

R309 – Liaisons Numériques

Licence Pro Rob&IA

Laurent ROY

- **Maîtriser les concepts fondamentaux des liaisons numériques**
 - Connaître les différents types de liaisons et leurs applications,
 - Comprendre les conséquences des choix technologiques sur la distance et le débit maximal d'une liaison,
 - Savoir déterminer la durée théorique d'une transmission.
- **Pouvoir raccorder et configurer des liaisons numériques**
 - Comprendre l'importance des résistances de terminaison, et des types de supports à utiliser,
 - Savoir raccorder un modem HART.

I. Description d'une liaison

- Liaisons RS232, RS422 et RS485

II. Transmission en bande de base

- Codages NRZ, NRZI, Manchester et Miller

III. Exemple de liaison : IO-Link

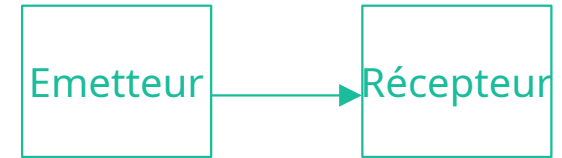
IV. Modulation/Démodulation

- Exemple d'une liaison HART

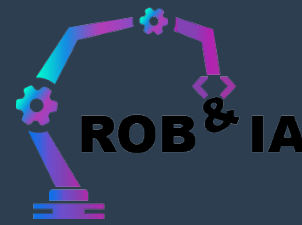
I- Définition d'une liaison numérique



- Une liaison relie un émetteur à un récepteur
 - On parle de liaison «Point à Point»
- Différence avec les «réseaux» industriels, qui vont relier de nombreuses stations (mais parfois en utilisant des liaisons d'un point à un autre)

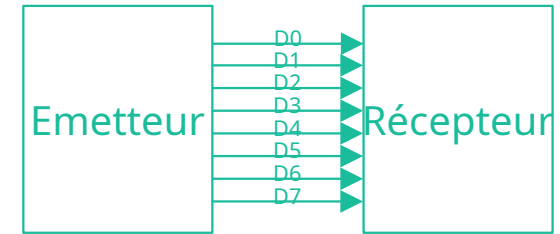


I- Description - Les types de transmission



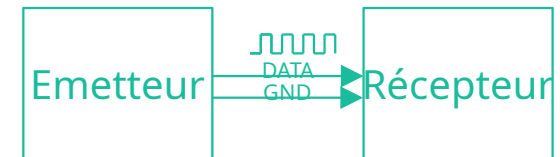
- **Transmission parallèle**

- Les bits d'un octet sont transmis simultanément
- Utilisé pour des courtes distances, chaque canal ayant tendance à perturber ses voisins (diaphonie), la qualité du signal se dégrade rapidement



- **Transmission série**

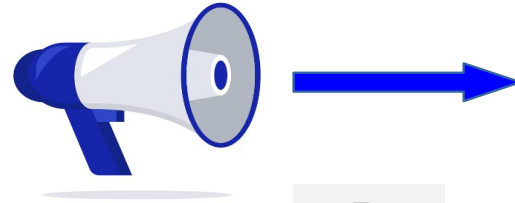
- La liaison nécessite au minimum 2 fils : données et masse
- Les bits d'un octet sont transmis les uns à la suite des autres



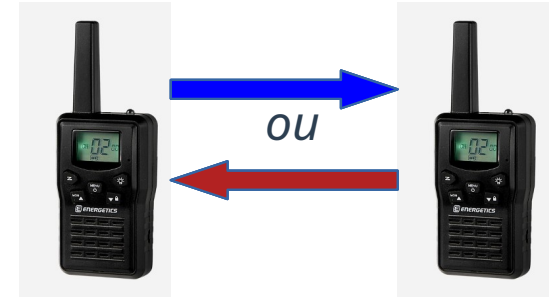
I-Description - Les types de transmission



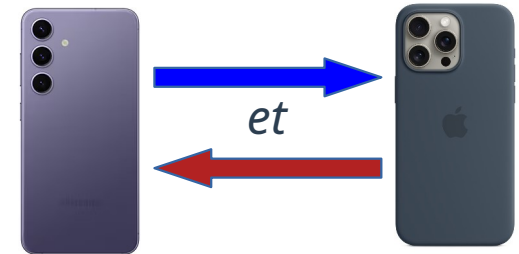
Transmission **simplex** : mono-directionnelle



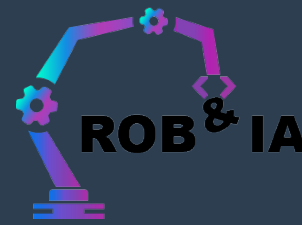
Transmission **half duplex** : bi-directionnelle alternée



Transmission full **duplex** : bi-directionnelle simultanée



I- Description - Les types de transmission série



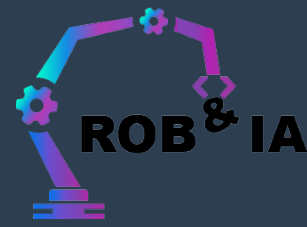
Transmission série synchrone

- Les informations sont transmises de façon continue
- Un signal de synchronisation est transmis en parallèle aux signaux de données

Transmission série asynchrone

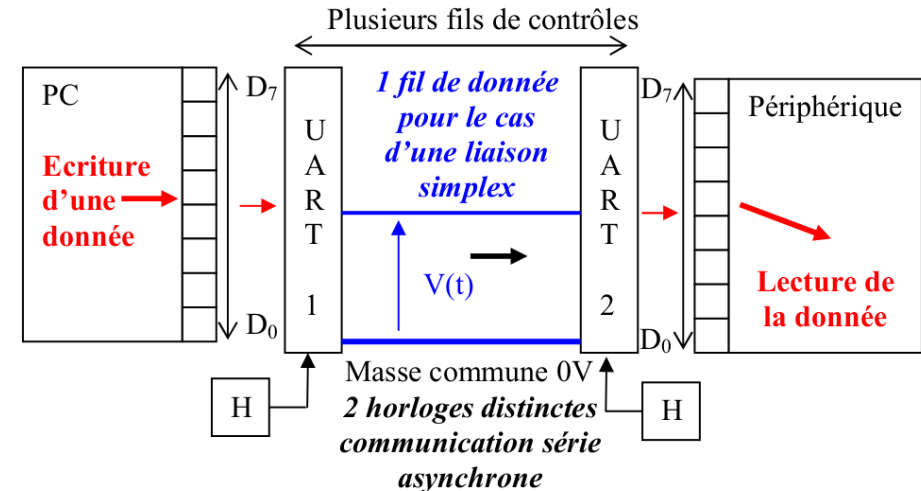
- Les informations peuvent être transmises de façon irrégulière, cependant l'intervalle de temps entre 2 bits est fixe
- Des bits de synchronisation (START, STOP) encadrent les informations de données

I-1 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)



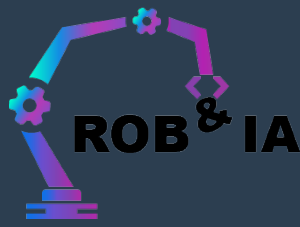
- **Principe de la liaison série asynchrone**

- Au lieu de transmettre 8 bits de données simultanément comme sur une liaison parallèle, les 8 bits sont transmis l'un après l'autre.
- Cette opération de sérialisation est effectuée par un circuit spécialisé **UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter** assisté par une horloge **H** de période **T** : elle consiste à lire les 8 bits de donnée du registre de sortie et à les émettre un par un (de **D0** à **D7**) vers le système récepteur de données.



I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS232



- **Utilité de la liaison RS232 (norme EIA 232)**
 - Aspect historique (anciens port Série des PC)
 - Implantée sur à peu près n'importe quel micro-contrôleur
 - Peut servir de base à n'importe quelle communication série, en utilisant un convertisseur (RS232/USB ; RS232/Ethernet ...)



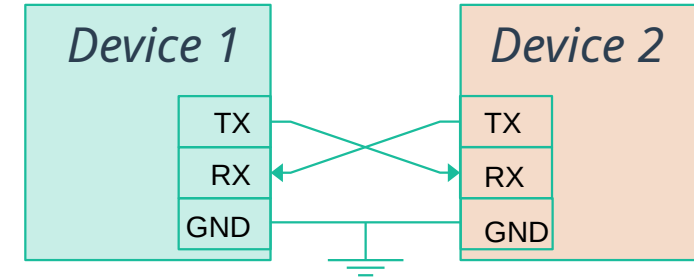
I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS232



- **Principe de la liaison RS232 (norme EIA 232)**

- Envoi des données octet par octet (paquets de 8 bits)
- L'octet à transmettre est envoyé bit par bit (poids faible : LSB, en premier) par l'émetteur sur la ligne **Tx**, vers le récepteur (ligne **Rx**) qui le reconstitue.
- La VITESSE de TRANSMISSION de l'émetteur doit être identique à la vitesse d'acquisition du récepteur. Ces vitesses sont exprimées en BAUDS (1 baud = 1 bit / seconde). Il existe différentes vitesses normalisées: 19200, 9600, 4800, 2400, 1200... bauds.



Longueur maximum de
câble RS232

Débit (bit/s)	Longueur (m)
2400	60
4800	30
9600	15
19200	7,6
38400	3,7
56000	2,6

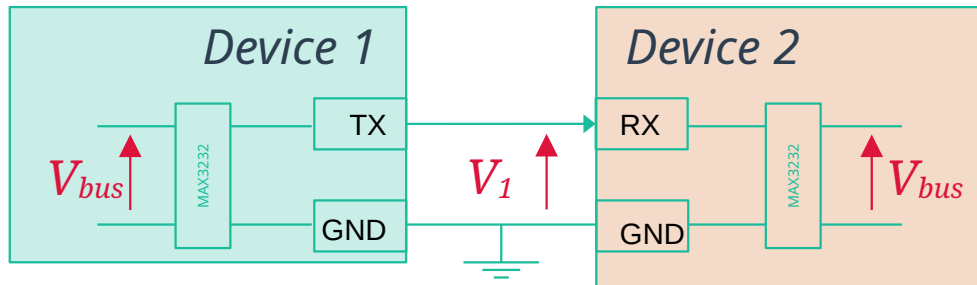
I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS232



- **Niveaux de tension de la liaison RS232 (norme EIA 232)**

- Un niveau logique "0" est représenté par une tension de +3 V à +25 V
- Un niveau logique "1" est représenté par une tension de -3 V à -25 V
- codage NRZ
- Sur les PC fixes («tours»), des niveaux de +12 V («0») et -12 V («1») sont utilisés.
- Des circuits spécialisés permettent de convertir les niveaux de tension RS232 avec ceux des circuits électroniques (niveaux de tension TTL)



Niveaux de tension RS232 (V28)

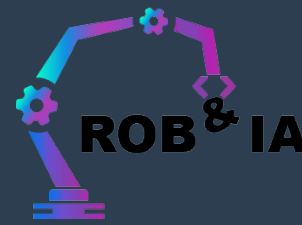


Niveaux de tension TTL



I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS232

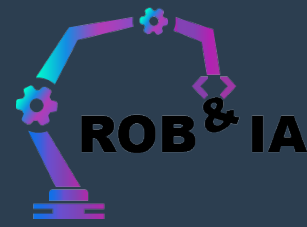


- **Principe de la liaison RS232 (norme EIA 232)**
 - La transmission étant du type asynchrone (pas d'horloge commune entre l'émetteur et le récepteur), des bits supplémentaires sont indispensables pour délimiter l'information envoyée: un bit de début de mot (**BIT de START**), un ou deux bit(s) de fin de mot (**BIT de STOP**).
 - D'autre part, l'utilisation éventuelle d'un bit de parité (**BIT de PARITE**), permet la détection d'une erreur dans la transmission. Le bit de parité peut être du type PAIRE (**EVEN**) si on ajoute ce bit pour avoir un nombre paire d'information à « 1 » dans la trame, sans compter les bits de Start et de Stop. Le bit de parité est du type IMPAIRE (**ODD**) dans l'autre cas.

Remarque : deux erreurs dans la même transmission ne seront pas détectées.

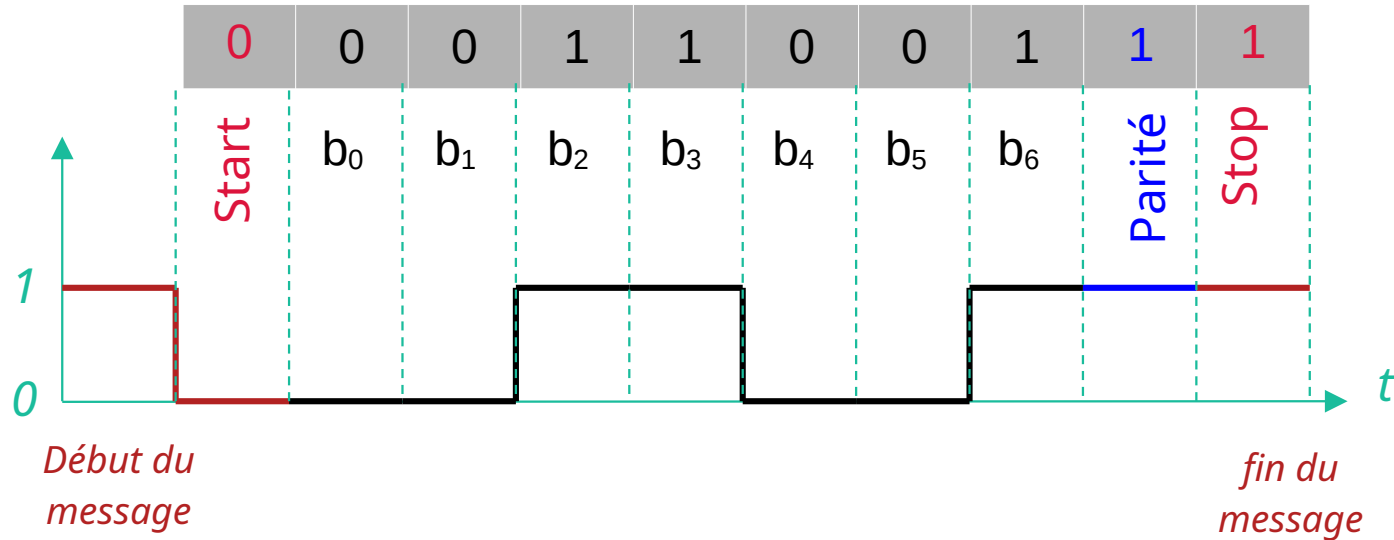
I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS232



- Exemple : Transmission du caractère « L » codé en ASCII sur 7 bits (76_{10} ou $4C_{16}$) avec une parité paire

b_0 est le **LSB** :
Less Significant
Bit



I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

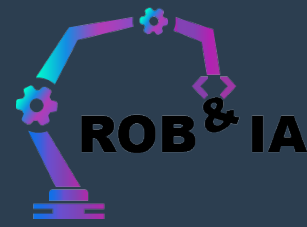
Table ASCII



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
U+0000	NUL	SOH	STX	ETX	EOT	ENQ	ACK	BEL	BS	HT	LF	VT	FF	CR	SO	SI
U+0010	DLE	DC1	DC2	DC3	DC4	NAK	SYN	ETB	CAN	EM	SUB	ESC	FS	GS	RS	US
U+0020	SP	!	"	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	-	.	/
U+0030	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
U+0040	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
U+0050	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[\]	^	_
U+0060	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
U+0070	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{		}	~	DEL

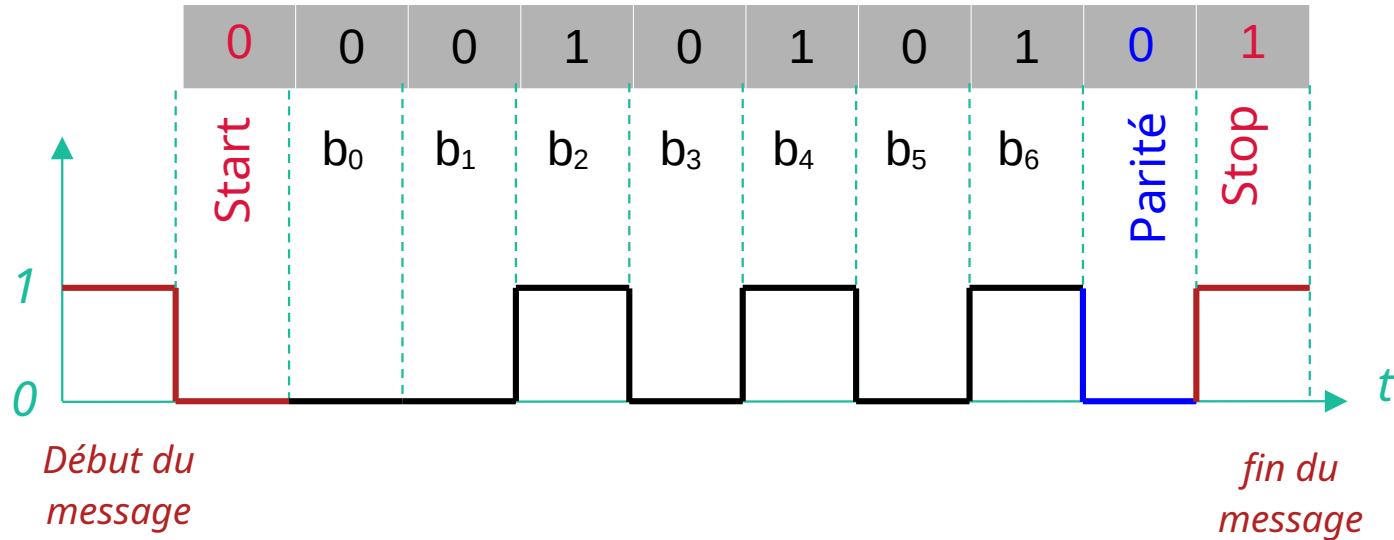
I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS232



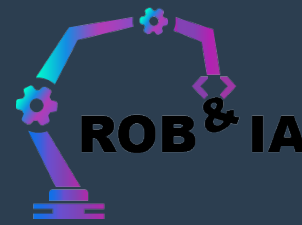
- Exemple : Transmission du caractère « T » codé en ASCII sur 7 bits (84_{10} ou 54_{16}) avec une parité impaire

b_0 est le **LSB** :
Less Significant
Bit



I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

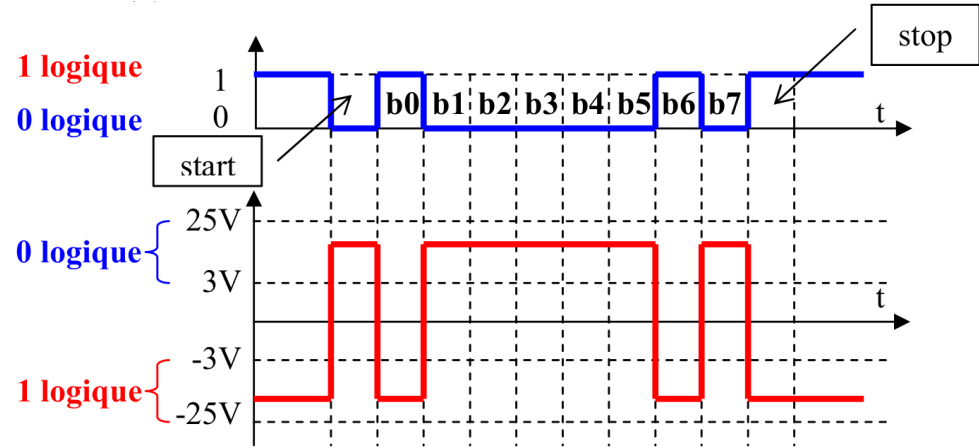
→ liaison RS232



- Niveaux de tension : cas du port

série d'un PC

- Type V24/V28
(ou norme RS232C)
- LE SIGNAL EST INVERSE :
 - 0 logique correspond à une tension POSITIVE
 - 1 à une tension NEGATIVE



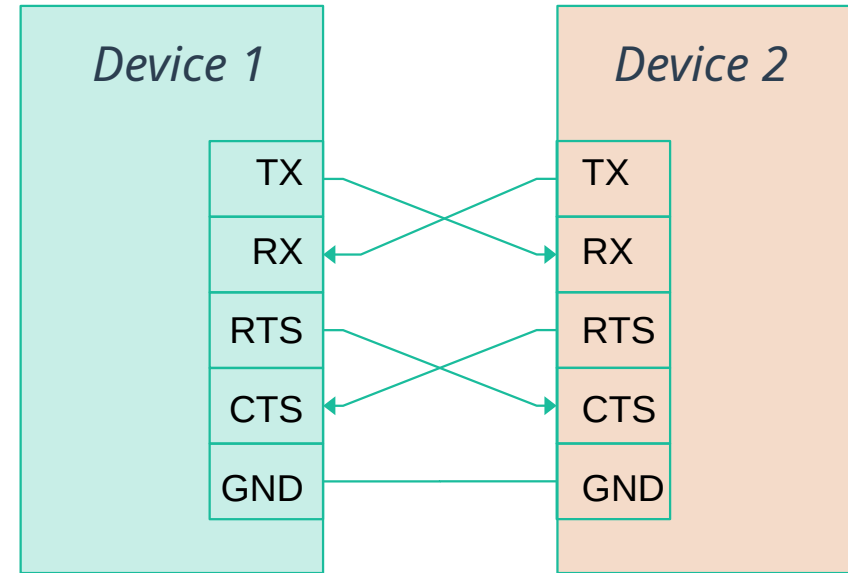
I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS232



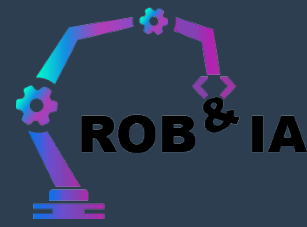
- **Contrôle de flux**

- En plus des broches TXD, RXD et masse (SG), d'autres lignes peuvent être utilisées pour éviter la saturation du buffer (mémoire tampon de communication) :
 - La sortie **RTS** (Request To Send) à relier à l'entrée CTS (Clear To Send)
 - La sortie **DTR** (Data Terminal Ready) du récepteur à relier à l'entrée DSR (Data Set Ready) de l'émetteur.
- Le même résultat peut être fait de façon logiciel avec le contrôle de flux **XON / XOFF**.

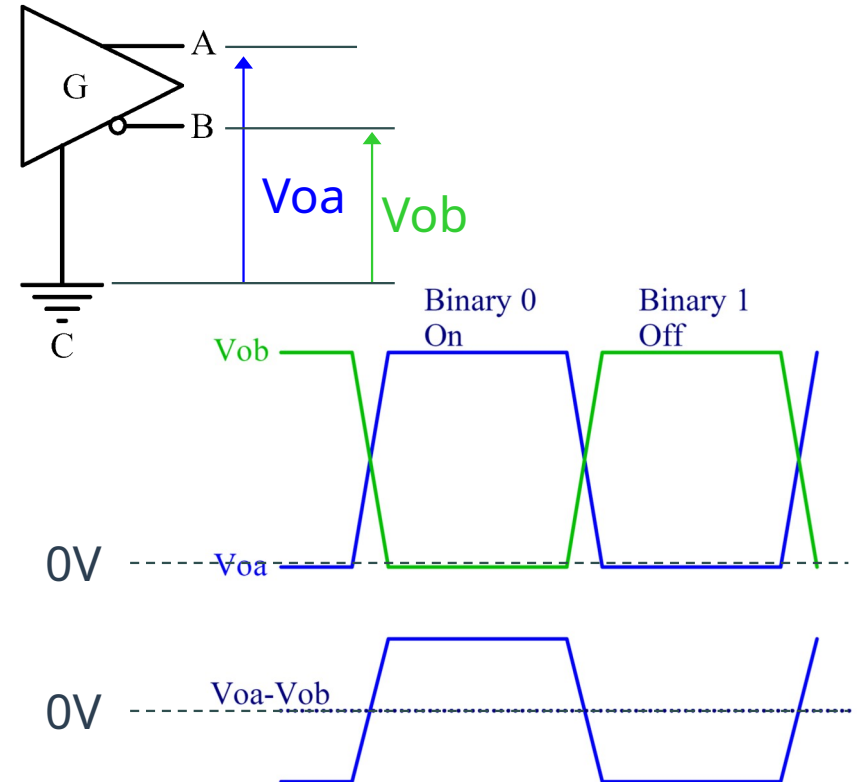


I-2 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS422



- **Particularité de la liaison RS422**
 - La liaison est **différentielle**
 - Peut fonctionner sur de plus grandes distances (jusqu'à 1200 m)
 - ou
 - Avec des débits plus importants (jusqu'à 10 MBit/s)

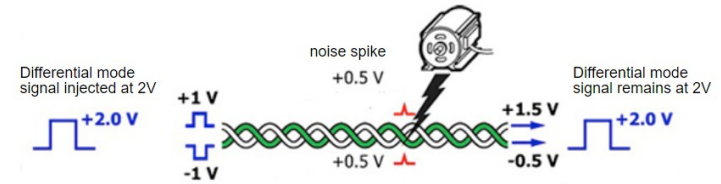


I-2 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS422



- **Particularité de la liaison RS422**
 - Le fonctionnement en mode différentiel rend la liaison moins sensible aux perturbations électromagnétiques en mode commun sur les deux fils
 - La paire de fil utilisée pour transmettre le signal est **torsadée**
 - Permet de diminuer la **diaphonie** entre les différentes paires,
 - et
 - De diminuer l'influence des perturbations électromagnétiques, chaque torsade étant perturbée de manière opposée à la suivante.



Source <https://fr.flukenetworks.com>



Paire torsadée Source https://fr.wikipedia.org/wiki/Paire_torsad%C3%A9e

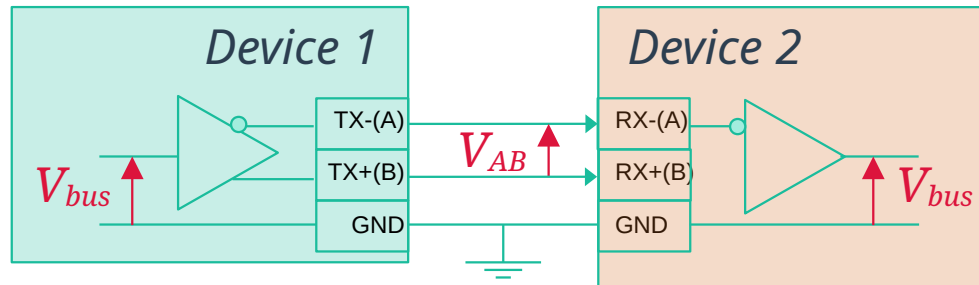
I-1 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS422

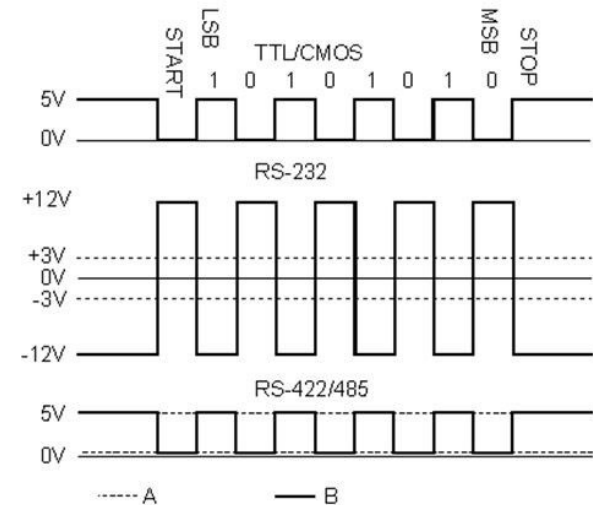


- **Niveaux de tension de la liaison RS422**

- Un niveau logique "0" est représenté par une tension différentielle $V_{BA} = V_B - V_A$ de -0,3 V à -6V
- Un niveau logique "1" est représenté par une tension différentielle $V_{BA} = V_B - V_A$ de +0,3 V à +6V
- Sur les PC fixes («tours»), des niveaux de +12 V («0») et -12 V («1») sont utilisés.
- Des circuits spécialisés permettent de convertir les niveaux de tension RS232 avec ceux des circuits électroniques (niveaux de tension TTL)



ASCII "U" = 85 Decimal = 55 Hexidecimal = 01010101 Binary

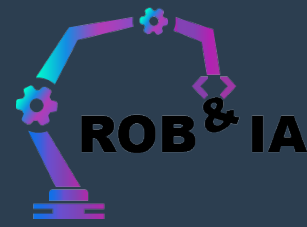


Source

<https://www.advantech.com/en-eu/resources/white-papers/2fde048f-f42c-439b-b0a9-485cd548f172>

I-2 EXEMPLE de transmission série asynchrone

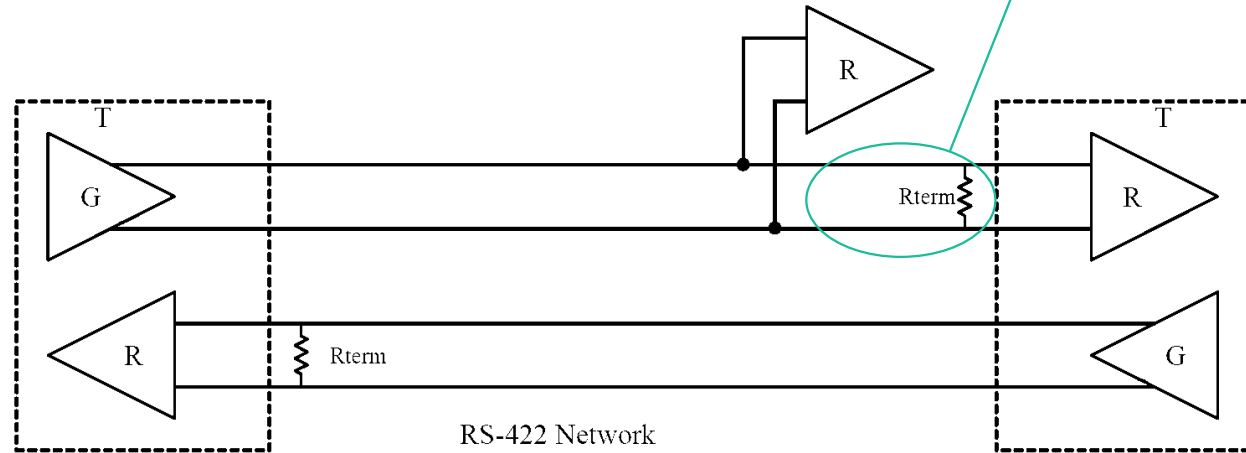
→ liaison RS422



- **Particularité de la liaison RS422**
 - Un seul émetteur possible sur une paire différentielle.

Nécessité d'utiliser des résistances de terminaison de la liaison R_{term} entre 100 et 150 Ω

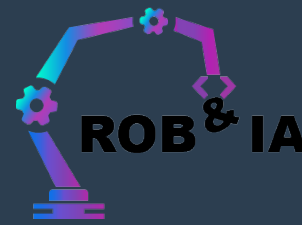
G = émetteur
R = récepteur



Source https://en.wikibooks.org/wiki/Serial_Programming

I-3 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS485



- **Particularité de la liaison RS485**
 - Composants G avec une sortie à 3 états («1», «0» ou haute impédance)
 - Permet de réaliser des liaisons half-duplex
 - **Sert de base à de très nombreux réseaux industriels** (Profibus, Modbus, DMX 512 ...)

Source https://en.wikibooks.org/wiki/Serial_Programming

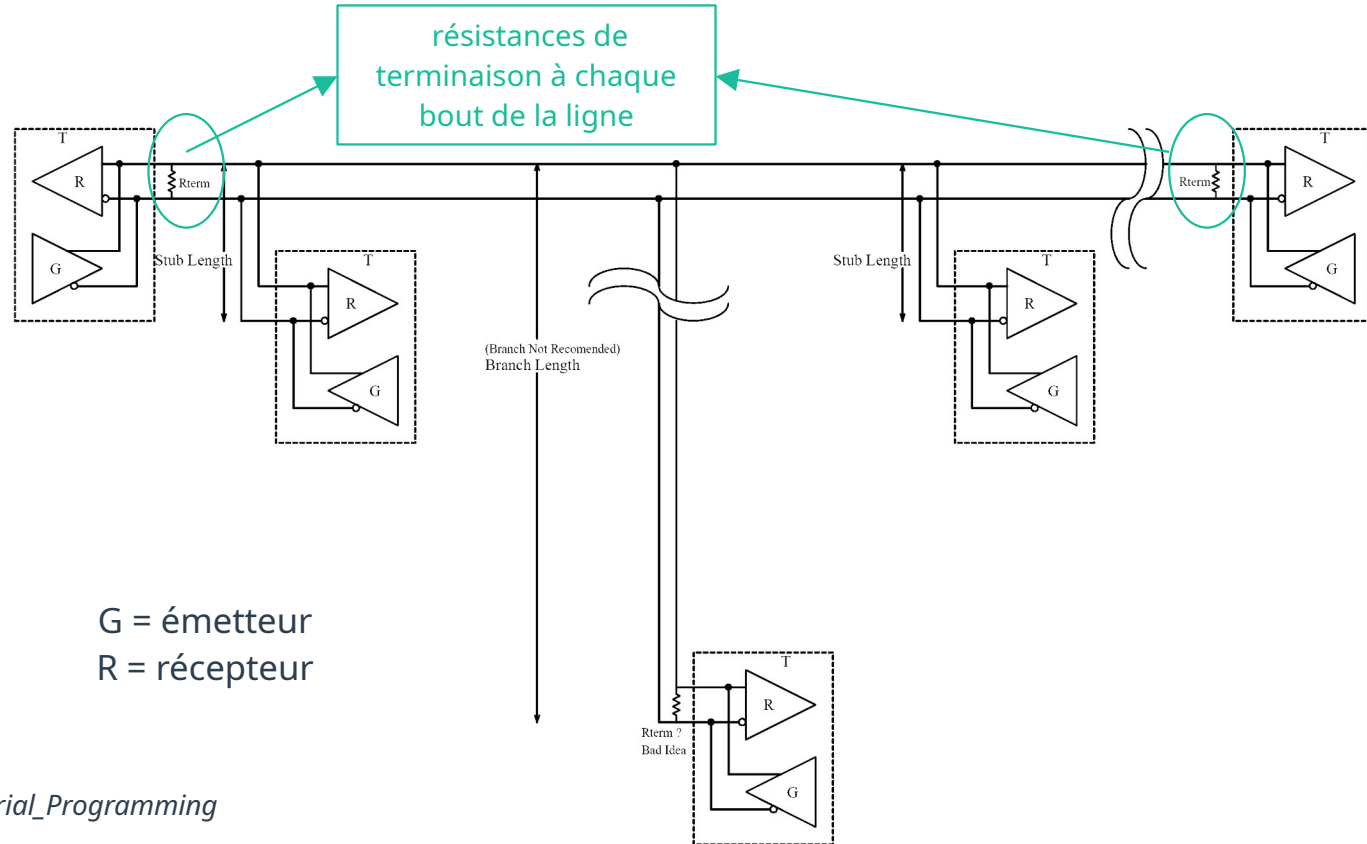
I-2 EXEMPLE de transmission série asynchrone

→ liaison RS485



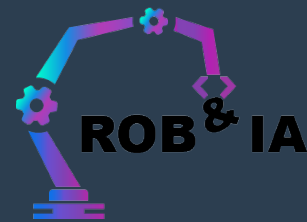
- **liaison RS485**

- Chaque station peut recevoir ou émettre sur une paire différentielle.



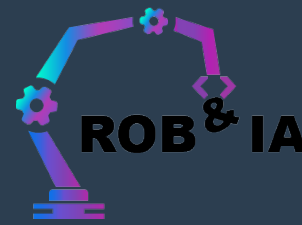
Source https://en.wikibooks.org/wiki/Serial_Programming

I- Comparaison des différentes liaisons séries asynchrones



Caractéristiques	RS 232 (V24)	RS422 (V11)	RS 485 (V11)
Liaison physique	mode masse commune 3 fils minimum	mode différentiel 2 fils d'émission 2 fils de réception 1 fil de masse (blindage)	1 fil de masse (blindage)
Conséquence	FULL DUPLEX	FULL DUPLEX	HALF DUPLEX
Niveaux électriques			
0	$+3\text{ V} < U < +25\text{ V}$	$300\text{ mV} < \Delta U < 6\text{ V}$	$300\text{ mV} < \Delta U < 6\text{ V}$
1	$-3\text{ V} > U > -25\text{ V}$	$-6\text{ V} < \Delta U < -300\text{ mV}$	$-6\text{ V} < \Delta U < -300\text{ mV}$
Nombre d'appareils sur la ligne	1 émetteur 1 récepteur	1 émetteur jusqu'à 20 récepteurs	jusqu'à 64 émetteurs ou récepteurs
R terminaison ligne	Sans	100 Ω	100 Ω
Distance maximale	15 m	1 200 m	1 200m
Débit maximal	128 000 bit.s ⁻¹	10 M bit.s ⁻¹	10 M bit.s ⁻¹

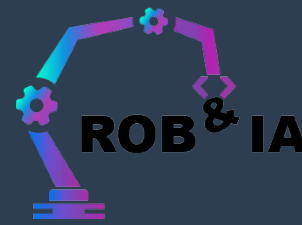
II – Transmission en bande de base



Transmission avec ou sans modulation du signal

- Lorsque la longueur de la liaison ne dépasse pas quelques centaines de mètres, les informations peuvent être transmises sans transformation du signal numérique en signal analogique.
 - Ce type de transmission est dit «**en bande de base**»
- Pour atteindre des distances plus grandes, on doit moduler un signal analogique, appelé «porteuse» à l'aide du signal numérique.
 - On utilise alors des **modulateurs/démodulateurs (modem)** pour retrouver le signal numérique d'origine.

II – Transmission en bande de base



- Les réseaux industriels sont dits **asynchrones**, ce qui veut dire qu'il n'y a pas de conducteur dédié dans le câble pour transmettre l'horloge.
 - La **reconstitution de l'horloge** par le récepteur se fait en fonction du signal de données reçues.
 - Cette reconstitution est obtenue en «mélangeant» le signal d'horloge au signal de données par le biais du **codage**.
- Le spectre du signal est concentré sur les faibles fréquences, qui sont les plus affaiblies.
- Les **perturbations** subies par le signal sont proportionnelles à la largeur de sa bande de fréquence.

II – Codages utilisé en bande de base



Trois types de codage utilisés

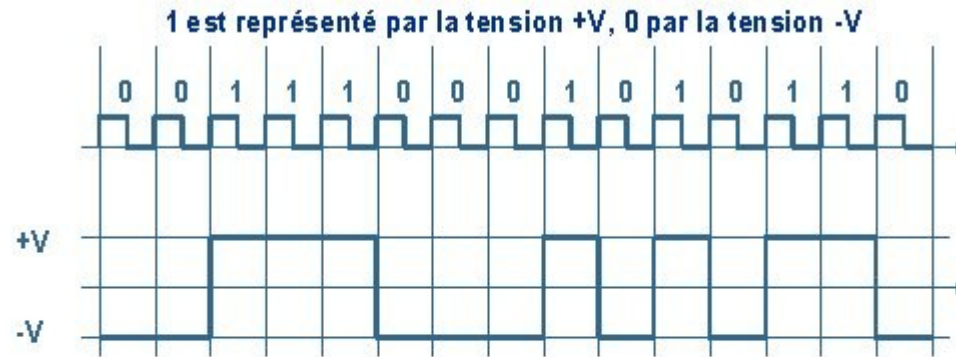
- NRZ - Non Retour à Zéro ou NRZI - Non Retour à Zéro Inversé
- Manchester ou Manchester différentiel
- Miller

II – Codages utilisé en bande de base



Codage NRZ (Non-Return-to-Zero)

*Exemple : UART,
RS232 (avec niveaux
inversés), Profibus*



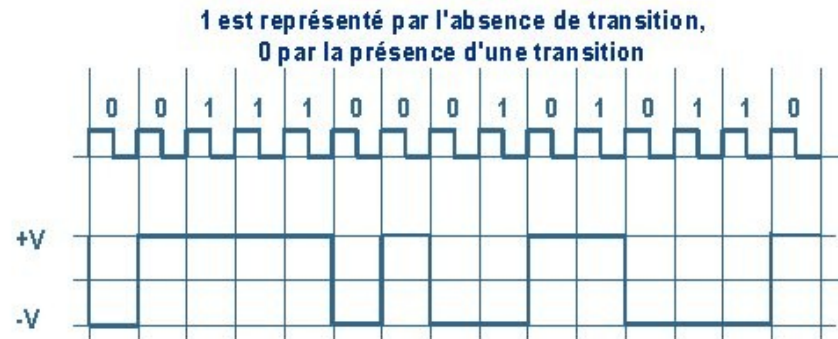
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">▪ Simplicité.▪ La rupture de ligne ne se confond pas avec le 0 logique.	<ul style="list-style-type: none">▪ Spectre très étendu.▪ Problème de la synchronisation du récepteur.

II – Codages utilisé en bande de base



Codage NRZI (Non-Return-to-Zero Inverted)

Exemple : bus USB



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Simplicité.• La polarité de la ligne est sans importance.	<ul style="list-style-type: none">• Un préambule de 0 est nécessaire à la synchronisation du récepteur.

II – Codages utilisé en bande de base



Codage Manchester



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">La présence d'un front à chaque 1/2 période facilite la synchronisation du récepteur.La valeur moyenne du signal est nulle.	<ul style="list-style-type: none">Spectre riche en harmoniques concentrées dans les hautes fréquences.Demande une bande passante double de celle de NRZ.

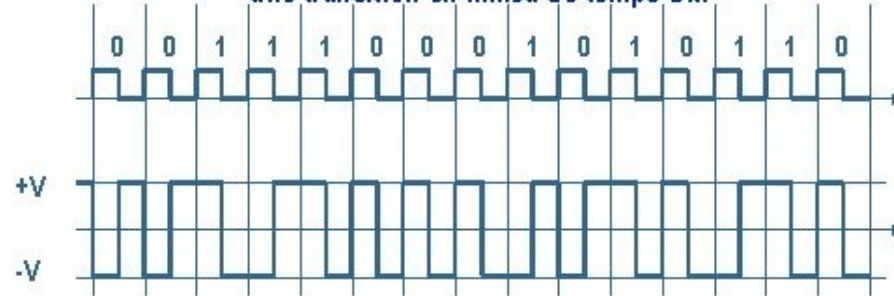
Exemple : 10 Base T Ethernet

II – Codages utilisé en bande de base



Codage Manchester différentiel

0 est représenté par une transition en début de temps-bit, 1 par l'absence d'une transition en début de temps-bit. Il y a toujours une transition en milieu de temps-bit.



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">La polarité de la ligne est sans importance.	

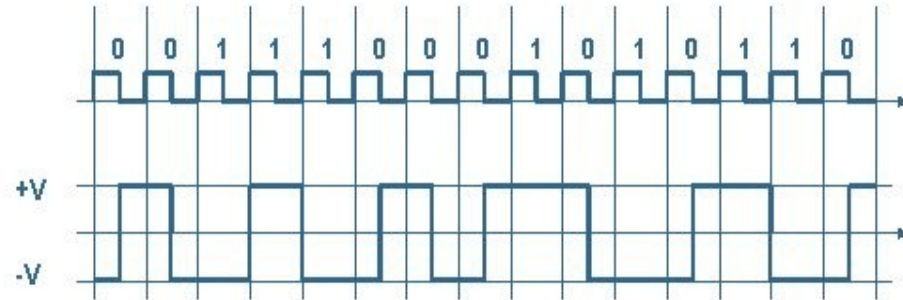
Utilisation :
LonWorks

II – Codages utilisé en bande de base



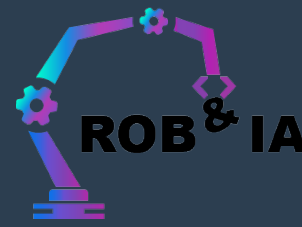
Codage Miller

C'est un codage Manchester dans lequel 1 transition sur 2 a été supprimée.



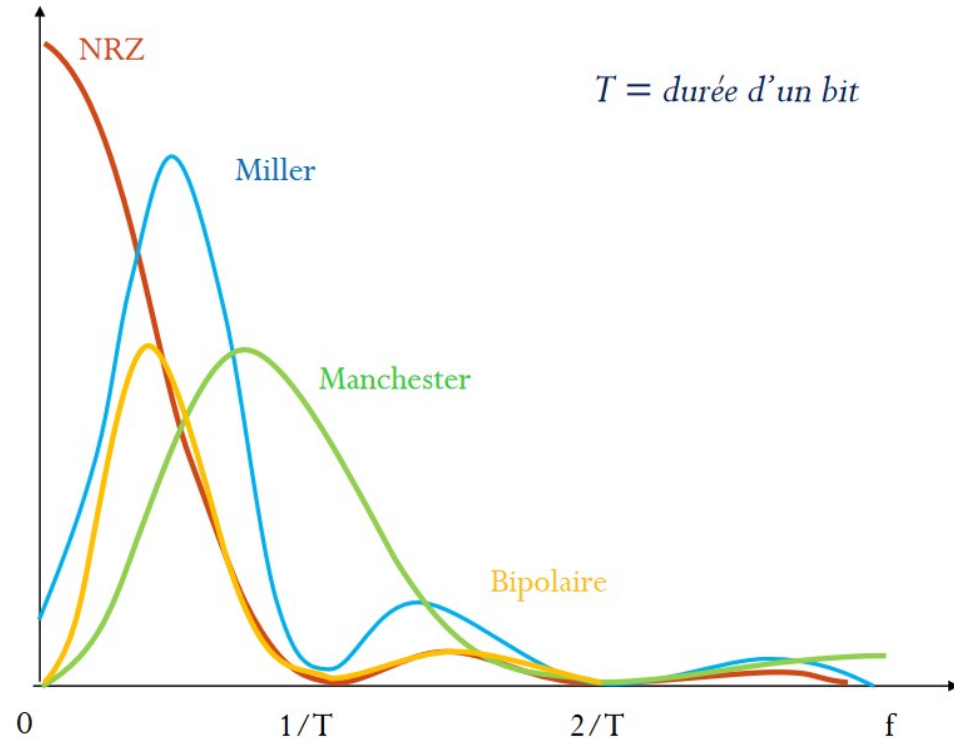
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">La bande passante est deux fois plus étroite que celle du codage Manchester.	

II – Codages utilisé en bande de base



Spectre en puissance des différents codes :

- Le code NRZ nécessite de faire passer des fréquences nulles, ce qui n'est pas toujours possible.
- Le code Manchester, qui est fréquemment utilisé, présente un spectre assez large, ce qui le rend plus vulnérable aux perturbations,
- Le code Miller, plus complexe à mettre en œuvre possède un spectre plus étroit. Il est donc adapté à des transmission sur des supports ayant une faible bande passante.



III – Exemple de liaison : IO-Link

Une liaison utilisée au plus près du process de fabrication :

- Permet le paramétrage à distance (IHM, PC, Cloud, ...) des capteurs et actionneurs d'un procédé de fabrication, sans avoir à les démonter.
- Permet de communiquer des données au format numérique à des automates.
 - Pas de perte de précision dues au conversion analogiques/numériques et numériques/analogiques successives.
- Interopérable car normalisé : IEC 61131-9

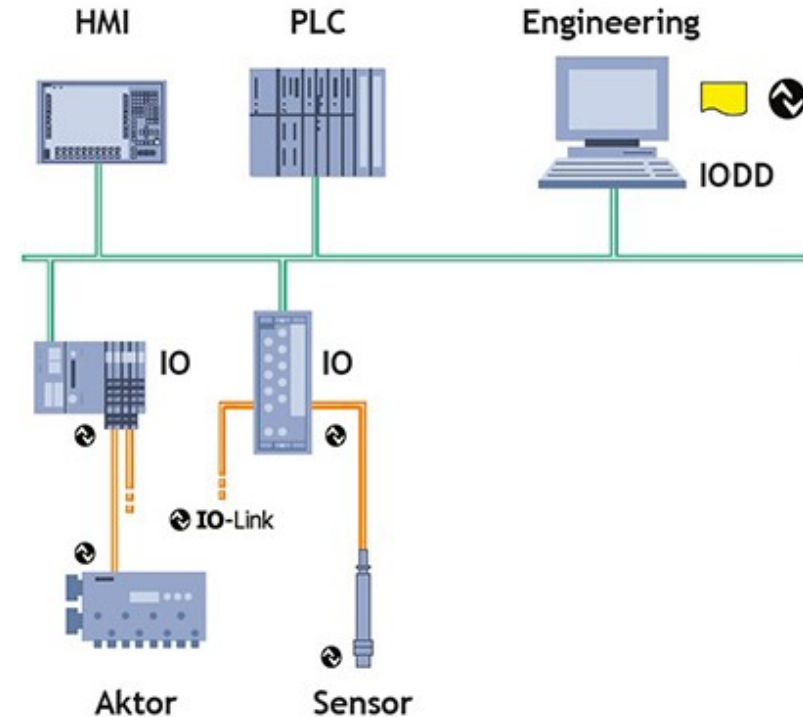


III – Exemple de liaison : IO-Link



Structure du réseau :

- Des Maîtres IO-Link, assurent le rôle de passerelle entre les capteurs et le réseau d'automates.
- Les maîtres IO-Link sont implantés au plus près des capteurs, en utilisant des connecteurs 4 ou 5 broches normalisés, ce qui accélère le temps de câblage.
- Si un appareil doit accéder aux paramètres d'un capteur IO-Link, Il faut lui charger le fichier IODD de ce capteur.
- Les fichiers IODD des constructeurs de matériel IO-Link sont disponibles sur <https://ioddfinder.io-link.com/>



III – Exemple de liaison : IO-Link



Une topologie en étoile :

- Une liaison point à point entre chaque port du maître et chaque esclave.
- Alimentation entre 20 et 30V
- La longueur des câbles reliant les maîtres aux esclaves vaut **20m au maximum**.

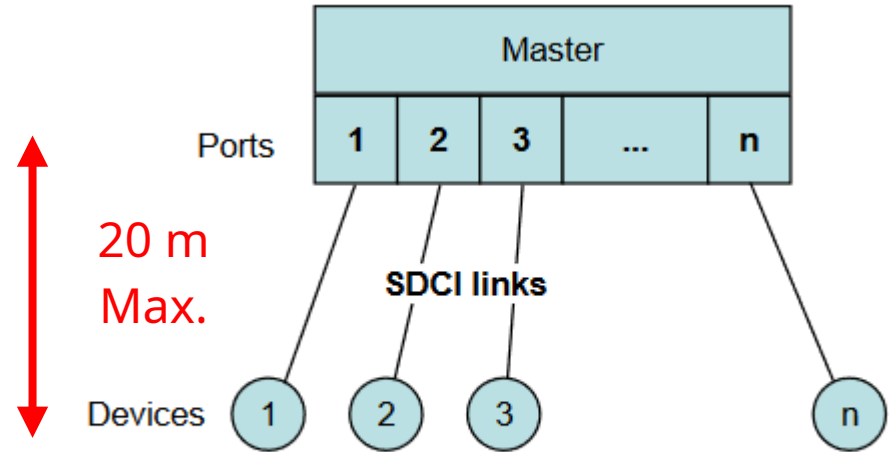
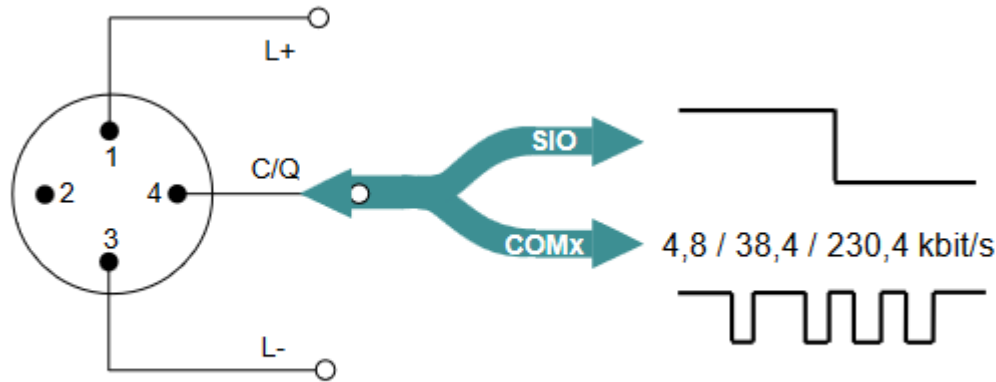


Figure 11 – Topology of SDCI

III – Exemple de liaison : IO-Link



Un connecteur à 4 ou 5 broches normalisé

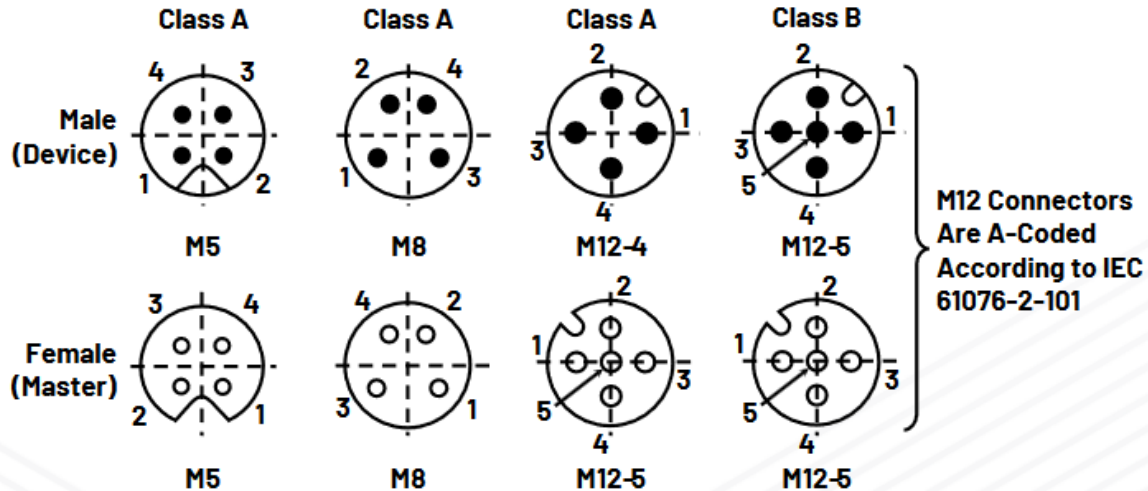


Pin layout: IEC 60947-5-2

Pin	Signal	Definition	Standard
1	L+	24 V	IEC 61131-2
2	I/Q	Not connected, DI, or DO	IEC 61131-2
3	L-	0 V	IEC 61131-2
4	Q	"Switching signal" (SIO)	IEC 61131-2
	C	"Coded switching" (COM1, COM2, COM3)	IEC 61131-9

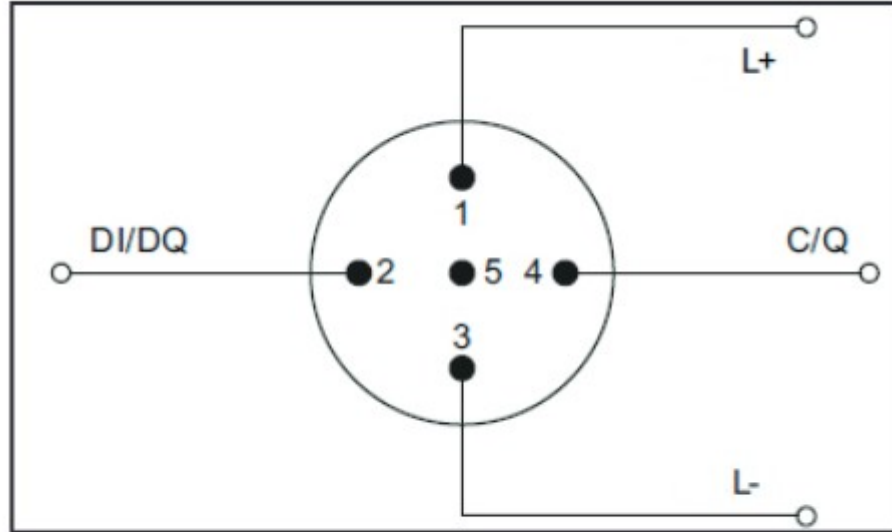
III – Exemple de liaison : IO-Link

Un connecteur à 4 ou 5 broches normalisé



III – Exemple de liaison : IO-Link

Connecteur 4 broches (class A)



En général
pour les
capteurs



Figure 4: Pin assignment Port Class A

III – Exemple de liaison : IO-Link

Connecteur 5 broches (class B)

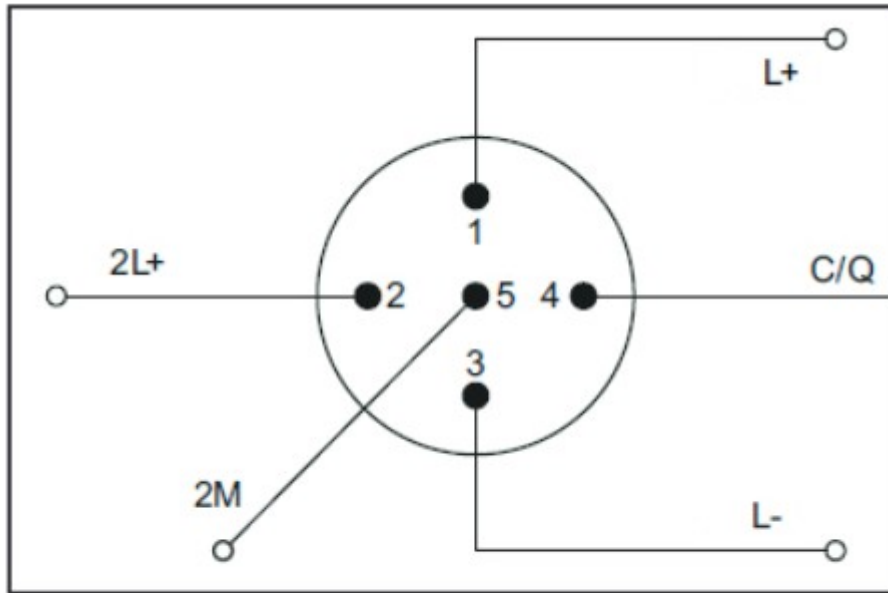
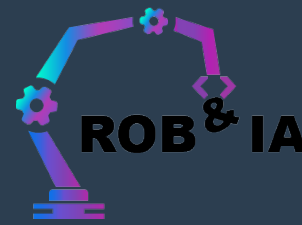


Figure 5: Pin assignment Port Class B

Une alimentation
supplémentaire
-> En général
pour les
actionneurs



III – Exemple de liaison : IO-Link

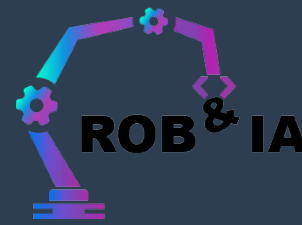


Deux types de transmission : cyclique / acyclique

En théorie, quatre types de données sont disponibles :

- Données de processus → données cycliques → de 0 à 32 octets de données de processus
- PQI → données cycliques → Etat du port
- Données appareil → données acycliques → paramétrage
- Événements → données acycliques → Alarmes

III – Exemple de liaison : IO-Link



Transmission des données

trois vitesses de transmission des données pour le mode de fonctionnement IO-Link :

- COM 1 = 4,8 kbauds
- COM 2 = 38,4 kbauds
- COM 3 = 230,4 kbauds

Chaque esclave n'accepte qu'une vitesse.

Le maître s'adapte à la vitesse de l'esclave

III – Exemple de liaison : IO-Link



Transmission des données

- Codage des données : NRZ
- Trame UART avec un bit de start, un bit de stop et un bit de parité paire.
- Signal logique haut : un front montant $> 13V$
- Signal logique bas : un front descendant $< 8V$

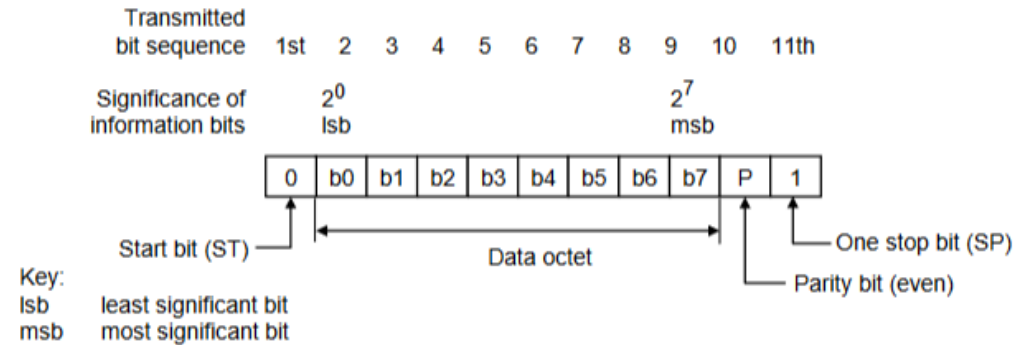
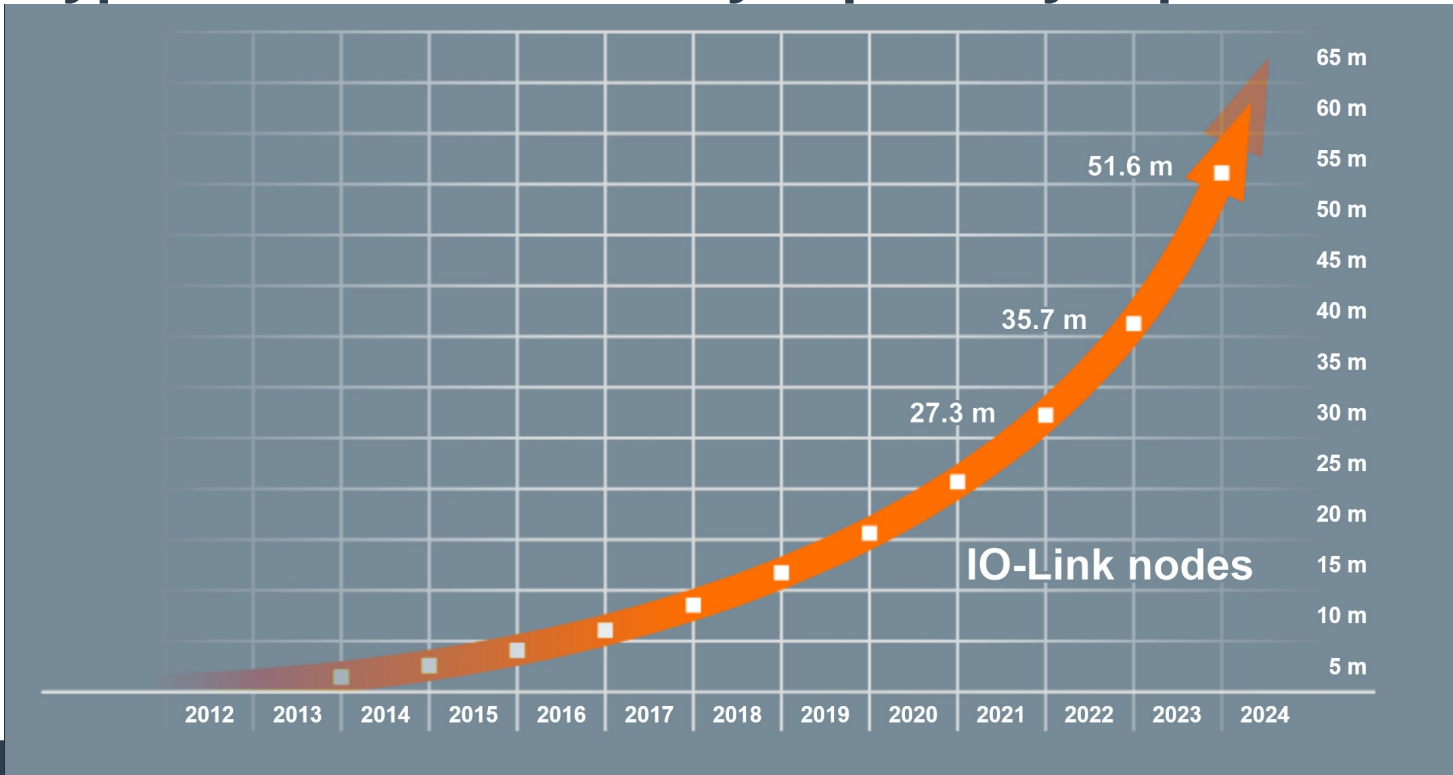


Figure 21 – Format of an SDCI UART frame

III – Exemple de liaison : IO-Link



Deux types de transmission : cyclique / acyclique

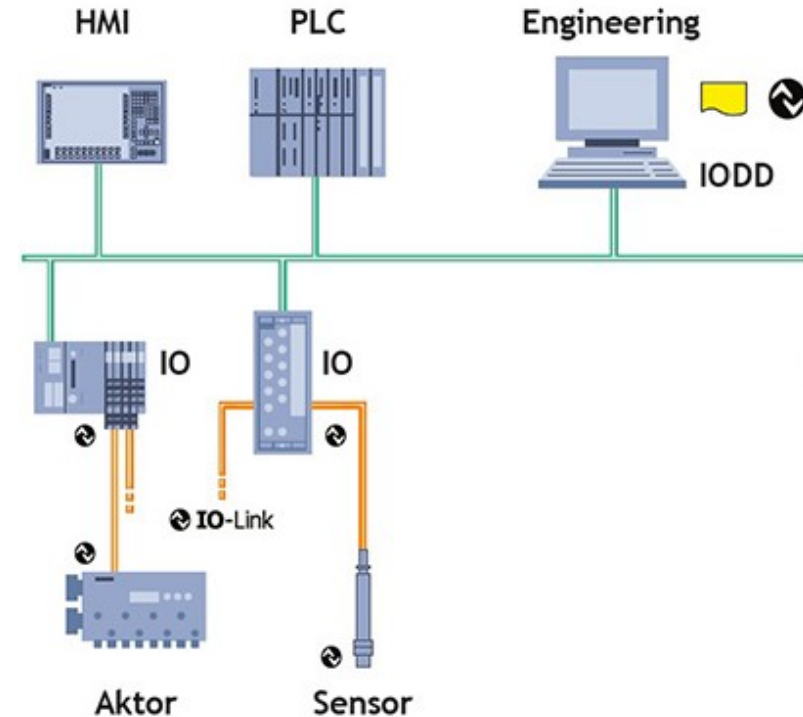


III – Exemple de liaison : IO-Link

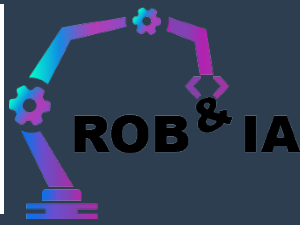


Structure du réseau :

- Des Maîtres IO-Link, assurent le rôle de passerelle entre les capteurs et le réseau d'automates.
- Les maîtres IO-Link sont implantés au plus près des capteurs, en utilisant des connecteurs 4 ou 5 broches normalisés, ce qui accélère le temps de câblage.
- Si un appareil doit accéder aux paramètres d'un capteur IO-Link, Il faut lui charger le fichier IODD de ce capteur.
- Les fichiers IODD des constructeurs de matériel IO-Link sont disponibles sur <https://ioddfinder.io-link.com/>



IV – liaison avec modulation : exemple de la liaison HART



- **Transmission HART**

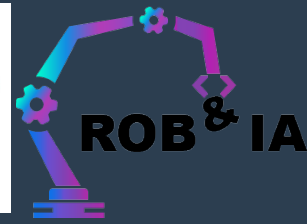
- Le protocole de communication HART est un cas particulier de transmission série asynchrone par MODEM. La transmission de l'information est faite par modulation **FSK (Frequency Shift Keying)**.

→ H.A.R.T. : Highway Adressable Remote Transducer.

- Utilisé pour configurer les capteurs à distance (industries de process)

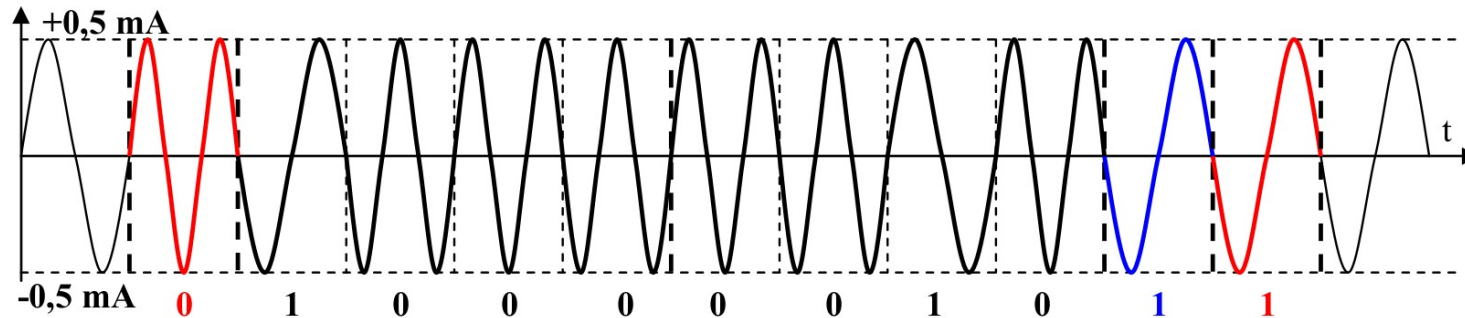
Niveaux logiques	0 logique	signal 2200 Hz
	1 logique	signal 1200 Hz
Vitesse	1200 bauds	
Trame	1 bit de start + 8 bits de données + 1 bit de parité impaire + 1 bit de stop	

IV – liaison avec modulation : exemple de la liaison HART



- **Transmission HART**

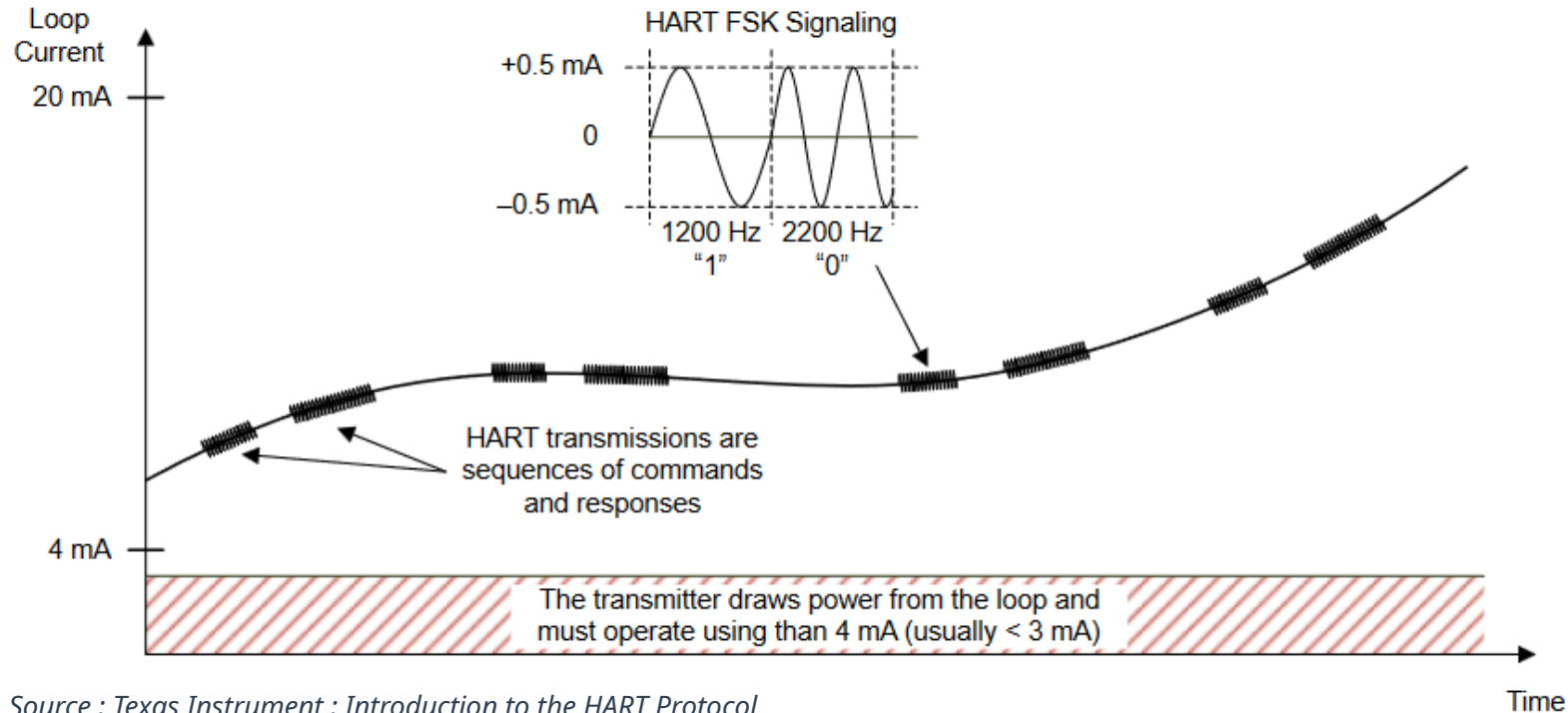
- Exemple: transmission du caractère " A "codé en ASCII 8 bits (65_{10} ou 41_{16}) :



IV – liaison avec modulation : exemple de la liaison HART



- Transmission HART

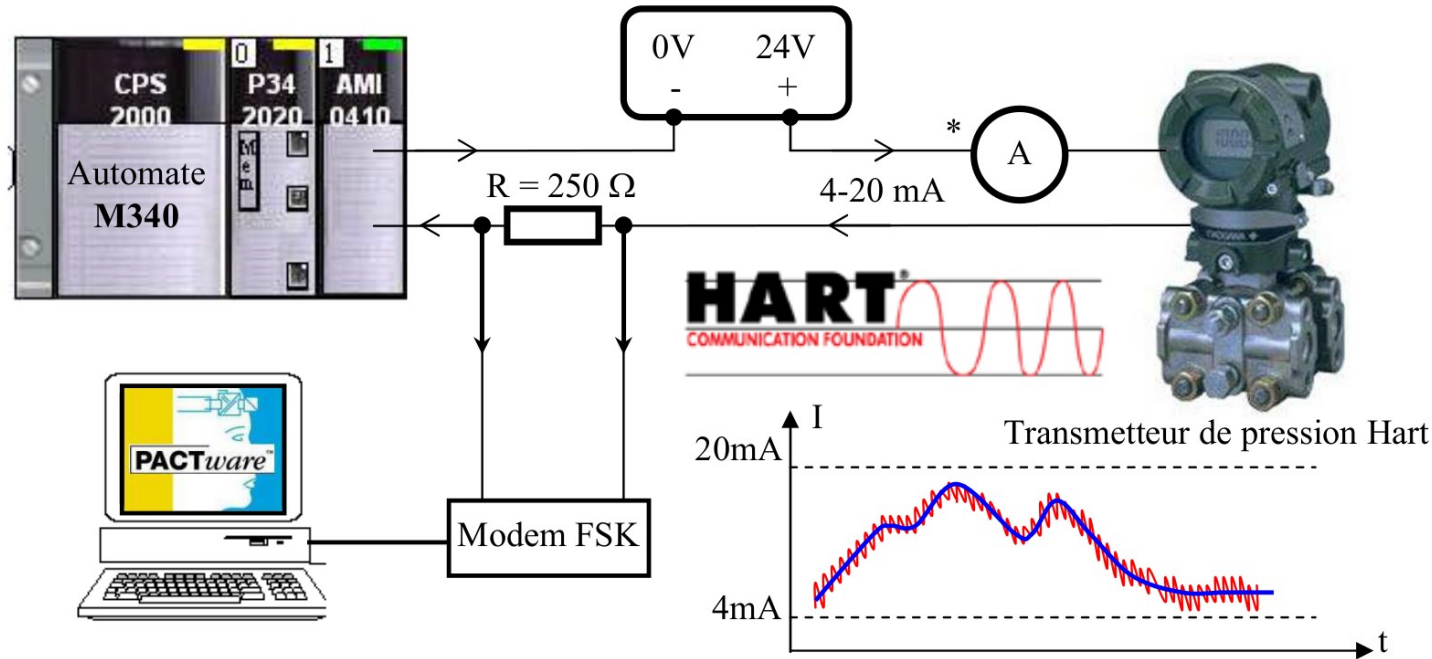


Source : Texas Instrument : Introduction to the HART Protocol

IV – liaison avec modulation : exemple de la liaison HART



- Transmission HART : raccordement du capteur



Permet la
configuration
des capteurs sur
site, sans arrêt
obligatoire de la
production



Fin

Bibliographie :

REYMOND, H. : *Cours Automatismes*, BTS CIRA

HÉROLD J.-F., GUILLOTIN O., ANAYA P. : *Informatique industrielle et réseaux en 20 fiches*, Dunod

LOHIER S., PRESENT D., *Transmissions et réseaux 2^{ème} éd.* , Dunod
https://en.wikibooks.org/wiki/Serial_Programming