

Extrait du référentiel : BTS Systèmes Numériques option A (Informatique et Réseaux)		Niveau(x)
S7. Réseaux, télécommunications et modes de transmission		
S7.6. Réseaux locaux industriels (RLI)	Ethernet, Ethernet industriel temps réel, CAN, I2C, ASI, etc.	3
	Configuration matérielle / logicielle	3

## Objectifs du cours :

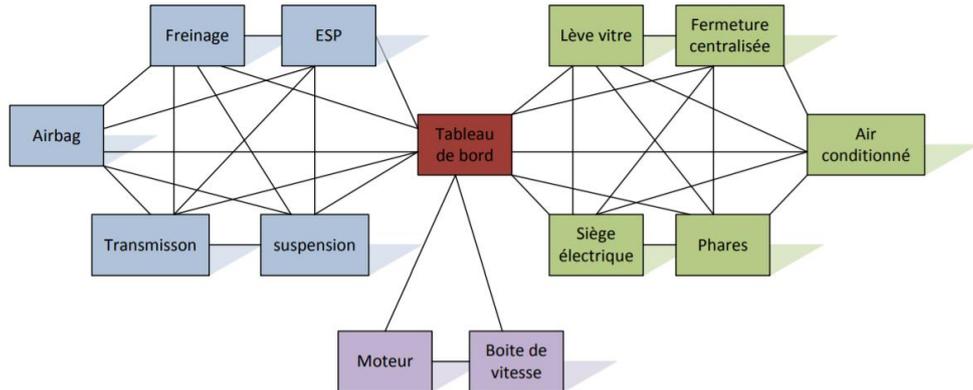
Ce cours traitera essentiellement les points suivants :

- Présentation du bus CAN
- Le bus CAN et le modèle OSI
- Propriétés physiques du bus CAN
  - le bus CAN embarqué dans les véhicules
  - niveau dominant et niveau récessif
  - arbitrage
  - version du bus CAN et niveaux électriques
  - les trames du bus CAN
  - constitution d'une trame de données
  - fiabilité et protection du bus CAN
- Exercices

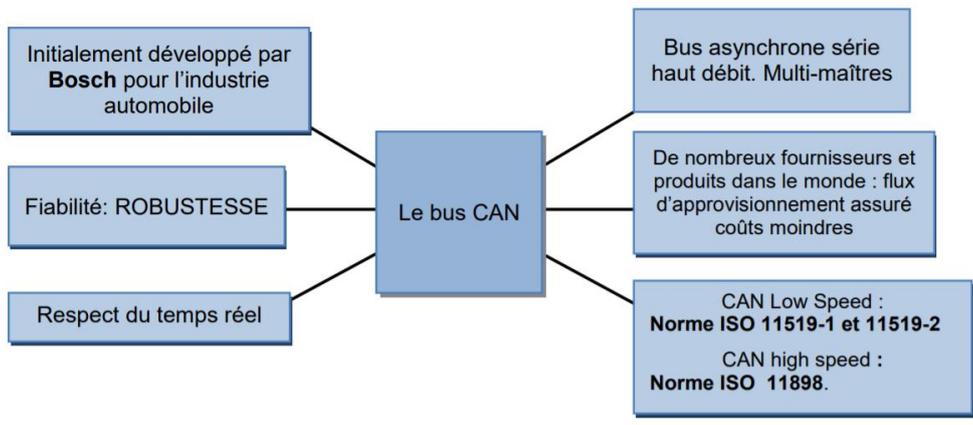
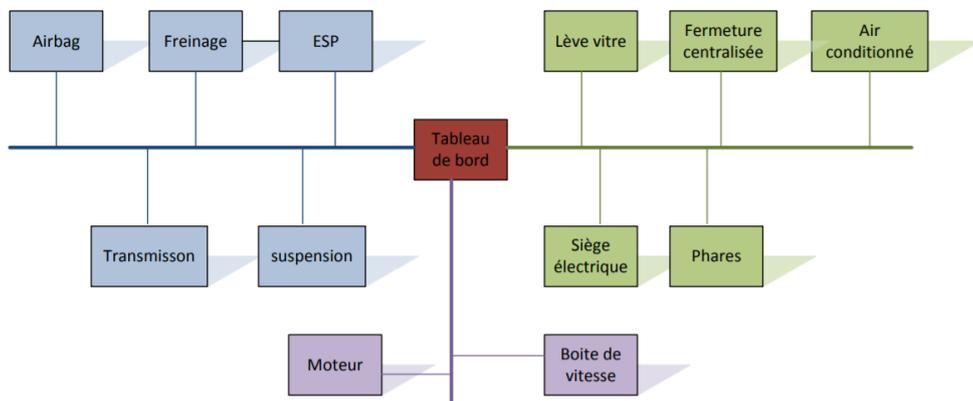
### PRESENTATION

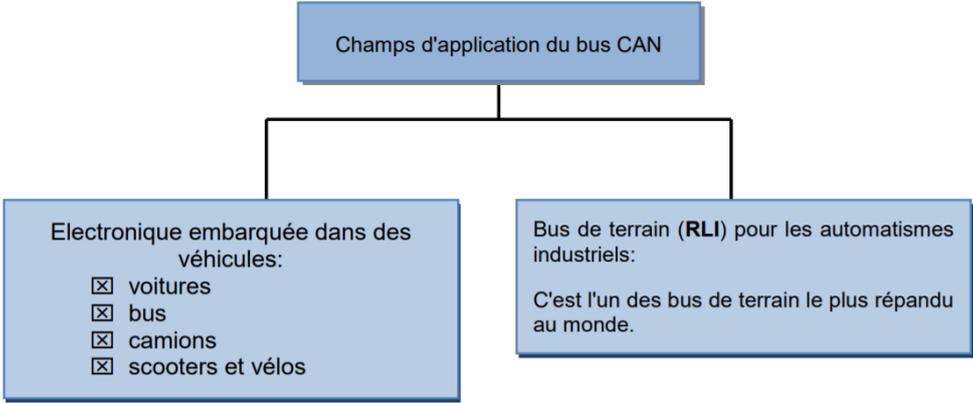
La sécurité et le confort des utilisateurs dans les véhicules ont entraîné une augmentation des organes électroniques.

Le câblage point à point (organe à organe) est devenu très complexe et très couteux en câble. On est passé de 200 m à 2000 m de câble dans un véhicule entre 1960 et 2000.



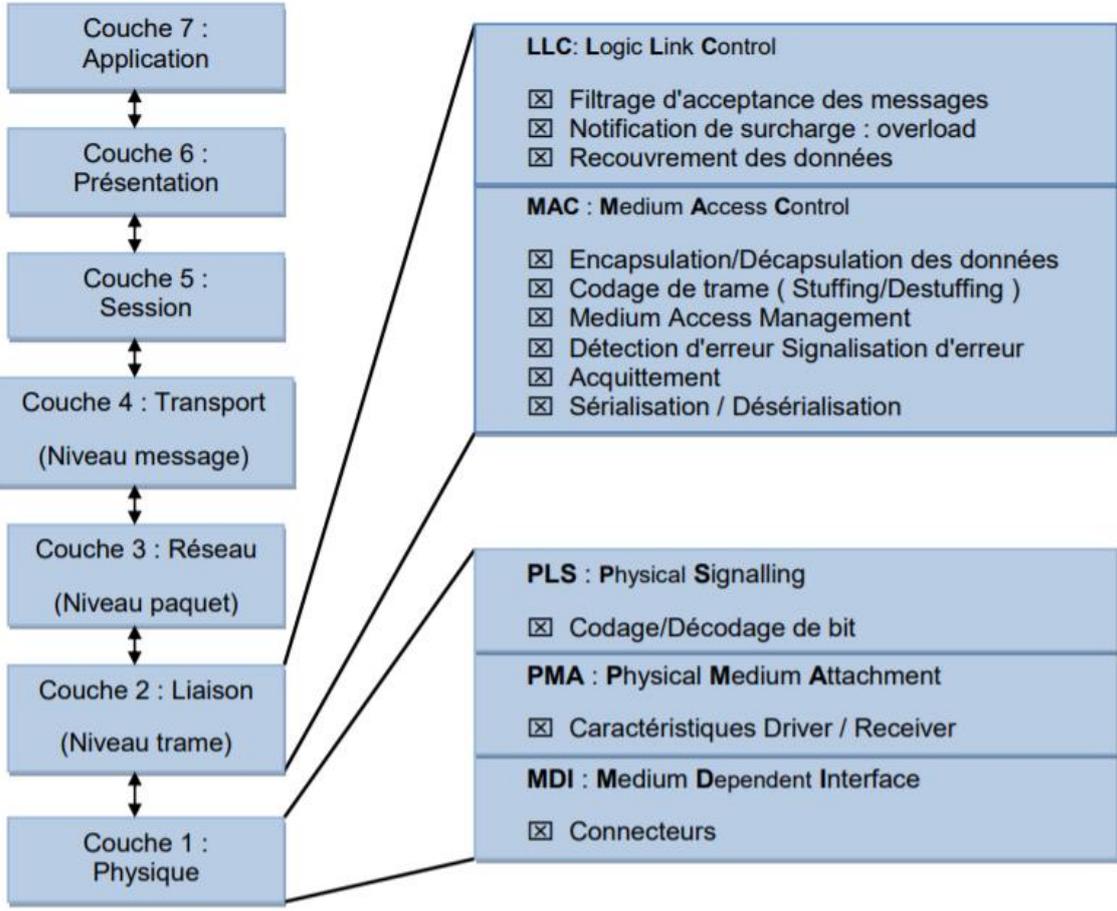
D'où la nécessité d'utiliser le multiplexage qui permet la communication à tour de rôle sur le même câble.





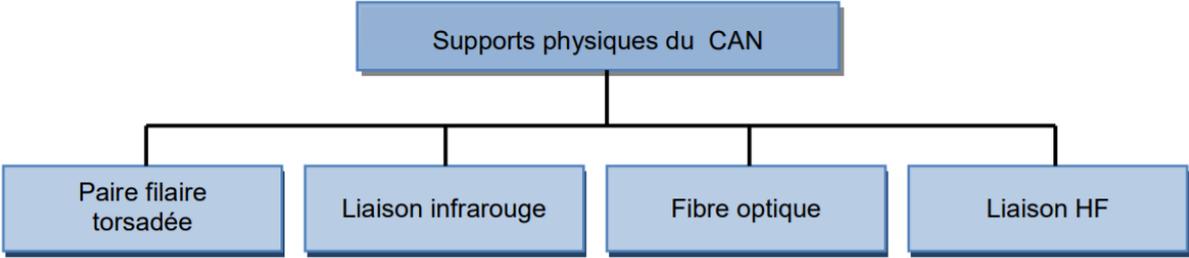
## LE BUS CAN ET LE MODELE OSI

**i** Le protocole CAN (Control Area Network) ne définit que la couche liaison de données (couche 2) et la couche physique (couche 1).



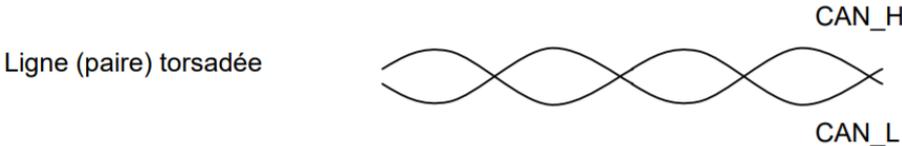
**i** La couche 7 (APPLICATION) peut être implémentée sous forme d'un protocole supplémentaire (CANOpen par exemple).

**PROPRIETES PHYSIQUES DU BUS CAN**

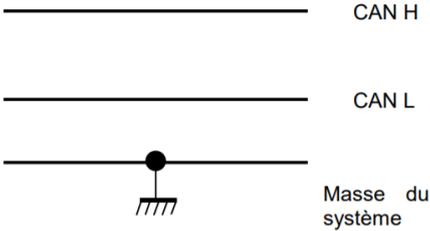


**LE BUS CAN EMBARQUE DANS LES VEHICULES**

La transmission des données est effectuée sur une paire filaire différentielle.



La ligne est constituée de 2 fils de données ainsi que de la masse.



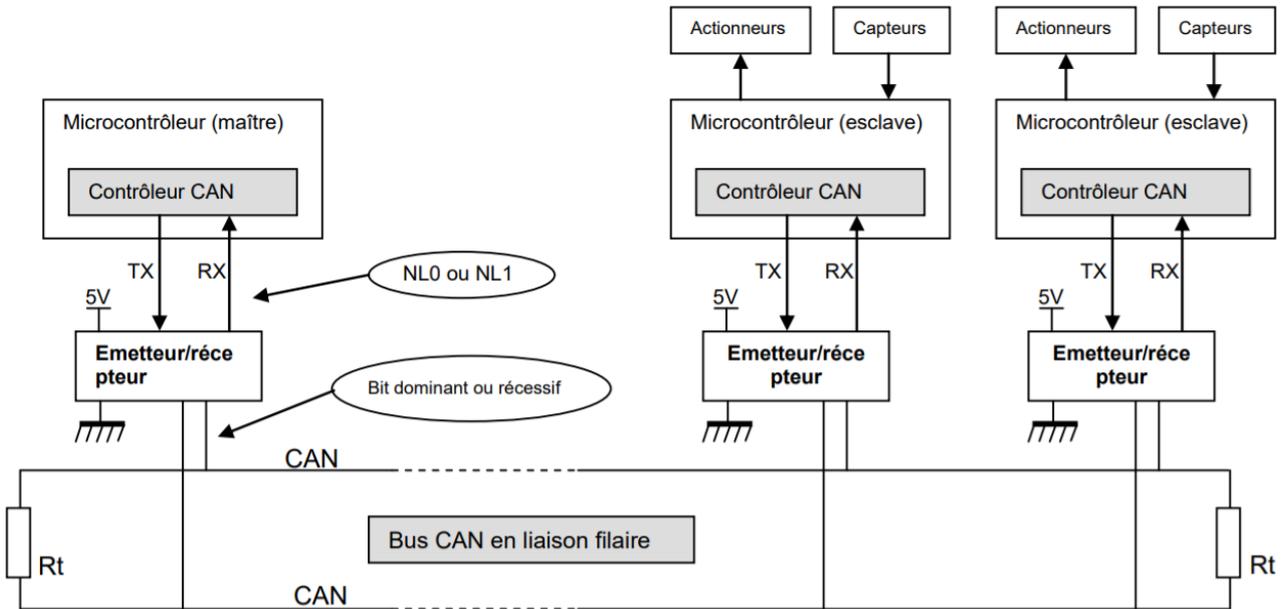
Le **CAN** est un bus de terrain, soumis à des parasites importants. La transmission en paire différentielle permet de s'affranchir de ces problèmes car les montages différentiels ont un fort taux de réjection en mode commun CMRR.

Les débits varient en fonction de la longueur d'une paire torsadée :

Débit	Longueur
1 Mbits/s	40m
500 Kbits/s	100m
100 Kbits/s	500m
20 Kbits/s	1000m

En pratique, il y a trois bus CAN différents dans un véhicule, à des débits différents :

- Un bus rapide pour gérer la sécurité (freinage, ABS, détection chocs, airbags...);
- Un bus à vitesse moyenne pour gérer le moteur (commandes et capteurs);
- Un bus lent pour gérer tous les accessoires (lampes, moteurs d'asservissements, boutons...).



**Synoptique d'une liaison filaire CAN intégrée dans un véhicule**

### Rôle des résistances de terminaison :

Si l'on fait circuler des signaux de tension sur le bus, sans résistance de terminaison ( $R_t$ ) de ligne, les signaux vont se réfléchir sur les extrémités et vont créer des parasites qui risquent de perturber les émissions suivantes sur le bus (identique à une onde qui rebondirait contre un mur).

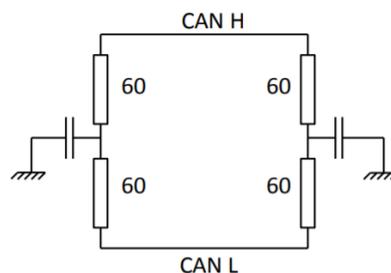
Pour éviter ces phénomènes de signal réfléchi en bout de câble, on place à l'extrémité une impédance identique à celle du câble. On trouvera donc à chaque extrémité du réseau deux résistances de 120  $\Omega$ . Ces résistances de fin de ligne sont intégrées aux extrémités du réseau CAN dans deux participants, en fonction de la topologie et l'architecture du réseau.

Un contrôle rapide de la continuité du réseau peut-être fait en mesurant la résistance entre CAN – H et CAN – L (hors tension et tous les calculateurs branchés).

On mesure deux résistances de 120  $\Omega$  en parallèles, 60  $\Omega$ .

La mesure de toute autre valeur est une anomalie :

- ☒  $R > 60 \Omega \rightarrow$  coupure de ligne ou si  $R = 120\Omega$  absence d'une des deux résistances de terminaison.
- ☒  $R < 60 \Omega \rightarrow$  ligne en court-circuit, ou plus de deux résistances de terminaison dans le réseau.



### NIVEAU DOMINANT ET NIVEAU RECESSIF

Un niveau électrique **récessif** sur le bus CAN correspond à un **niveau logique haut** sur Tx.

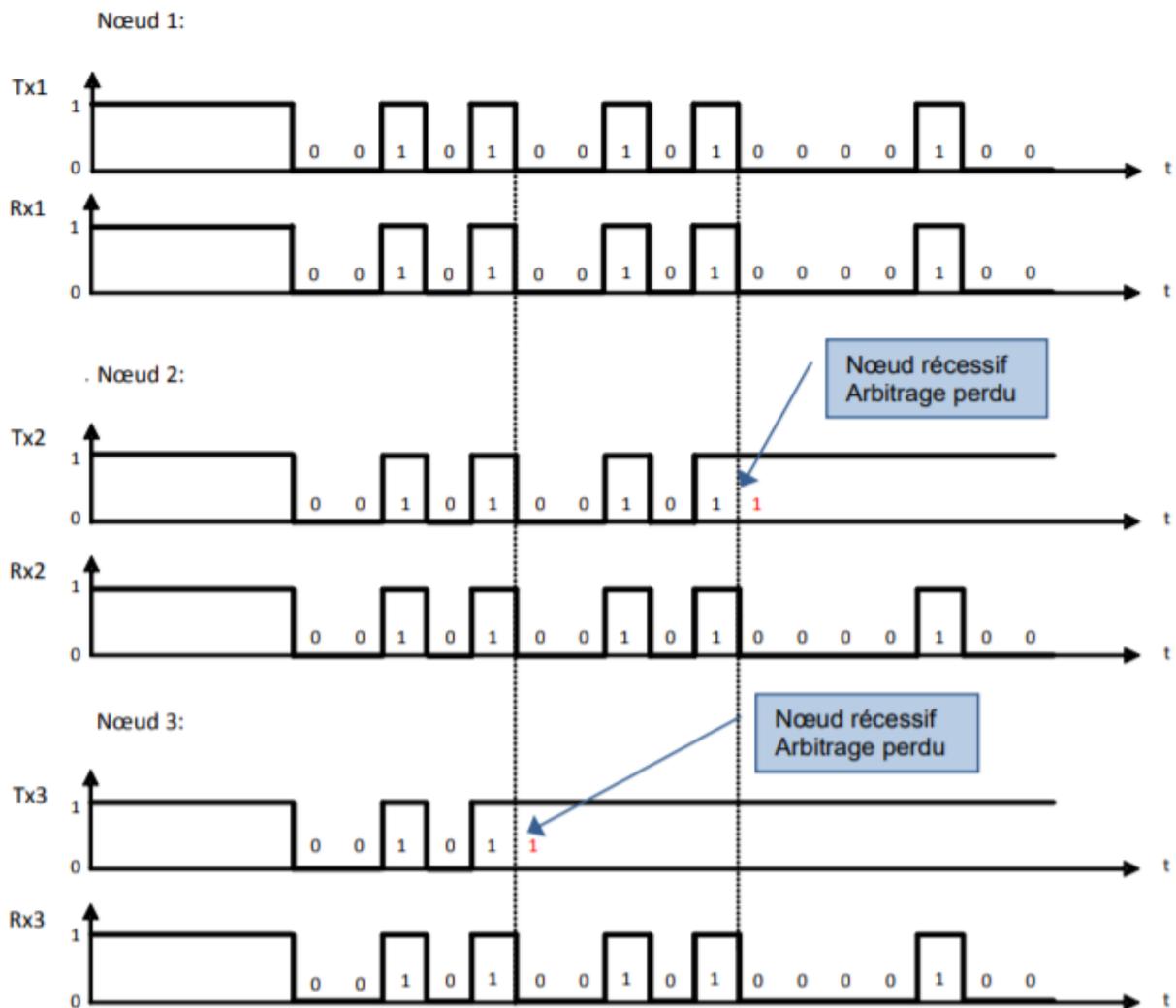
Un niveau électrique **dominant** sur le bus CAN correspond à un **niveau logique bas** sur Tx.

**ARBITRAGE**

Tout conflit de bus est résolu par le mécanisme du "**ET câblé**", c'est-à-dire qu'un état dominant écrase un état récessif. Si plusieurs nœuds débutent leur trame en même temps, le premier qui présente un bit récessif alors qu'au moins un autre présente un bit dominant perd l'arbitrage.

Arbitrage :

**Exemple :** trois nœuds souhaitent prendre simultanément le contrôle de la communication :

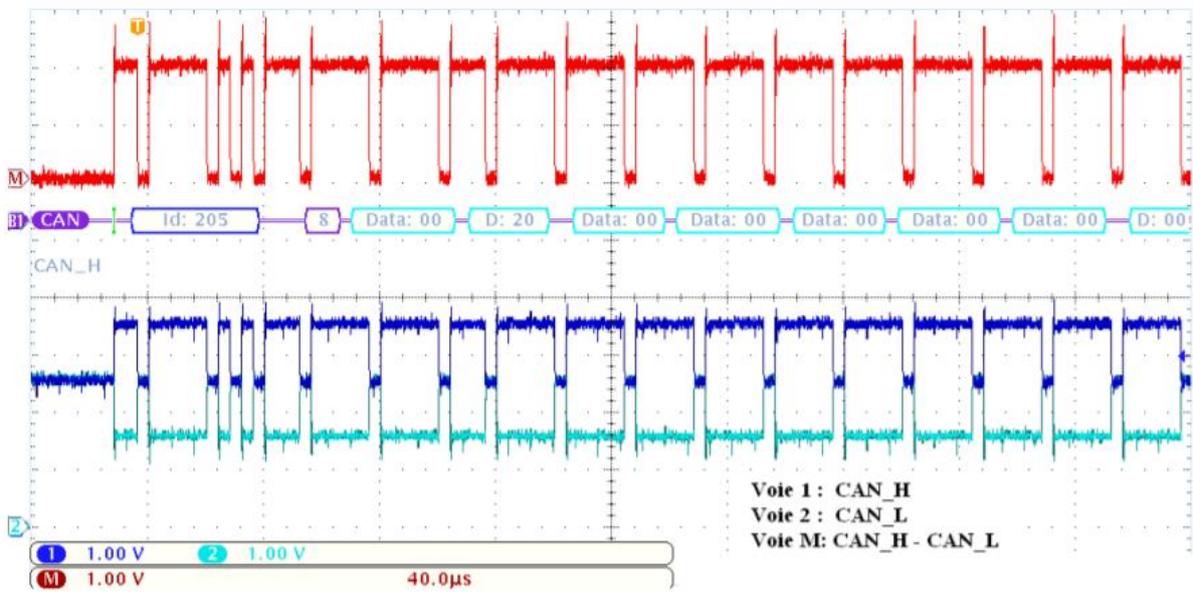


Tous les nœuds perdants deviennent automatiquement des récepteurs du message, et ne tentent à nouveau d'émettre que lorsque le bus se libère.

Pour déterminer la priorité des messages, le CAN utilise la méthode CSMA/CR (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Resolution) avec la capacité de l'arbitrage non destructif afin d'offrir une disponibilité maximale du bus.

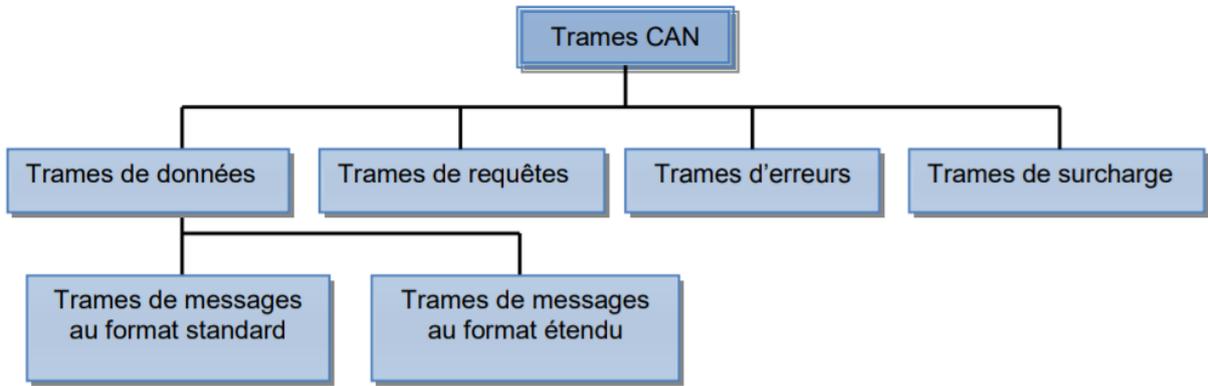
**VERSION DU BUS CAN ET NIVEAUX ELECTRIQUES**

BUS CAN	
BUS CAN LOW SPEED	BUS CAN HIGH SPEED
<input checked="" type="checkbox"/> Débit : 10kb/s à 125 kb/s	<input checked="" type="checkbox"/> Débit : 250kb/s à 1 Mb/s
<input checked="" type="checkbox"/> Tension d'alimentation: 5V	<input checked="" type="checkbox"/> Tension d'alimentation: 5V
<input checked="" type="checkbox"/> Courant de sortie : > 1 mA sur 2,2 kΩ	<input checked="" type="checkbox"/> Courant de sortie : 25 à 50 mA sur 60Ω
<input checked="" type="checkbox"/> Nombre de nœuds sur le bus : 2 à 20	<input checked="" type="checkbox"/> Nombre de nœuds sur le bus : 2 à 20
<input checked="" type="checkbox"/> Niveau dominant : CAN H = 4V CAN L = 1V	<input checked="" type="checkbox"/> Niveau dominant : CAN H = 3.5V CAN L = 1.5V
<input checked="" type="checkbox"/> Niveau récessif : CAN H = 1.75V CAN L = 3.25V	<input checked="" type="checkbox"/> Niveau récessif : CAN H = 2.5V CAN L = 2.5V
<input checked="" type="checkbox"/> Caractéristique du câble : 30 pF entre les câbles de ligne	<input checked="" type="checkbox"/> Caractéristique du câble : 2 x 120Ω



**Oscillogrammes des signaux électriques CAN HIGH SPEED 250 kbits/s**

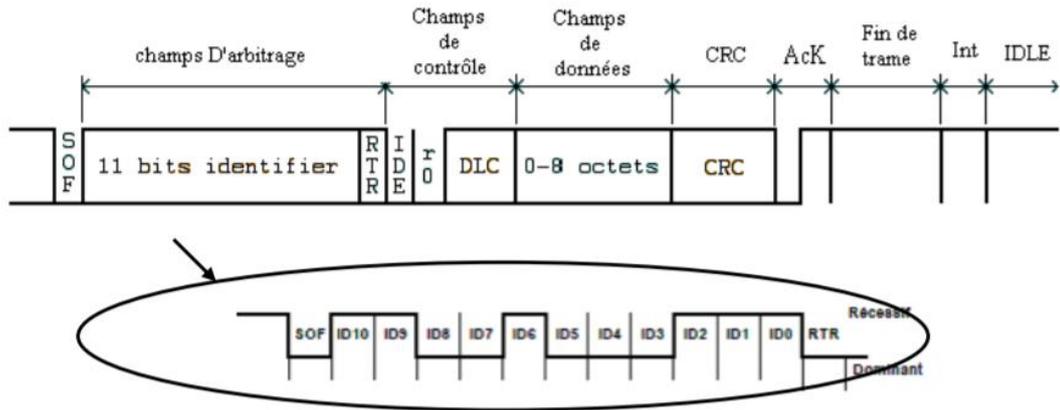
**LES TRAMES DU BUS CAN**



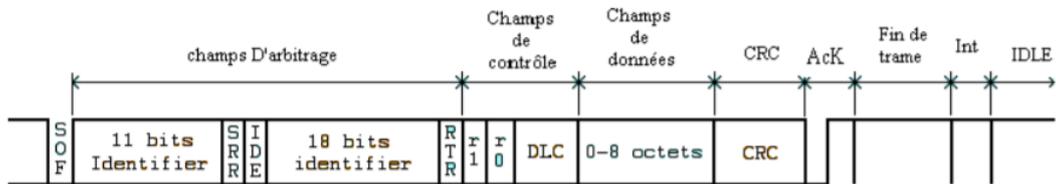
**Trame de données au format standard CAN 2.0 A :**



Le format CAN 2.0A est utilisé dans les voitures.



**Trame de données au format étendu CAN 2.0 B :**

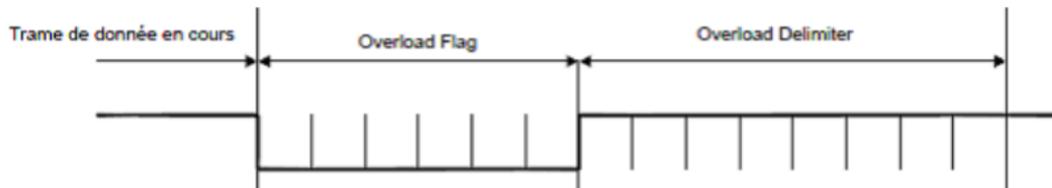


**Trame de requêtes :**

Une trame de requête est constituée de la même manière qu'une trame de données sauf que le champ de données est vide.

### Trame de surcharge :

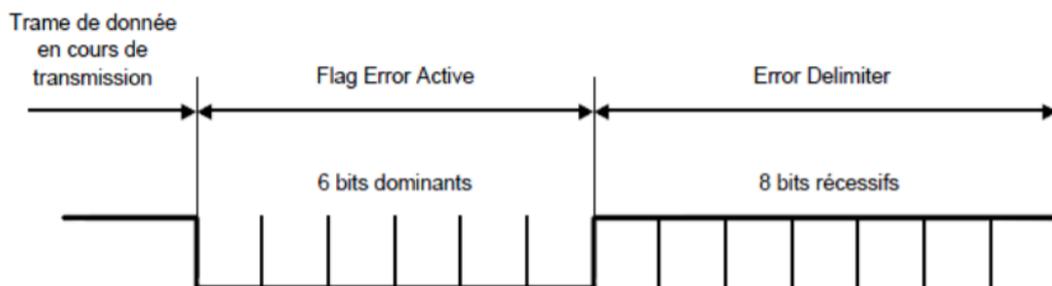
Cette trame indique qu'une station est surchargée pendant un certain laps de temps.



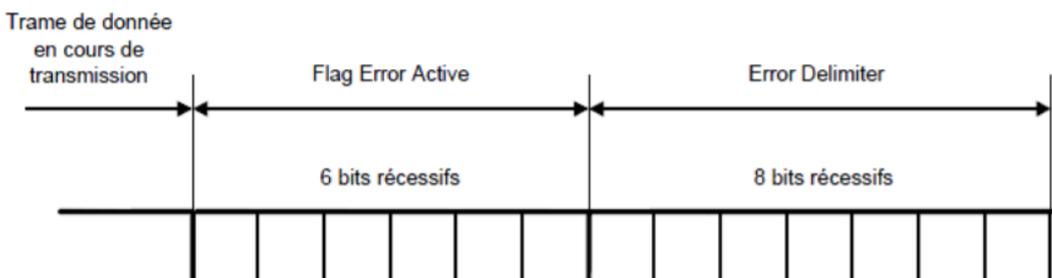
### Trames d'erreurs :

Il existe deux trames d'erreur possible.

#### La trame d'erreur active :



#### La trame d'erreur passive :



## CONSTITUTION D'UNE TRAME DE DONNEES

### **Le début de trame SOF (Start Of Frame)**

Le Bit SOF Start Of Frame est dominant, il signale à toutes les stations le début d'un échange. Il ne peut apparaître que si le bus était au repos précédemment. Les nœuds se synchronisent sur le front de ce bit.

### **Le champ d'arbitrage ou identificateur**

Le champ d'arbitrage est composé de :

- l'identificateur **ID** sur 11 bits (CAN 2.0A) ou 29 bits = 11 + 18 (CAN 2.0B) ;

- du type de trame **RTR** (Remote Transmission Request) sur 1 bit. Il est dominant pour une trame de données et récessif pour une trame de requête.

L'identificateur ID indique la fonction système réalisée par le message.

Chaque nœud recevant un message regarde si celui-ci est intéressant pour lui grâce à l'ID. Si c'est le cas, il le traite, sinon, il l'ignore.

Cet unique ID indique aussi la priorité des messages. Plus la valeur est faible, plus le message sera prioritaire. Si deux nœuds ou plus cherchent à avoir accès au bus en même temps, c'est celui de plus haute priorité qui gagne. Les messages de priorité inférieure seront automatiquement retransmis lorsque le bus sera libre.



La priorité d'un message est déterminée par la valeur de son ID : les adresses basses ont priorité sur les adresses hautes.

Pour l'identificateur les bits sont transmis dans l'ordre, de ID\_10 à ID\_0 (le moins significatif est ID\_0). Par ailleurs les 7 bits les plus significatifs (de ID\_10 à ID\_4) ne doivent pas tous être récessifs. Pour des raisons de compatibilité avec des anciens circuits, les 4 derniers bits de l'identificateur (ID\_3 à ID\_0) ne sont pas utilisés, ce qui réduit le nombre de combinaisons possibles.

### Le champ de contrôle

Il est composé de :

- la longueur des données **DLC** (Data Length Code) sur 6 bits, indique le nombre d'octets de données de 0 à 8 ;
- des bits r1 et r0 réservés pour un usage ultérieur.

Pour la trame de données, DLC indique le nombre d'octets contenu dans le champs de données. Pour la trame de requête, DLC indique le nombre d'octets contenu dans le champ de données qui devra être retourné par la trame de données demandée.

### Le champ de données

Contient les données à transmettre par la trame de donnée, de 0 à 8 octets. Le bit de poids fort est transmis en premier.

### Le champ de CRC

Il est composé de :

- la séquence **CRC** (Cyclic Redundancy Code) sur 15 bits ;
- du délimiteur de **CRC** (CRC Delimiter) sur 1 bit au niveau récessif.

La séquence de CRC est calculée par la procédure suivante :

Le flot de bits (hors Bit-Stuffing), constitué des bits depuis le début de la trame jusqu'à la fin du champ de données (pour une trame de données) ou bien la fin du champ de contrôle (pour une trame de requête) est interprétée comme un polynôme  $f(x)$  avec des coefficients 0 et 1 affectés à la présence, effective ou non, de chaque bit.

Le polynôme obtenu est alors multiplié par  $x^{15}$  complété pour l'ajout du mot de CRC.

Le polynôme ainsi formé est divisé (modulo 2) par le polynôme générateur  $g(x)=x^{15}+x^{14}+x^{10}+x^8+x^7+x^4+x^3+1$ .

La chaîne de bits correspondante à ce polynôme est :  $(1100010110011001)_2$ .

Le reste de la division du polynôme  $f(x)$  par le polynôme générateur  $g(x)$  constitue la séquence CRC de 15 bits.

### Le champ d'acquittement (Acknowledge)

Il est composé de :

- l'acquittement **ACK Slot**, indique qu'un nœud a reçu correctement le message et en informe le transmetteur par un bit dominant ;
- le délimiteur d'acquittement **ACK delimiter**, est un bit au niveau récessif.

### Le champ de fin de trame EOF (End Of Frame)

Chaque trame est terminée par une séquence de 7 bits récessifs.

### Le champ int

C'est l'espace intertrame sur 3 bits au niveau récessif. Pendant cette durée :

- aucun nœud ne peut commencer une nouvelle trame de données ou de requête ;
- seule action permise : une surcharge (overload).

### IDLE

En mode inactif la ligne reste au niveau récessif.

## FIABILITE ET PROTECTION DU BUS CAN

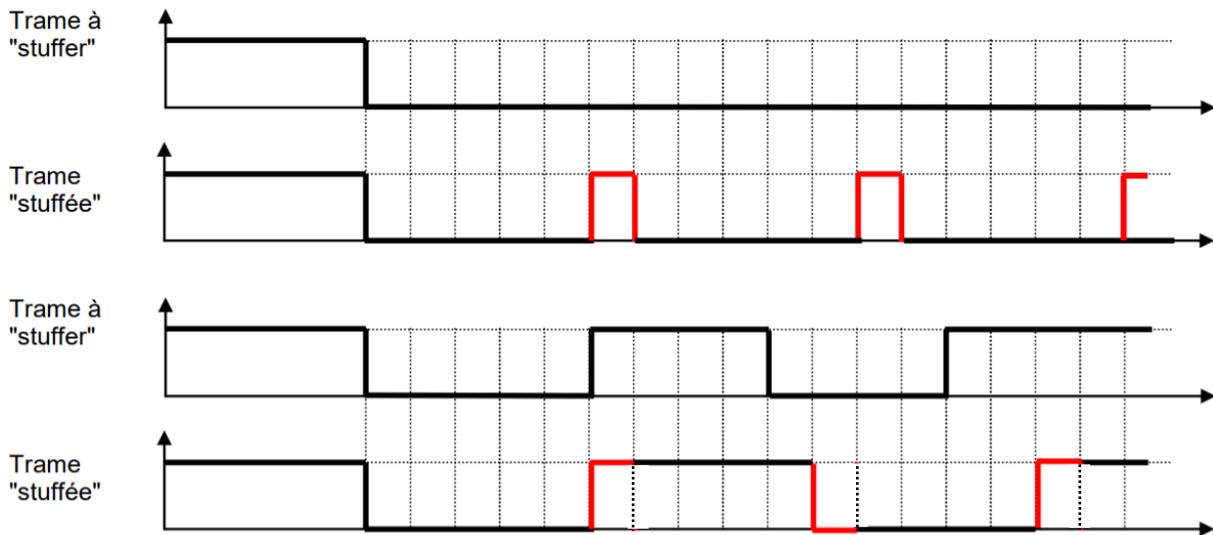
### Le bit de stuffing

Le codage utilisé est de type NRZ. Cela entraîne la nécessité d'une horloge stable.

La méthode du bit-stuffing permet la resynchronisation de l'horloge lors de la réception par ajout de transition.

Dès que l'on a émis 5 bits de même polarité sur le bus, on insère un bit de polarité contraire pour casser des chaînes trop importantes de bits identiques.

Cette technique est uniquement active sur les champs de SOF, d'arbitrage, de contrôle, de CRC (délimiteur exclu). Pour un fonctionnement correct de tout le réseau, cette technique doit être implémentée aussi bien à la réception qu'à l'émission.



**Exemples de trames « stuffées »**



Dans le pire des cas (trame de 5 bits de même signe puis 4 bits de l'autre signe...), l'ajout du bit de « stuffing » peut augmenter le nombre de bit émis.

### Les erreurs contrôlées par le bus CAN

#### Différentes erreurs contrôlées par le CAN

**Bit error** : Chaque fois qu'un émetteur envoie un bit sur le bus, il vérifie en même temps si le niveau émis sur le bus correspond à celui qu'il désire envoyer en faisant une surveillance du bus. Si le niveau ne correspond pas, il le signale par un Bit Error.

Cependant, le Bit Error n'est pas signalé dans les cas suivants :

- Aucune erreur de Bit Error n'est signalée lorsqu'un bit dominant est envoyé dans le champ d'arbitrage à la place d'un bit récessif. Le bit dominant signifie simplement une perte d'arbitrage.
- De même, pour un bit dominant lors de l'*acknowledge slot*, à la place d'un bit récessif.
- Un émetteur envoyant un *flag* d'erreur passive (bit récessif) et recevant un bit dominant, ne doit pas signaler un *Bit Error*.

**Stuff error** : Une erreur de *Stuffing* est détectée à chaque fois qu'il y a 6 bits ou plus consécutifs de même signe sur le bus. Une erreur de *Stuffing* ne doit être signalée que dans les champs d'identificateurs, de commande et de CRC.

**CRC error** : le CRC calculé par le récepteur est différent de celui envoyé par l'émetteur.

**Acknowledge delimiter** : le récepteur n'observe pas un bit récessif lors du champ de *Acknowledge Delimiter*. Il en est de même pour le *CRC Delimiter*.

**Acknowledgement error** : Une erreur de *Slot Acknowledge* est signalée par l'émetteur s'il ne lit pas un bit dominant lors du champ de slot acknowledge.

## EXERCICES

### Question 1

**Déterminez le nombre de capteurs/actionneurs TOR (Tout Ou Rien) différents qu'un noeud peut gérer dans une seule trame de données.**

.....

.....



Voir les différents champs des trames (CAN 2.0A et CAN 2.0B).

**Question 2**

Dans le cas d'une tranmission au format CAN 2.0A standard et au format étendu CAN 2.0B, calculez la longueur mini et maxi de la trame.

.....

.....

.....

.....

**Question 3**

Calculez le rendement du protocole CAN lorsqu'il émet une trame de données complète (cas de la trame CAN 2.0A standard).

.....

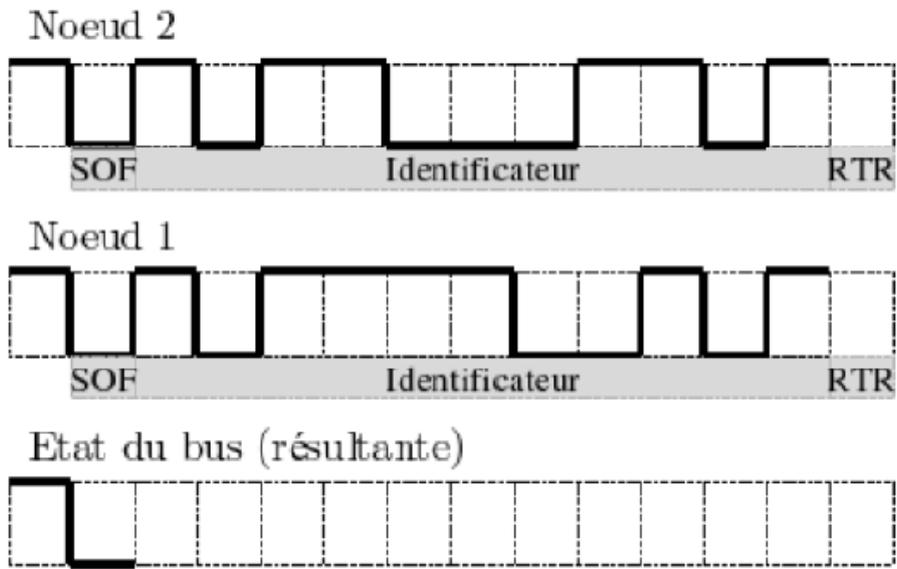
**Question 4**

Avec des trames de 60 bits en moyenne, calculez le nombre maximum de trames pouvant circuler sur le bus en une seconde pour un débit maximum de 1Mbit/s.

.....

**Question 5**

Complétez le chronogramme (résultante sur le bus : arbitrage) et indiquez le noeud qui a réussi à émettre sa trame.



**Question 6**

**Que se passe-t-il si 2 noeuds émettent chacun une trame possédant le même identificateur mais une des 2 trames est une trame de données et l'autre une trame de requête.  
Faites une conclusion sur la priorité entre une trame de données et une trame de requêtes.**

.....

.....

.....

.....

.....

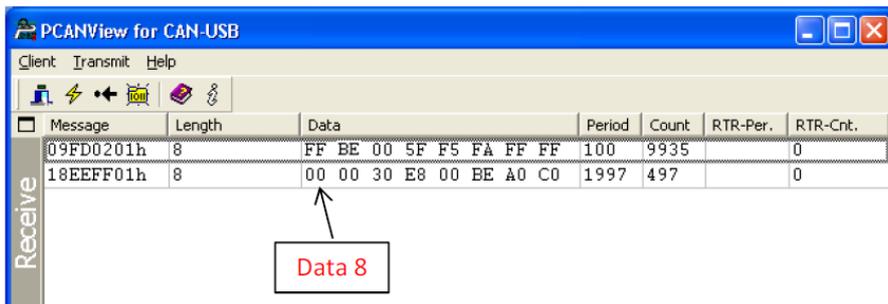
.....

**Question 7**

**Complétez la trame (jusqu'au champ CRC exclu) dans le cas où un noeud émet les données 'B' (0x42) suivi de la valeur 6.**



**Un dispositif d'acquisition du signal sur une éolienne véhicule les informations des capteurs sur un bus CAN.**



- Dans la capture de trame (page précédente) d'identifiant 09FD0201h :**
- les octets DATA 7 et DATA 6 représentent l'information de vitesse de vent apparent (respectivement LSB et MSB)
  - les octets DATA 5 et DATA 4 représentent l'information d'angle de vent apparent (respectivement LSB et MSB).



