deux moteurs de lève-vitre ;
- une console de commande ;
- un tableau de bord.



Ces éléments communiquent par l'intermédiaire d'un Bus CAN composé d'un média de transmission (fils électriques) et d'unité de contrôle électroniques (ECU : Engine Control Unit).

Le format d'une trame CAN est représenté à droite :



Q30. Identifiez l'En-Tête, la Donnée et le Terminateur en les entourant sur la trame ci-dessus.

Le débit usuel du Bus CAN est de 500 kbits.s<sup>-1</sup>.

Q31. Calculez la durée d'un bit (Nominal Bit Time).

Q32. Calculez la longueur d'une trame CAN.

Q33. Calculez la durée de transmission d'une trame CAN.

La valise de diagnostic interprète les messages du bus CAN et en donne un extrait présenté ci dessous :

Interprétation de la trame par la valise de diagnostic							Trame
227.214972	1	111	Gateway_2	Tx	8		4c 13 01 20 14 06 f4 01
Voltage		50 V	[	1f4]			
PetrolLevel		6	[	6]			
EngSpeed		5152	[	1420]			
CarSpeed		137.5	[	113]			
EngineTemp		76	[	4c]			
116.930236	1	604	TP_ConsoleMessage	Tx	8		05 05 53 57 52 20 33 00
116.930236	1		<OTP>		5		53 57 52 20 33
228.300132	1	1a1	Console_2	Tx	2		02 01

L'étude qui suit ne s'intéresse qu'à l'élément **Gateway\_2** dont l'identifiant est : 0x111.

Q34. Donnez le lien entre la valeur 8 (à droite de Tx) et les valeurs (4c 13 01 ...) qui suivent.

Q35. Expliquez l'interprétation qui est faite des valeurs (4c 13 01 ...) par le logiciel de la valise de diagnostic.

La tension de l'alternateur (**Voltage**) peut être déterminée à partir de la relation : **Voltage = k . Tx**

Q36. Calculez le coefficient **k**.

Q37. Calculez l'information du champ **Tx** qui apparaîtrait si le paramètre **EngSpeed** = 3432.

Q38. Calculez l'information du champ **Tx** qui apparaîtrait si le paramètre **EngSpeed** = 3432.

Q39. Donnez l'identifiant de l'élément **Console\_2**.

## 3. Annexes

### 3.1 Annexe 1 : Extraits de Scan Code Set

Symbole	Scan-Code-Set 1		Scan-Code-Set-2		Scan-Code-Set-3
	Make	Break	Make	Break	Code
1	02	82	16	F0-16	16
2	03	83	1E	F0-1E	1E
3	04	84	26	F0-26	26
4	05	85	25	F0-25	25
Q	10	90	15	F0-15	15
W	11	91	1D	F0-1D	1D
E	12	92	24	F0-24	24
R	13	93	2D	F0-2D	2D
T	14	94	2C	F0-2C	2C

### 3.2 Annexe 2 : Table des caractères ASCII

		000	001	010	011	100	101	110	111	
		0	1	2	3	4	5	6	7	
0000	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p	NUL Absence de caractère, blanc, espace
0001	1	SOH	DC1		1	A	Q	a	q	SOH Start of Heading : début en-tête
0010	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r	STX Start of Text
0011	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s	ETX End of Text
0100	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t	EOT End of Transmission
0101	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u	ENQ Enquiry Demande
0110	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v	ACK Acknowledge, accusé réception
0111	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w	BEL Bell, sonnette
1000	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x	BS Backspace marche arrière 1 caractère
1001	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y	HT Horizontale Tabulation
1010	10	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z	LF Line Fed retour à la nvelle ligne
1011	11	VT	ESC	+	;	K	[	k	{	VT Vertical Tabulation
1100	12	FF	FS	,	<	L	\	l	!	FF Form Fed, passage page suivante
1101	13	CR	GS	-	=	M	]	m	}	CR Carriage Return, retour chariot
1110	14	SO	RS	.	>	N	'	n	~	SO Shift Out caractère suivant non std
1111	15	SI	US	/	?	O	-	o	DEL	SI Shift In retour au caractères std

DLE	DataLink Escape chgmt de signific.
NAK	Negative Acknoledgment
SYN	Synchronous, caractère de synchro.
ETB	End Of Transmission Block
CAN	Cancel annulation de la donnée précédente
SUB	Substitute remplacement
ESC	Escape caractère de ctrl d'extension
FS	File Separator
GS	Groupe Separator
RS	Record Separator
US	United Separator
SP	Space Espace
DEL	Delete, suppression
DC1 à DC4 : caractères de commandes	

**Exemple :** Le code ASCII du caractère « A » est 0x41

### 3.3 Annexe 3 : Les autres déclinaisons de la liaison RS232

CARACTÉRISTIQUES	RS232	RS485	RS422
Mode de fonctionnement	Référencé par rapport à la masse	Différentiel	Différentiel
Nombre total d'émetteurs et de récepteurs sur une ligne	1 émetteur 1 récepteur	1 émetteur 10 récepteurs	32 émetteurs 32 récepteurs
Longueur maximum de câble	17 m	1 km	1 km
Débit maximum	20 kb/s	10 Mb/s	10 Mb/s



## 3.4 Annexe 4 : Lexique

**ASCII** (*American Standard of Information Interchange*) : Code international pour l'échange des caractères alphanumériques.

**Asynchrone** : l'**asynchronisme** désigne le caractère de ce qui ne se passe pas à la même vitesse, que ce soit dans le temps ou dans la vitesse proprement dite, par opposition à un phénomène **synchrone**.

**Débit binaire** : nombre de bits transmis sur la liaison en une seconde.

**Déterministe (ou non déterministe)** : un réseau déterministe permet de connaître la durée d'une transaction. Les réseaux de type maître esclave (MODBUS etc.) sont déterministes. Ethernet (non industriel) est non déterministe.

**Duplex** : le terme utilisé pour qualifier un canal de communication.

- **simplex** qui transporte l'information dans un seul sens.
- **half-duplex** permet le transport d'information dans les deux directions mais pas simultanément.
- **full-duplex** pour lesquels l'information est transportée simultanément dans les deux sens.

**Bus CAN** (*Controller Area Network*) : c'est un bus de communication série, fruit de la collaboration entre l'université de Karlsruhe et Bosch. Il est surtout utilisé dans le secteur de l'automobile et fut présenté avec Intel en 1985.

L'objectif était de réduire la quantité de câbles dans les véhicules (il y a jusqu'à 2 km de câbles par voiture) en faisant communiquer les différents organes de commande sur un bus unique et non plus sur des lignes dédiées. Ceci devait permettre de réduire le poids des véhicules.

**Bus de terrain** : terme employé dans l'industrie pour qualifier des systèmes d'interconnexion d'appareils de mesure, de capteurs, d'actionneurs, ... Les bus de terrain les plus courants sont le bus CAN, le bus LIN, le bus MODBUS etc...

Le terme **bus de terrain** est utilisé par opposition au **bus informatique**. En effet, le bus de terrain est en général beaucoup plus simple, du fait des faibles ressources numériques embarquées dans les capteurs et actionneurs industriels. Un autre élément clé des bus de terrain est leur aspect **déterministe et temps réel**. Un élément couramment lié à un bus de terrain est l'automate programmable industriel.

**Bus série synchrone** : les données sont transmises en série de manière synchrone ; cela signifie que les informations sont envoyées à la suite sur le même fil, la transmission étant cadencée par une horloge.

**Débit binaire** : nombre de bits transmis sur une liaison en une seconde.

**Maître / Esclave** : sur certains réseaux (souvent des réseaux d'automates programmables industriels), on trouve une notion de poste maître et de poste esclave. Le poste maître est un des postes sur le réseau qui va échanger des informations avec les esclaves. En aucun cas, une communication d'esclave à esclave ne sera possible, elle se fera forcément en deux temps par le maître.

**Médium, Média** : support de transmission (fils électrique, fibre optique, air, etc...)

**Multiplexage** : c'est une technique qui consiste à faire passer deux (ou plus) informations à travers un seul support de transmission. Il permet de partager une même ressource matérielle entre plusieurs utilisateurs.

**Point à point** : se dit d'une communication lorsqu'elle s'effectue entre deux stations.

**Protocole** :: ensemble des règles régissant une transmission (dans le contexte).

**RS232** : (parfois appelée **EIA RS-232**, **EIA 232** ou **TIA 232**) : c'est une norme standardisant un bus de communication de type série sur trois fils minimum (standart électrique, mécanique et protocole). Disponible sur presque tous les PC jusqu'au milieu des années 2000, il a été communément appelé le « **port série** ». Sur les systèmes d'exploitation MS-DOS et Windows, les ports RS-232 sont désignés par les noms **COM1**, **COM2**, etc. Cela leur a valu le surnom de « **ports COM** », encore utilisé de nos jours. Il est de plus en plus remplacé par le **port USB** dont la version 2.0 a des vitesses de transmission de 480 Mbits/s.

**RS485** : (EIA-485) est une norme qui définit les caractéristiques électriques de la couche physique d'une interface numérique série. La transmission se fait sur une ligne électrique, pratiquement une paire torsadée, par des variations de tension en mode différentiel. Contrairement à une liaison RS232, une liaison RS485 permet de relier des équipement en mode multi-points. La transmission peut s'effectuer en mode « **full-duplex** » sur quatre fils ou « **half duplex** » sur deux fils.

**Station** : élément communiquant (ex :  $\mu$ C, PC, API doté d'une carte réseau).

**Synchrone (liaison)** : l'émetteur et le récepteur sont cadencés avec la même horloge. Lors d'une transmission synchrone, les bits sont envoyés de façon successive sans séparation entre chaque caractère, il est donc nécessaire d'insérer des éléments de synchronisation, on parle alors de synchronisation au niveau caractère.

**Trame** : ensemble d'informations binaires véhiculées dans un processus de transmission. **Transaction** : question suivi d'une réponse.

**Transceiver** : Dans les réseaux informatiques du type Ethernet, le transceiver (*MAU : Medium Attachment Unit*) est intercalé entre le câble qui forme le réseau (paire torsadée ou coaxial) et l'interface physique sur la machine. Il permet donc le rattachement de la station au réseau. Le câble reliant le transceiver à la machine est appelé câble de descente, câble AUI (*Attachment Unit Interface*) ou *drop cable*.