

Réseaux et informatique embarquée

3. Bus terrain

Valentin Gies

Seatech - 4A
Université de Toulon (UTLN)

Plan du cours

- 1 Généralités
 - Qu'est-ce qu'un bus terrain ?
 - Historique des bus terrains
- 2 Classification des bus terrain
 - La norme OSI
 - Topologie et protocoles d'accès
 - Classification des bus terrains
- 3 Un exemple : le Bus CAN
 - Caractéristiques physiques
 - Règles de fonctionnement

Plan

- 1 Généralités
 - Qu'est-ce qu'un bus terrain ?
 - Historique des bus terrains
- 2 Classification des bus terrain
 - La norme OSI
 - Topologie et protocoles d'accès
 - Classification des bus terrains
- 3 Un exemple : le Bus CAN
 - Caractéristiques physiques
 - Règles de fonctionnement

Qu'est-ce qu'un bus terrain ? : définitions

- **Terrain** : espace géographique limité (ensemble mécatronique, atelier...).
- **Bus** : ensemble de conducteurs permettant d'échanger des données.
 - Commun à plusieurs circuits.
 - Les échanges sont régis par un protocole.
- **Réseau** : ensemble de bus répartis sur un terrain.
 - Peut être composé d'un seul bus.
 - Caractérisé par une topologie.
 - Permet une gestion répartie : diagnostic, maintenance...

Qu'est-ce qu'un bus terrain ?

- **Définition** : un bus terrain est un **système de communication entre plusieurs ensembles communicants** (capteurs, microcontrôleurs, actionneurs, mémoires...).
- **Objectifs** :
 - Améliorer la **fiabilité** du système de transmission.
 - Réduire les **coût** d'installation et de maintenance.
 - Permettre un contrôle **décentralisé** du système.

Qu'est-ce qu'un bus terrain ?

Les atouts des bus terrain

● Réduction des coûts d'installation

- Moins de fil (cuivre).
- Moins de main d'oeuvre pour la pose.
- Installation plus rapide.
- Standardisation des composants.

● Réduction des coûts de maintenance

- Tests décentralisés (voir à distance).
- Outils de tests dédiés et génériques.
- Rajout de composants aisé.
- Maintenance partielle possible (si le réseau le permet).

Qu'est-ce qu'un bus terrain ?

Les atouts (suite) et inconvénients des bus terrain

● De meilleurs performances

- Communications numériques (moins sensible au bruit).
- Possibilité de communication élargies (broadcasting...)
- Tolérance aux avaries réseau (si la topologie réseau est prévue pour cela).
- Surveillance et dépannage à distance.
- Optimisation matérielle et logicielle (technologie éprouvée)

● Inconvénients

- Besoin de connaissances (protocole de communication, matériel utilisé...).
- Investissement non minimal pour des petits réseaux.
- Différents standards : pas tous compatibles.

Bref historique des bus terrain (1)

Comment transmettre une information analogique ?

● Transmission analogique en tension

- Sensible aux variations de tension d'alimentation.
- Sensible à la longueur du fil de transmission.
- Sensible à la résistivité des fils de transmission.
- Nécessite d'alimenter les récepteurs.
- ⇒ **Solution à rejeter !**

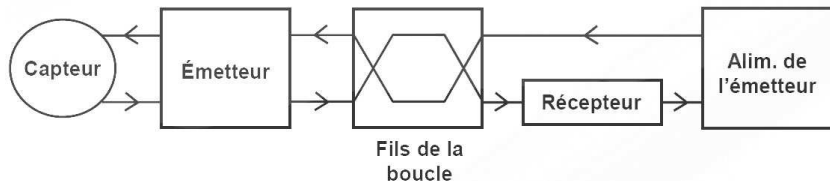
● Transmission analogique en courant

- Insensible aux paramètres des fils de transmission (longueur, résistivité, tension d'alimentation...)
- Permet d'alimenter les récepteurs.
- ⇒ **est devenu un standard : la boucle de courant**
4 – 20mA.

Bref historique des bus terrain (2)

La boucle de courant 4-20 mA

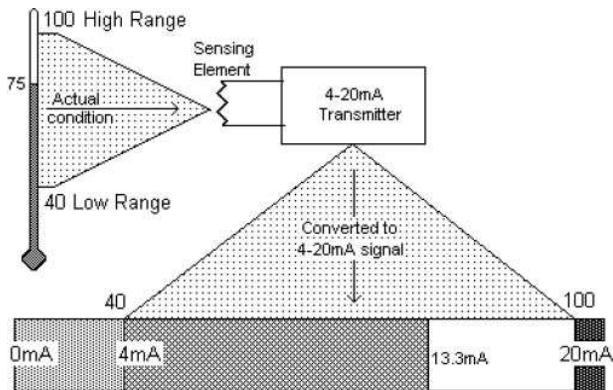
- Principe de fonctionnement



Bref historique des bus terrain (3)

La boucle de courant 4-20 mA

- Exemple de conversion analogique



Bref historique des bus terrain (4)

La boucle de courant 4-20 mA

● Atouts

- Détection d'erreur (si il n'y a plus de courant).
- Permet l'alimentation des récepteurs et émetteurs par la boucle.

● Inconvénients

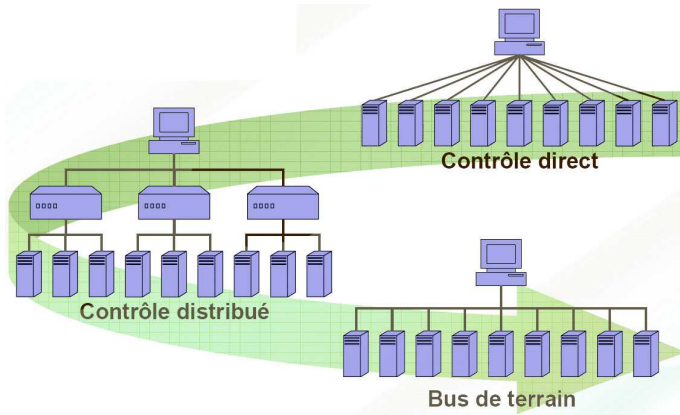
- Boucle analogique.
- Le standard n'a jamais été parfaitement normalisé.
- Limité à un seul émetteur (pas de superposition possible d'information)
- Limité à quelques récepteurs.

● Evolutions

- Possibilité de faire de la transmission numérique (faible débit : 19200 bps) sur la boucle de courant.

Bref historique des bus terrain (5)

Comment gérer plus de capteurs ?



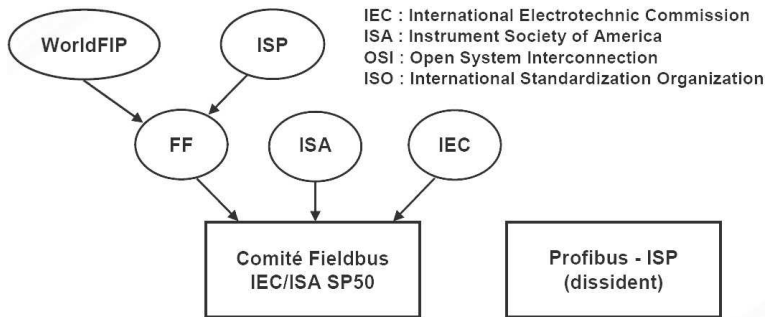
Bref historique des bus terrain (6)

1960-2000 : vers une normalisation

- 1960 : boucle analogique.
- 1970 : processeur : contrôle centralisé.
- 1980 : contrôle distribué, capteurs intelligents : début de la normalisation.
- 1994 : Fusion WorldFIP et ISP (Interoperable System Project) : FF (Fieldbus Foundation).
 - 1992 : définition de la couche physique.
 - 1998 : couches liaison, application : échec...
- Apparition de solutions propriétaires devenues standards de fait (Interbus, ASI, Lonworks)

Bref historique des bus terrain (7)

Une normalisation finalement partielle

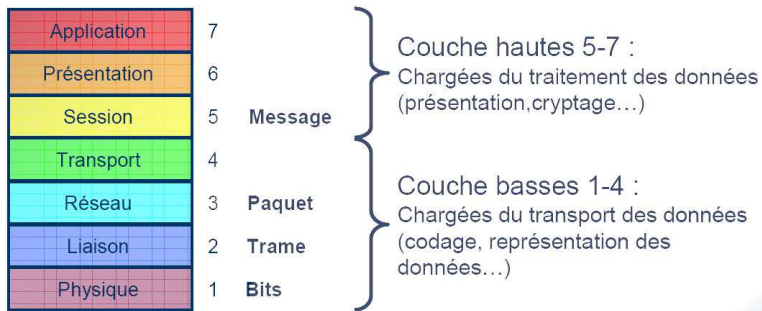


Plan

- 1 Généralités
 - Qu'est-ce qu'un bus terrain ?
 - Historique des bus terrains
- 2 Classification des bus terrain
 - La norme OSI
 - Topologie et protocoles d'accès
 - Classification des bus terrains
- 3 Un exemple : le Bus CAN
 - Caractéristiques physiques
 - Règles de fonctionnement

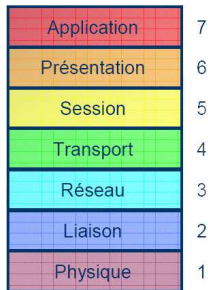
Le modèle OSI (Open System Interconnection)

Description générique des réseaux de communication



Le modèle OSI (Open System Interconnection)

Description générique des réseaux de communication



● Couche 1 : Physique

- Représentation des données.
- Spécifications mécaniques et électriques.
- Synchro et détection d'erreur.

● Couche 2 : Liaison de données

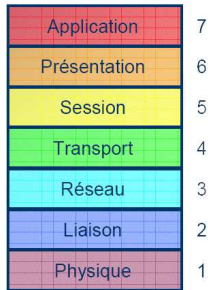
- 1er niveau de contrôle : service de transmission sécurisée.
- Structuration des données sous forme de trames.
- Correction des erreurs de niveau 1.

● Couche 3 : Réseau

- Structuration en paquets
- Routage et acheminement des données.
- Gestion des collisions.

Le modèle OSI (Open System Interconnection)

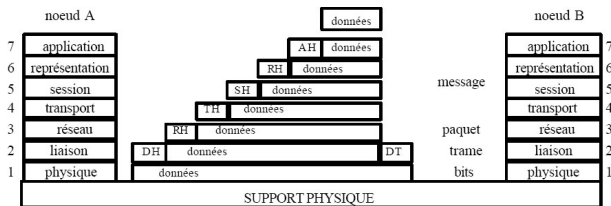
Description générique des réseaux de communication



- **Couche 4 : Transport**
 - Gestion du dialogue entre noeuds.
 - Données = Messages.
- **Couche 5 : Session**
 - Dialogue au sein de sessions.
 - Masquage des problèmes de transmission.
- **Couche 6 Présentation des données**
 - Présentation des données manipulées par les applications (cryptage, format...).
- **Couche 7 Application**
 - Interface homme-machine
 - Applications génériques.

Le modèle OSI

Formatage des données dans le modèle OSI ?



Avantages du modèle OSI :

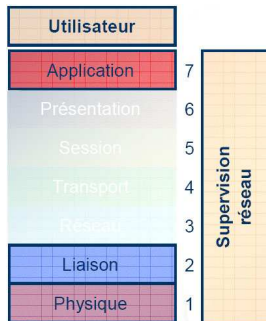
- Formatage fiable avec gestion des erreurs.
- Nombreuses possibilités.

Inconvénients du modèle OSI :

- Le formatage représente une grande partie des données transmises : \Rightarrow perte de débit.

Modèle OSI et bus terrain

Bus terrain = version simplifiée du modèle OSI



- Pas besoin d'interconnexions vers d'autres réseaux
- **Gain de performances** (réduction du nombre de formatages successifs).
- Présence d'une couche utilisateur et d'un bloc de supervision (norme ISA SP50) :
 - Permet une **répartition des données** et un contrôle distribués.
 - Permet la **configuration et le monitoring** à distance.

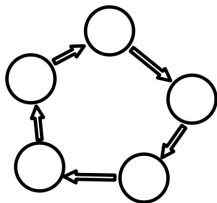
Critères de classification

On peut classer un réseau suivant différents critères :

- Distance entre les éléments les plus éloignés (dispersion spatiale).
- Débit maximum.
- Nombre maximum de noeuds.
- Protocoles mis en oeuvre.
- Topologie.

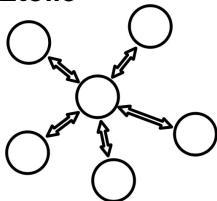
Topologie

● Anneau



- Communication unidirectionnelle.
- Blocage si un noeud est en panne.
- Extension impossible en fonctionnement.

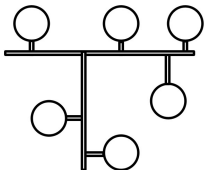
● Etoile



- Noeud central (débit important).
- Plus de fil (cuivre).
- Extension possible en fonctionnement.

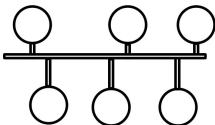
Topologie

● **Arbre**



- Défaillance d'un noeud possible.
- Extension aisée.

● **Bus**



- Pas de branches.

Topologie

La **topologie a des conséquences sur les performances** du système :

- Choix du protocole de communication répartie.
- Délai de propagation.
- Flux maximal de données.
- Tolérance aux pannes matérielles.

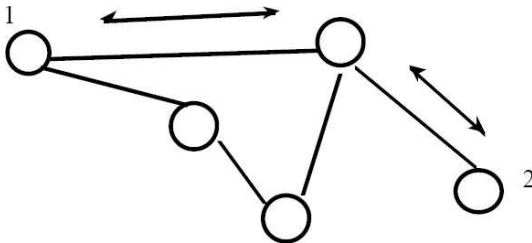
Les propriétés liées à la topologie sont étudiées à l'aide des outils suivants :

- Théorie des graphes.
- Algèbre Max-Plus.

Protocoles génériques d'accès

Protocole orienté connexion :

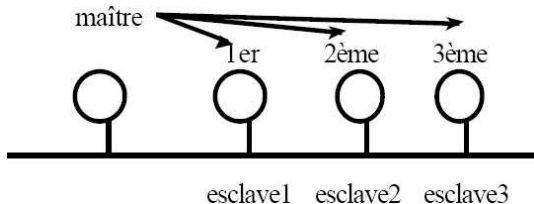
- Communication (établie au préalable) entre 2 noeuds.
- Possibilité de passer au travers plusieurs noeuds.
- Utilisé dans les réseaux actuels.



Protocoles génériques d'accès

Polling :

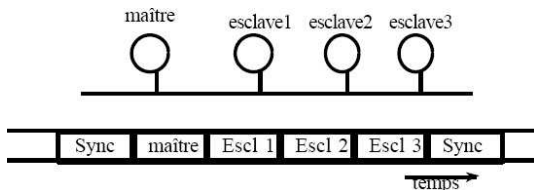
- Un message est envoyé aux esclaves (tour à tour) qui répondent si nécessaire.
- Peu efficace :
 - Pb du nombre d'esclaves.
 - Communication esclave-esclave difficile.
 - Robustesse limitée (en cas de panne du maître).
- Utilisé dans le système **PROFIBUS**



Protocoles génériques d'accès

Multiplexage temporel :

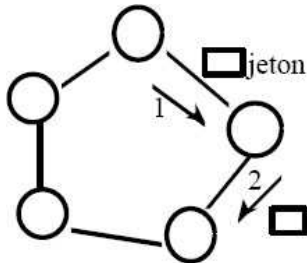
- Chacun parle tour à tour avec un temps de parole donné.
- Plus efficace que le polling :
 - Moins d'activité sur le bus pour la synchronisation.
 - Taille des données fixe.



Protocoles génériques d'accès

Token ring :

- Topologie en anneau.
- Un jeton (token) circule sur l'anneau :
 - Lorsqu'un noeud veut parler, il attend le jeton.
 - Qd le noeud émet, il garde le jeton.
- Inconvénient : ne fonctionne plus si l'anneau est coupé.
- Utilisé dans le bus **FDDI**



Protocoles génériques d'accès

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) :

- Principe de base : émission lorsqu'il y a un temps mort sur le réseau
 - **Carrier Sense** : l'émetteur observe si un message passe sur le réseau.
 - **Multiple Access** : quand rien ne transite, plusieurs émetteurs peuvent communiquer.
- Spécificité :
 - **Collision Detection** : en cas de collision, on interrompt le transfert et on recommence plus tard avec un délai aléatoire.
- Utilisé dans les réseaux **Ethernet**.
- Non utilisable sur les réseaux sans-fil.

Protocoles génériques d'accès

CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) :

- Principe de base : émission lorsqu'il y a un temps mort sur le réseau
 - **Carrier Sense** : l'émetteur observe si un message passe sur le réseau.
 - **Multiple Access** : quand rien ne transite, plusieurs émetteurs envoient un message RTS (Ready To Send).
- Spécificité :
 - **Collision Avoidance** : Le récepteur choisit un émetteur et bloque les autres jusqu'à la fin de la transmission.
- Permet des communications lorsque les émetteurs ne sont pas à portée (sans-fil) : **WIFI**, **Zigbee** et **LON** (Local Operating Network).

Protocoles génériques d'accès

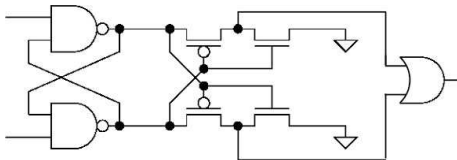
CSMA/BA (Carrier Sense Multiple Access / Bitwise Arbitration) ou accès par dominance de bit :

- Principe de base : émission lorsqu'il y a un temps mort sur le réseau
 - **Carrier Sense** : l'émetteur observe si un message passe sur le réseau.
 - **Multiple Access** : quand rien ne transite, plusieurs émetteurs envoient un message RTS (Ready To Send).
- Spécificité :
 - **Bitwise Arbitration** : Chaque noeud a un identifiant et le transmet. En cas de collision, le noeud avec le plus grand identifiant parle.
- Utilisé dans le **bus CAN** (automobile).

Protocoles génériques d'accès

Accès Asynchrones :

- L'émission se fait à n'importe quel moment :
 - La gestion du routage des messages est assurée par des arbitres asynchrones.



- Dès qu'un message est transmis par un noeud, le suivant passe.
- Adapté à des réseaux de très forte taille, pas de collision.
- Optimal en terme de synchronisation et de vitesse de transmission.
- Inconvénient : nécessite des circuits de routage asynchrone.

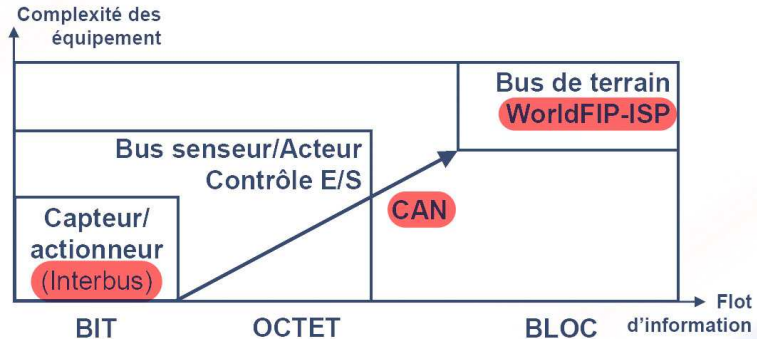
Classification des bus terrain

Les différents types de bus terrain

- **Bus bas niveau** (capteur/actionneur)
 - Noeuds à intelligence limité ou nulle
 - Temps de réaction primordial
 - Nombre de données limité
- **Bus terrain** (Fieldbus)
 - Trame : 10 octets à 256 octets
 - Temps de réaction : 1 ms à 10 ms
 - Coopération de tous les noeuds (maître/esclave ou multimaîtres)
 - Accès au niveau inférieur (capteur/actionneur)
- **Bus d'usine** : réseau local industriel ethernet MAP (Manufacturing Automation Protocol) ou TOP (Technical and Office Protocol)

Classification des bus terrain

Les différents types de bus terrain



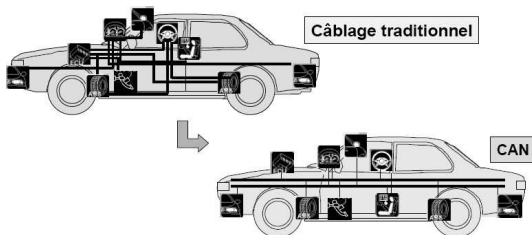
Plan

- 1 Généralités
 - Qu'est-ce qu'un bus terrain ?
 - Historique des bus terrains
- 2 Classification des bus terrain
 - La norme OSI
 - Topologie et protocoles d'accès
 - Classification des bus terrains
- 3 Un exemple : le Bus CAN
 - Caractéristiques physiques
 - Règles de fonctionnement

Le bus CAN : présentation

Présentation du bus CAN

- Né d'un besoin dans l'automobile : trop d'organes à piloter reliés par ligne dédiées \Rightarrow **nécessité d'un bus.**

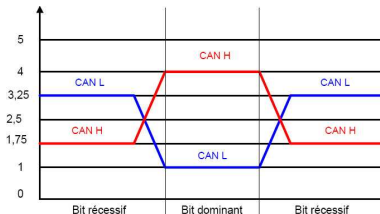


- Dans les années 80 : Bosch développe le bus CAN (Controller Area Network) normalisé Iso 11898.

Le bus CAN : caractéristiques physiques

Transmission sur paire filaire différentielle (deux fils) :

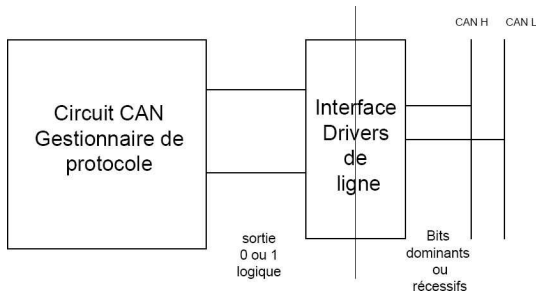
- CAN L (low) :
 - Dominant
 - Récessif
- CAN H (high)
 - Dominant
 - Récessif



Paramètres	CAN
Débit	125 kb/s
Nombre de nœuds sur le bus	2 à 20
Courant de sortie (mode émission)	> 1 mA sur 2,2 kΩ
Niveau dominant	CAN H = 4V CAN L = 1V
Niveau récessif	CAN H = 1,75V CAN L = 3,25V
Caractéristique du câble	30 pF entre les câbles de ligne
Tensions d'alimentation	5V

Le bus CAN : caractéristiques physiques

Interconnexion avec le bus CAN :

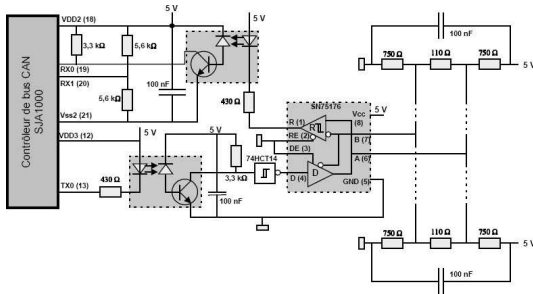


Le driver de ligne permet :

- La "fabrication" des états dominants et récessifs.
- La cohabitation d'informations opposées sur le bus sans le griller.

Le bus CAN : caractéristiques physiques

Schéma électronique d'interconnexion :



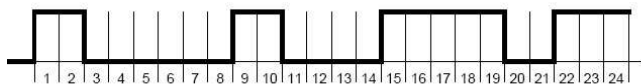
Remarques :

- Optocouplage (isolation galvanique).
- Circuits spécialisés pour la gestion des états récessifs et dominants.

Le bus CAN : règles de fonctionnement

- Transmission CSMA/BA (lorsqu'il y a un temps mort sur le réseau) avec codage de type NRZ (non retour à zéro) avec bit-stuffing : casse les chaînes uniformes pour améliorer la réception.

Trame à l'émission avant la mise en place des bits de stuffing

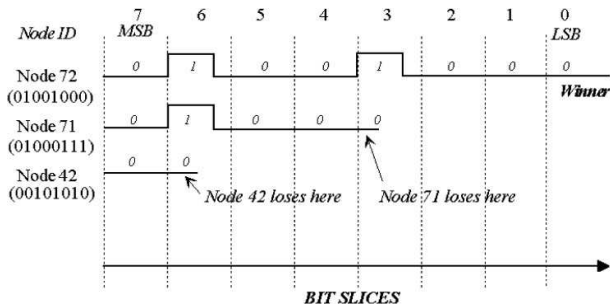


Trame avec bits de stuffing (S)



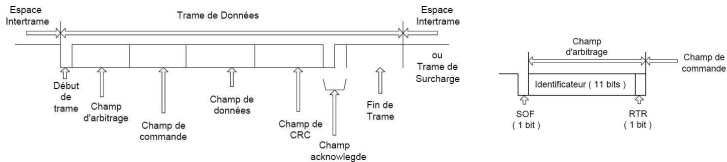
Le bus CAN : règles de fonctionnement

- Chaque message possède un identifiant : *signification* + *destinataire*.
- Arbitrage des conflits par priorité à l'identifiant le plus prioritaire.



Le bus CAN : règles de fonctionnement

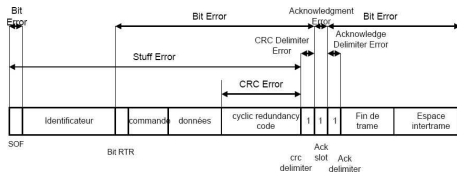
- 4 trames d'échange d'information :
 - Trame de **requête** : émise par un noeud désirant recevoir une trame de données.
 - Trame de **données** : permet le transfert de données.



- Trame d'**erreur** : émise par un noeud à la détection d'une erreur.
- Trame de **surcharge** : émise lorsqu'un noeud a besoin de temps.

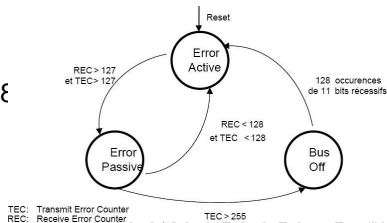
Le bus CAN : règles de fonctionnement

- Une gestion complète et avancée des erreurs :
- **Types d'erreurs** : Bit error / CRC / stuffing error / ...



- Distinction entre erreurs **ponctuelles** et **récurrentes** :

- Erreur : $count = count + \xi$
- OK : $count = count - 1$



Questions ?

- Questions
- Contact : vgies@hotmail.com
- Site internet : **www.vgies.com**