

# TD Réseaux de terrain : Notions de base

© 2011-2018 tv <tvaira@free.fr> - v.1.1

<b>Notions de base</b>	<b>2</b>
Définition . . . . .	2
Modèle OSI . . . . .	2
Caractéristiques . . . . .	2
Spécificités . . . . .	2
Couche Physique . . . . .	3
Couche Liaison . . . . .	3
La sous-couche MAC ( <i>Medium Access Control</i> ) . . . . .	3
La sous-couche LLC ( <i>Logical Link Control</i> ) . . . . .	3
<b>Étude de cas</b>	<b>4</b>
ESI 2015 : Modbus . . . . .	4
ESNI 2016 : RS485 . . . . .	6
ESNI 2017 : Bus CAN . . . . .	8
ESI 2014 : Profibus et Bus AS-i . . . . .	11

# TD Réseaux de terrain

Les objectifs de ce TD sont de découvrir les spécificités des réseaux de terrain.

## Notions de base

### Définition

Un réseau de terrain est un bus de communication entre équipements de type industriel (capteurs, automates, actionneurs, ...) dans une zone géographique limitée (un « terrain »).

On parle aussi de « bus de terrain » ou de « réseau local industriel » (RLI).



Il existerait plus de 2000 bus de terrain différents! Les technologies les plus répandues sont : Modbus, Profibus, Interbus-S, bus ASI, Lonworks et bus CAN.

### Modèle OSI

Un réseau de terrain est basé le plus souvent sur la restriction du **modèle OSI à 3 couches** :

- la couche **Application** (facultative car elle peut être vide dans de nombreux réseaux)
- la couche **Liaison** qui doit assurer un transport fiable de quantité assez faible de données mais en respectant des contraintes « temps réel » (déterminisme)
- la couche **Physique** qui doit souvent respecter des contraintes fortes liées à l'environnement (température, vibrations, ...)

### Caractéristiques

C'est un réseau (bus) :

- bidirectionnel (*half-duplex* ou *full-duplex*),
- série,
- numérique (codage),
- multipoint.

### Spécificités

- Respect des contraintes de temps (déterminisme et temps réel)
- Quantité relativement faible de données (capteurs/actionneurs)
- Réseaux de faible taille (distance limitée)
- Sécurité de fonctionnement (robustesse, fiabilité)
- Nombre fixe d'équipements connectables

## Couche Physique

Assurer la transmission des bits sur le support physique d'interconnexion.

- Transmission synchrone ou asynchrone
- Codage numérique (NRZ, Manchester, ...)

Spécifier les caractéristiques électriques, mécaniques et fonctionnelles de la liaison physique.

- Mode unipolaire ou différentielle
- Liaison filaire (cuivre), sans fil (radio fréquence) ou optique (fibre)
- Connectique (DB9, RJ45, ...)

✎ Quelques normes : RS232, RS422, RS485

## Couche Liaison

Assurer l'acheminement sans erreurs des trames sur la ligne en utilisant les services de la couche Physique.

Le modèle OSI découpe cette couche en 2 sous-couches : MAC et LLC.

### La sous-couche MAC (*Medium Access Control*)

Gère l'accès multiple au support, définit le format et la définition des trames.

✎ Méthodes d'accès : CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) / CD (*Collision Detection*), Jeton, Maître/Esclave, ...

### La sous-couche LLC (*Logical Link Control*)

Gère l'échange de trames en utilisant les services de la sous-couche MAC.

- Service sans ou avec connexion (Etablissement - Dialogue - Fermeture), Acquiescement ou non des trames
- Contrôle de flux
- Contrôle des erreurs (détection, retransmission, ...)

✎ Exemple de normes : ModBus, Bus CAN, ...

# Étude de cas

## ESI 2015 : Modbus

### Étude d'une chaîne de laminage à froid

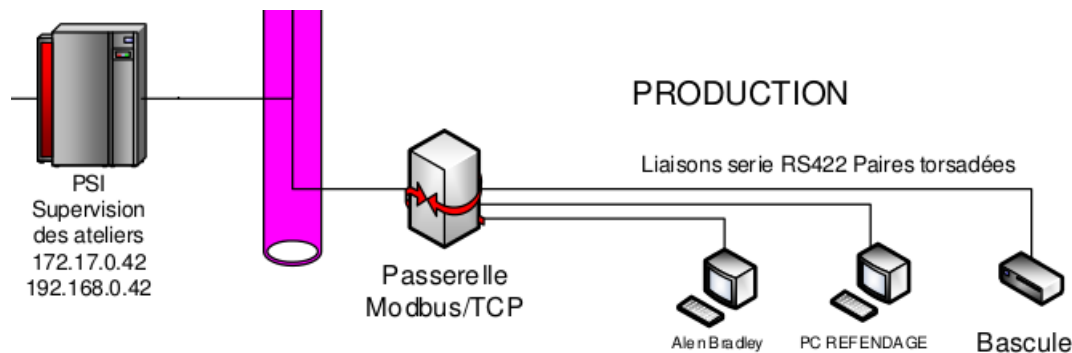
L'acier est issu d'un mélange de minerai de fer et de coke chauffé dans des hauts fourneaux. Après décapage, il est souvent fourni sous forme de bobines appelées *coils*.

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne différents matériaux comme le métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse tels que le papier ou les pâtes alimentaires. Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres contrarotatifs appelés laminoir.

Un laminoir est une installation industrielle ayant pour but la réduction d'épaisseur d'un matériau (généralement du métal). Il permet également la production de barres profilées.

### Documents à consulter : Annexe 4 : MODBUS

Le PC « PSI de Supervision des ateliers » est connecté à la « bascule » de pesage des tôles via une « passerelle Modbus/TCP ».



La bascule de pesage implémente le protocole Modbus pour communiquer avec la passerelle Modbus/TCP.

**Question 1.** Quel est le principe de l'arbitrage maître / esclave utilisé par Modbus ?

Réponse

**Question 2.** Donner le rôle du CRC dans la trame Modbus RTU.

Réponse

Le PC « PSI de Supervision des ateliers » accède au résultat du pesage des tôles effectué par la balance avec la fonction 0x03 Modbus : *Read Holding Register* (Lecture de N mots de sortie consécutifs).

Trame de requête Modbus RTU permettant d'interroger la bascule :

04	03	00	02	00	01	25	9F
----	----	----	----	----	----	----	----

**Question 3.** Souligner en traits continus le PDU Modbus et en traits pointillés l'ADU Modbus.

**Question 4.** Analyser la trame de requête ci-dessous en donnant le nom, la valeur et la signification de chacun des champs.

04	03	00	02	00	01	25	9F
----	----	----	----	----	----	----	----

Le résultat du pesage est stocké dans un registre Modbus (2 octets) à l'adresse 0x02 en kg au format d'un entier 16 bits.

**Question 5.** Donner la trame de réponse de la balance (sans calculer le CRC) pour une pesée de 150 kg. Indiquer la valeur des octets en hexadécimal. Commenter chacun des champs de la trame de réponse.

					CRC	CRC
--	--	--	--	--	-----	-----

**Question 6.** Calculer le temps de transmission de la trame de requête en considérant les paramètres suivants de la liaison série : Vitesse : 9600 bits/s, Longueur des données : 8 bits, Parité : Paire, Nombre de bits de stop : 1.

**Question 7. Bonus :** La passerelle ModbusTCP est-elle maître ou bien esclave sur le réseau RS422 PRODUCTION ?

Réponse

**Question 8. Bonus :** Quel est le numéro de port utilisé par ModBus TCP ?

Réponse

**Question 9. Bonus :** Compléter la trame Modbus TCP pour une requête.

Source	Destination	Protocol	Info
192.168.0.42	192.168.0.43	Modbus/TCP	query [ 1 pkt(s)]

Ethernet II, Src: (00:16:d3:64:8e:14), Dst: (00:20:4a:b2:38:6c)

Internet Protocol, Src: (192.168.0.42), Dst: (192.168.0.43)

```
Transmission Control Protocol, Src Port: (30261), Dst Port: (502)
```

```
Modbus/TCP
```

```
  transaction identifier:
```

```
  protocol identifier:
```

```
  length:
```

```
  unit identifier:
```

```
Modbus
```

```
  .. .. .
```

```
  .. .. .
```

```
  .. .. .
```

```
00 20 4a b2 38 6c 00 16 d3 64 8e 14 08 00 45 00
```

```
00 69 26 56 40 00 80 06 be 74 c0 a8 00 2a c0 a8
```

```
00 2b 76 35 01 f6 87 5a 7a 9b 04 2d 9a b8 50 18
```

```
ff ff 16 20 00 .. .. .
```

```
.. .. .
```

## ESNI 2016 : RS485

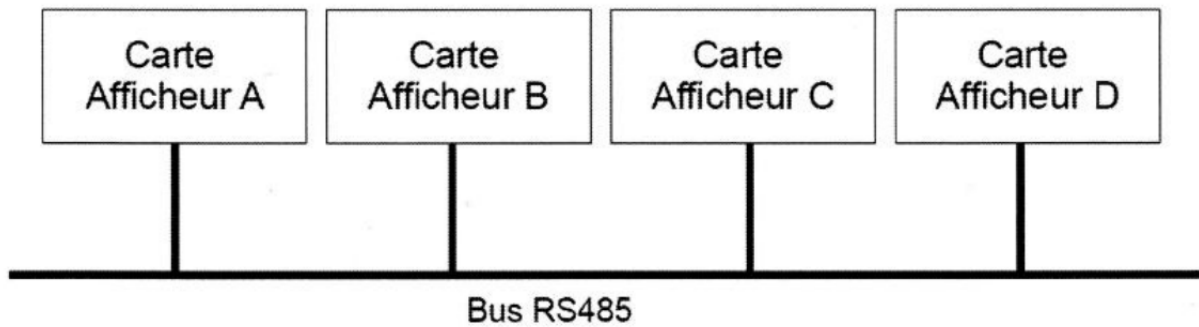
### Test et Suivi de Cartes Electroniques

L'entreprise est spécialisée dans la conception, la réalisation et la commercialisation de systèmes d'affichage dynamiques. Les panneaux d'affichage sont constitués d'une ou plusieurs cartes électroniques.

Certains de ces panneaux d'affichage peuvent être en service 24h sur 24h et sont, entre autres, utilisés pour sécuriser des zones routières et autoroutières. Ils doivent donc assurer une continuité de service maximale.

Les cartes électroniques composant ces panneaux sont réalisées par des sous-traitants qui font un certain nombre de tests avant de les livrer. Les résultats de ces tests sont transmis à l'entreprise et stockés. Cette dernière réalise et stocke aussi ses propres tests. Chaque carte est marquée par un identifiant. L'entreprise a pour objectifs de pouvoir assurer la traçabilité des cartes électroniques qu'elle intègre dans ses panneaux d'affichages.

Plusieurs cartes afficheurs peuvent être montées dans un même équipement, comme dans un Panneau à Message Variable (PMV). Il est alors possible d'interroger le PMV pour lui demander la liste de toutes les cartes qu'il contient.



*Les différentes cartes d'un même équipement sont interconnectées par l'intermédiaire d'un bus RS485*

Le bus fonctionne selon le modèle "maître / esclave", chaque carte afficheur étant un esclave. Les caractéristiques du bus utilisé sont disponibles Annexe 3.

**Question 10.** Expliquer le rôle du composant maître.

*Réponse*

**Question 11.** Justifier le choix de la liaison RS485 en comparant avec d'autres liaisons séries.

*Réponse*

L'annexe 4 présente le protocole utilisé par les équipements de type PMV.

**Question 12.** Expliquer le rôle du BCC présent dans les trames.

*Réponse*

Le banc de test est automatisé. Les cartes testées défilent au rythme d'une par seconde. Chaque test commence par la lecture du numéro de carte en interrogeant le processeur. Cette interrogation se fait selon le modèle du protocole TEDI-LCR. La trame envoyée pour demander ce numéro ainsi que la trame de réponse comportent vingt caractères toutes les deux. Chaque caractère est codé sur 7 bits.

Le format de la transmission est : 1 start, 7 bits de données, parité paire, 1 stop. Vitesse de transmission : 500 kbits/s.

**Question 13.** Calculer la durée de transmission totale pour cette interrogation.

*Réponse*

Pour un des tests, le technicien veut obtenir la date enregistrée dans le PMV qui a pour adresse Y260. Le protocole utilisé se trouve en Annexe 4 et la table ASCII en annexe 5.

**Question 14.** Écrire la trame qui doit être envoyée au panneau pour obtenir la date. Vous justifierez le calcul du BCC.

Réponse

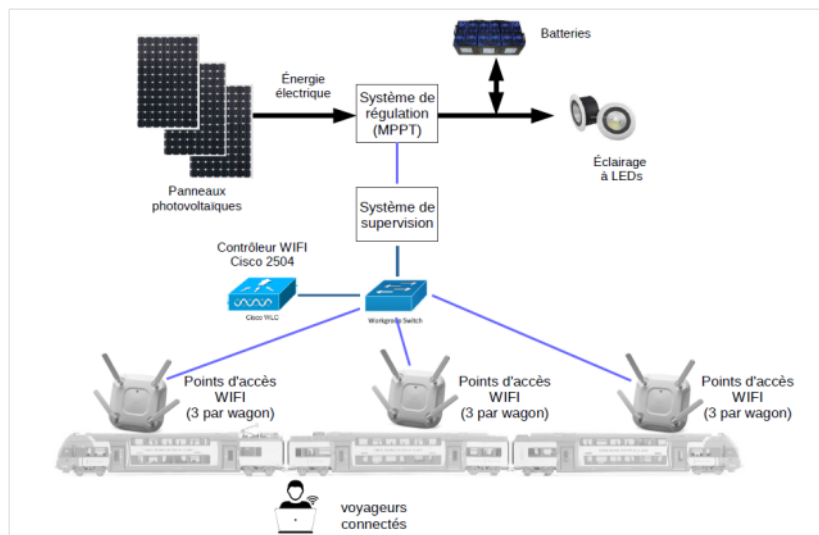
## ESNI 2017 : Bus CAN

### Supervision d'une production d'énergie électrique photovoltaïque

Cette étude porte sur la supervision d'une production d'énergie électrique photovoltaïque, produite sur le toit d'un train régional. Le train est mis en service par une grande compagnie ferroviaire nationale, associée à la région « Pays de la Loire ». Cette production d'électricité permet d'alimenter le système d'éclairage à bord du train et le réseau électrique utilisés par les voyageurs (ordinateur portable, tablette, téléphone...), via les prises électriques à bord du train.

L'objectif de ce système est de minimiser la consommation d'énergie en provenance du réseau d'alimentation ferroviaire standard. Attention, il ne s'agit pas ici d'alimenter la propulsion du train avec l'énergie produite par les panneaux solaires. Ceci est tout à fait impossible !

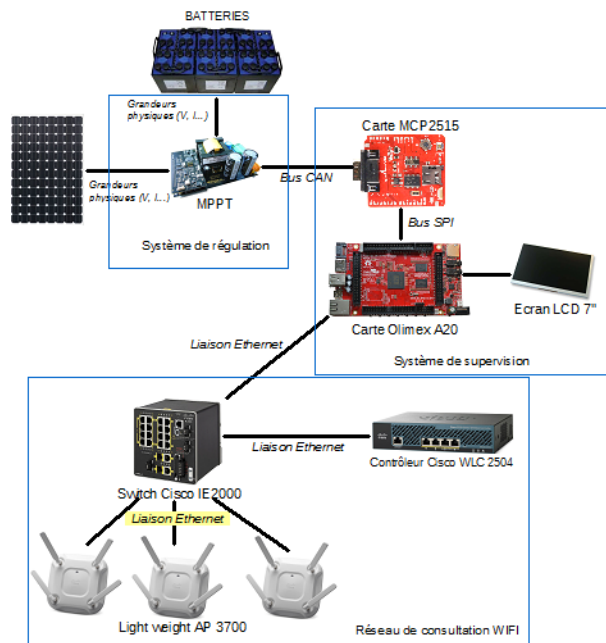
Il permet de mettre au point une technologie photovoltaïque adaptée aux contraintes ferroviaires et de capitaliser les connaissances et le savoir-faire dans le domaine du photovoltaïque pour se préparer à répondre aux sollicitations futures concernant cette technologie.



Le système de production d'énergie est constitué de panneaux photovoltaïques, d'un système de régulation de l'énergie produite (MPPT), de batteries et du système d'éclairage. Le MPPT (Maximum Power Point Tracker) contrôle la production d'énergie en provenance des panneaux solaires et gère le stockage de l'énergie électrique dans les batteries. Le système d'éclairage est alimenté par l'énergie stockée dans les batteries.

L'énergie consommée par l'éclairage est totalement produite par les panneaux solaires.





Le MPPT permet de récupérer les informations sur l'état de charge des batteries et la production d'énergie électrique. Il communique ces informations au système de supervision par le bus CAN. Le système de supervision est constitué de la carte MCP2515, qui est un contrôleur CAN, et de la carte Olimex.

La carte Olimex offre quatre services :

- récupération des informations en provenance du bus CAN via la carte MCP2515 ;
- stockage des informations dans une base de données locale ;
- affichage des mesures sur un écran LCD ;
- hébergement d'un site Web qui présente aux passagers les informations sur la production électrique des panneaux solaires.

L'objectif de cette partie est de valider l'architecture de communication sur le bus CAN entre le MPPT et le système de supervision.

Le MPPT mesure les caractéristiques (tension et courant) de l'énergie produite par les panneaux solaires, la tension des batteries et la température du système. Ces informations sont encapsulées dans une trame CAN à destination du système de supervision.

L'échange d'information entre le MPPT et le système de supervision fonctionne selon un schéma trame de requête / trame de données comme suit :

- le système de supervision envoie une **trame de requête** ; La trame de requête est émise toutes les 30 minutes.
- le MPPT répond à cette requête en renvoyant une **trame de données** contenant les informations sur la production d'énergie.

L'ensemble des informations nécessaires pour répondre à cette partie se trouve dans les documentations PP1 et PP2. Le format des trames CAN est présenté en documentation PP2.

**Question 15.** Indiquer le rôle des champs SOF (*Start Of Frame*), EOF (*End Of Frame*) et CRC dans une trame CAN.

Réponse

Afin d'acquérir les données du MPPT, le système de supervision doit émettre une trame de requête CAN avec « MPPT ID » = 0001 et 7 octets de données attendus.

**Question 16.** Dans le document ci-dessous, compléter en binaire le contenu de la trame de requête CAN, tout en faisant apparaître les différents champs.

		<b>CRC (16 bits)</b>		
--	--	------------------------------	--	--

Le MPPT mesure la tension et le courant en provenance des panneaux solaires ( $U_{IN}$  et  $I_{IN}$ ), la tension en provenance des batteries ( $U_{OUT}$ ) et la température du système ( $T_{AMBIANTE}$ ).

**Question 17.** À partir de la documentation PP1, relever les tensions typiques de fonctionnement, en entrée et en sortie du MPPT, le courant maximum en entrée du MPPT, les températures maximum et minimum de fonctionnement du MPPT.

*Réponse*

Les mesures effectuées par le MPPT sont numérisées puis encapsulées dans une trame de données CAN.

On a capturé une trame de données émise par le MPPT. Le contenu du champ DATA de cette trame est le suivant :

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	0	0	0	1	0	0	1	1
Byte 2	0	1	1	0	1	1	0	1
Byte 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Byte 4	1	0	0	0	1	1	1	1
Byte 5	0	0	0	0	0	0	1	1
Byte 6	0	1	1	0	1	1	0	1
Byte 7	0	0	0	1	1	0	0	1

**Question 18.** Préciser les valeurs de  $U_{in}$ ,  $I_{in}$ ,  $U_{out}$  et température ambiante sous forme hexadécimale et décimale, et calculer les grandeurs correspondantes. Utiliser la documentation PP1 pour la mise à l'échelle des valeurs lues.

*Réponse*

**Question 19. Bonus :** Calculer la durée de transmission de la trame CAN de données.

Réponse

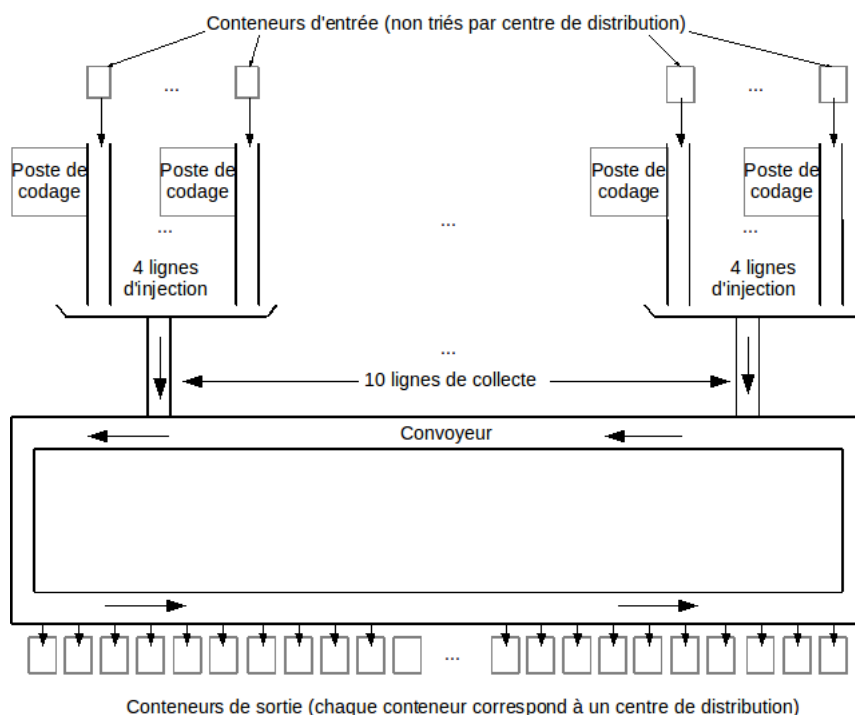
## ESI 2014 : Profibus et Bus AS-i

### Plateforme de tri automatisé d'objets postaux

L'étude porte sur la plateforme de tri entièrement automatisée de la société STP qui est une entreprise du groupe de La Poste spécialisée dans le traitement industriel et l'acheminement des objets postaux.

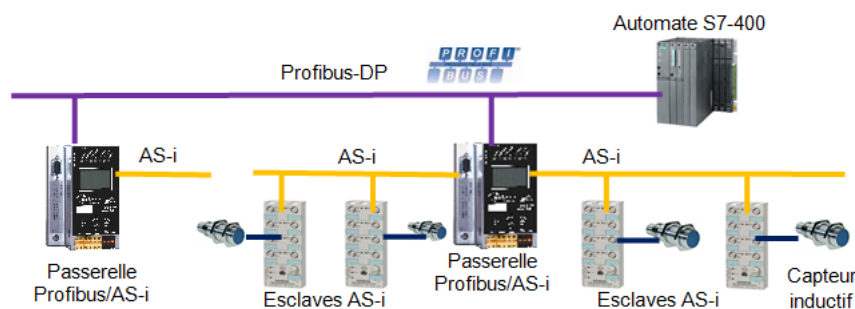
Les conteneurs chargés d'objets postaux à trier, sont déposés par les camions dans l'aire de stockage. Les objets postaux introduits dans le système de tri sont transportés jusqu'aux conteneurs de sortie correspondant aux centres postaux de distribution. Les conteneurs sont ensuite acheminés par camion jusqu'aux centres de distribution.

Le système de tri peut être schématisé ainsi :



Le convoyeur du système de tri est commandé par un automate industriel du type Siemens S7-400.

Afin de contrôler le fonctionnement du convoyeur, 80 capteurs inductifs tout ou rien sont placés tout au long des 574,5 m de celui-ci. Pour simplifier le câblage, le bus AS-i est utilisé pour relier les 80 capteurs à l'API Siemens S7-400 via les esclaves AS-i et les passerelles Profibus/AS-i.



Les caractéristiques du système de tri sont :

Désignation	Données
Longueur du convoyeur	574,50 m
Vitesse du convoyeur	2.0 m/s
Nombre de tapis éjecteurs	1149 unités
Nombre de tapis d'injection	40 unités

Les réseaux Profibus-DP et AS-i sont des bus de terrain qui font partie des réseaux industriels.

**Question 20.** Quels sont les numéros et les noms du modèle OSI utilisés par les bus de terrain ?

Réponse

**Question 21.** Donner la topologie physique des réseaux de terrain Profibus-DP et AS-i.

Réponse

L'automate S7-400 ne dispose que des interfaces de réseau Ethernet et Profibus-DP. Pour lire l'état des capteurs inductifs reliés au bus AS-i, il faut utiliser une passerelle Profibus-DP/AS-i.

**Question 22.** Quel est le rôle de cette passerelle ? (Cocher les bonnes réponses)

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Transmet toutes les trames sur ces deux réseaux                          |
| <input type="checkbox"/> | Permet de relier 2 segments d'un réseau utilisant des médiums différents |
| <input type="checkbox"/> | Permet de relier 2 réseaux de protocoles différents                      |
| <input type="checkbox"/> | Permet de diminuer le nombre de collisions sur ce réseau                 |
| <input type="checkbox"/> | Filtre les trames en fonction des adresses MAC                           |

**Question 23.** Donner la méthode d'accès au support de transmission du bus AS-i.

*Réponse*

On se propose de déterminer les éléments du bus AS-i.

**Question 24.** Donner les caractéristiques du bus AS-i en complétant le tableau ci-dessous.

La longueur maximale du bus AS-i	
Le nombre d'entrées/sorties sur une station d'esclave	
Nombre maximum d'esclaves sur un bus	
Nombre de bits de la trame de requête	
Nombre de bits de la trame de réponse	
Nombre de bits de « pause émission »	
Nombre de bits de « pause maître »	
Le nombre total de bits pour effectuer une transaction	

La longueur totale du convoyeur du système de tri est de 574,5m.

**Question 25.** Déterminer le nombre de stations maîtres du bus AS-i à utiliser pour couvrir entièrement le convoyeur.

*Réponse*

**Question 26.** Choisir une passerelle Profibus-DP/AS-i en donnant sa référence et le nombre de passerelles à utiliser. Vous devez privilégier le choix le plus économique répondant aux besoins du système.

Référence de la passerelle	Nombre

La référence des stations esclaves utilisés est 3RK1200-0CQ20-0AA3.

**Question 27.** Donner le nombre maximal de capteurs et d'actionneurs qu'on peut relier sur chacune de ces stations.

*Réponse*

**Question 28.** Vérifier si il est possible de relier l'ensemble des capteurs inductifs sur le bus AS-i.

*Réponse*

On veut vérifier que le bus AS-i est un bus suffisamment performant pour répondre aux besoins du système de tri.

**Question 29.** Calculer la durée totale d'une transaction entre une station maître AS-i et une station esclave.

*Réponse*

**Question 30.** Calculer le temps mis par la station maître AS-i pour interroger ses 31 stations esclaves.

*Réponse*

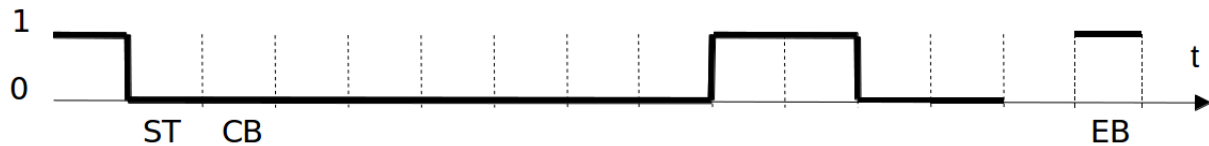
**Question 31.** Pourquoi le réseau AS-i est-il déterministe ?

*Réponse*

Une station esclave AS-i vient d'être remplacée par le technicien de maintenance. À la mise sous tension, la station maître AS-i de ce bus a émis la trame de requête suivante :

**Question 32.** Donner l'état logique du bit de contrôle de parité de la trame de requête puis compléter le chronogramme ci-dessous.

*Réponse*



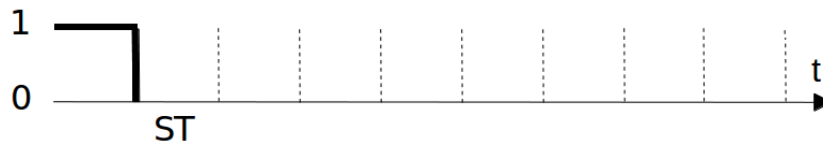
**Question 33.** Après avoir relevé la valeur des bits A0 à A4 de la trame de requête ci-dessus, donner la signification de cette trame. À quelle station esclave cette trame est-elle destinée ?

Réponse

**Question 34.** Relever la valeur des bits I0 à I4 de la trame de requête de la station maître AS-i. À quoi correspond cette valeur ?

Réponse

**Question 35.** Compléter le chronogramme de la trame de réponse de la station esclave concernée par la requête de la station maître AS-i.



Pour transmettre les données sur le support de transmission, le transmetteur AS-i transforme la suite de 1 et 0 en une suite d'impulsions de tension. Cette transformation est réalisée grâce à un traitement particulier comportant un codage de type Manchester et une modulation de type  $\sin^2$ .

**Question 36.** Compléter les chronogrammes de la trame de requête de la station maître AS-i (le bit de contrôle de parité PB, le codage Manchester et les signaux sur le câble AS-i).

