

DOSSIER TECHNIQUE

# LE MULTIPLEXAGE

CAN

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION AU RESEAU MULTIPLEXE</b>	<b>5</b>
.....	
<b>Le Multiplexage comme réponse aux besoins des constructeurs.....</b>	<b>5</b>
<b>Réseau CAN ( Controller area network).....</b>	<b>6</b>
<b>Historique des protocoles .....</b>	<b>6</b>
<b>I) - L' ARCHITECTURE DU RESEAU.....</b>	<b>7</b>
<b>A) - Organisation standard des réseaux multiplexés.....</b>	<b>7</b>
<b>B) – Organisation d'un réseau multiplexé chez Peugeot Le FULL CAN.....</b>	<b>10</b>
1) - Architecture et organisation des calculateurs.....	10
a) - LE RESEAU INTERSYSTEMES.....	10
b) - LES RESEAUX CARROSSERIE ET CONFORT.....	11
2) - Les Phase de Réveil, Mise en Veille et Veille des calculateurs.....	12
3) - Phase de Vie du réseau CAN Intersystème.....	13
Les phases de vie du réseau CAN intersystème sont principalement régies par la présence et l'absence du contact clé (+APC). Suite à la présence du +APC les calculateurs ont 300ms maximum pour s'initialiser et communiquer sur le réseau CAN. Ils passent alors en mode « Réveil ». Dès que le +APC est coupé les calculateurs passent en mode « veille », sauf les calculateurs étant en charge d'une fonction particulière qui doit se prolonger après la coupure du contact.....	13
Exemple : motoventilateur de refroidissement. Ces calculateurs peuvent même fonctionner en auto-alimentation et ce jusqu'à 30ms. ....	13
Un signal supplémentaire a été créé lors de l'évolution vers les architectures FULL CAN, le signal RCD (réveil commandé à distance). Ce signal est destiné à réaliser un réveil total (comme pour la mise sous contact du +APC) ou partiel du réseau CAN pour anticiper la réalisation de certaines fonctions.....	13
Le signal RCD est accompagné d'un message de réveil contenant un mot d'état indiquant quel calculateur est concerné par le réveil. Ainsi certains resteront en mode « veille ».....	13
4) - Phase de Vie du réseau CAN Carrosserie Confort.....	13
<b>II) - COUCHES PHYSIQUE DU RÉSEAU CAN.....</b>	<b>13</b>
<b>A) - Structure générale de la couche physique CAN.....</b>	<b>13</b>
• La transmission sur paire torsadée.....	15
<b>B) - Alternative de la couche physique CAN.....</b>	<b>16</b>
1) – La couche Physique CAN HIGH SPEED.....	16
a) - Niveaux de tension.....	16
b) – Notion de diagnostic de la ligne en High Speed.....	17
.....	17

2) – La couche Physique CAN LOW SPEED FAULT TOLERANT.....	17
a) - Niveaux de tension.....	17
b) - Notion de diagnostic de la ligne en CAN Low Speed Fault Tolerant.....	18
<b>III) - LE PROTOCOLE CAN.....</b>	<b>20</b>
<b>A) - OSSATURE.....</b>	<b>20</b>
1) – Organisation et câblage .....	20
2) – Structure d’un nœud.....	21
a) – L’interface de ligne.....	21
b) – Le contrôleur de protocole CP CAN.....	21
<b>B) – Structure d’une trame de données.....</b>	<b>22</b>
1) - Début de trame SOF.....	22
2) – Le champ d’identification IDEN.....	23
3) – Le champ de contrôle .....	23
4) – Le champ de données.....	24
5) – Le champ de CRC (Contrôle de Redondance Cyclique).....	24
Explication théorique.....	25
Exemple de calcul.....	26
6) – Le champ d’acquiescement.....	28
7) - Champ de fin de trame.....	29
<b>B) – Structure d’une trame de requête.....</b>	<b>30</b>
<b>C) – Règles du Protocole.....</b>	<b>30</b>
1) – Le bit Stuffing.....	30
Problème lié à la transmission série .....	30
Les transmissions en mode synchrone.....	32
Solution du « Bit Stuffing » .....	32
2) – Accès au bus : Collision et arbitrage.....	33
a) - Définition de la notion de ‘Collision’ .....	33
b) - Gestion des collisions.....	34
c) - Les avantages apportés par l’évitement de collision.....	35
Le temps d’accès au réseau.....	35
Détermination des priorités d’accès.....	35
Intervention à ‘la volée’ .....	36
d) - Les contraintes apportées par l’évitement de collision.....	36
e) - Interprétation d’un évitement de collision.....	36
f) – Comment calculer la durée d’un bit .....	37
3) – Traitement des erreurs.....	38
a) – Les différents types d’erreurs.....	38
b) - Les compteurs d’erreurs.....	40
c) - Les règles de confinement.....	41
d) – La trame d’erreur.....	41
e) – Débit et rendement de transmission.....	42
Le débit brut .....	43
Le débit Net.....	43

## INTRODUCTION AU RESEAU MULTIPLEXE

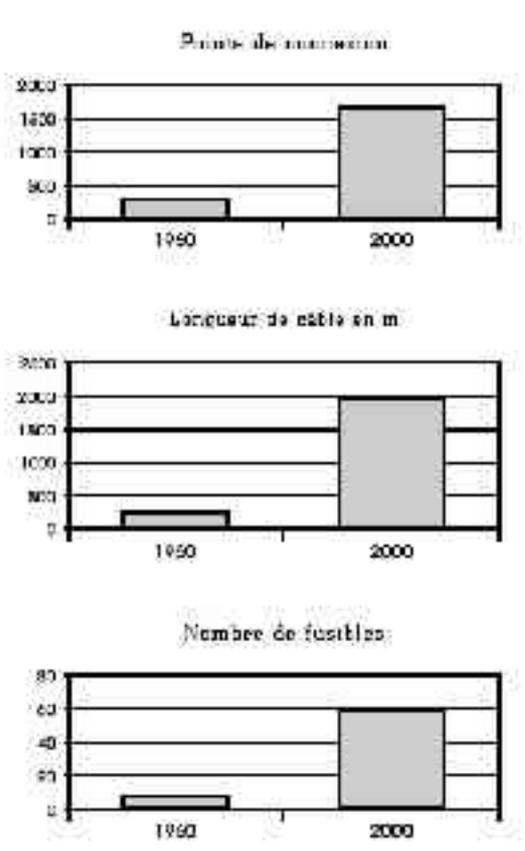
**Définition du multiplexage :** Le multiplexage consiste à faire circuler plusieurs informations entre divers équipements sur un seul canal de transmission. Les informations sont présentées sous forme série.

Le **protocole** de communication définit les règles et le format des échanges entre les éléments d'un **réseau** de circulation d'information. Les informations sont transmises sous forme série, selon un protocole de communication prédéfini, sur un bus d'information.

On appelle le support de circulation d'information quel que soit sa nature (fil électrique, fibre optique) un **BUS d'information**.

### Le Multiplexage comme réponse aux besoins des constructeurs

Chez de nombreux constructeur il a été identifié très tôt un besoin de proposer une alternative aux architectures électriques filaires dites classiques à cause du nombre de fils et de points d'interconnexion croissants dans un véhicule. Voir le document ci-dessous.



## **Le choix des constructeurs**

### **Réseau CAN ( Controller area network)**

Le réseau multiplexé CAN est celui qui a supplanté tous les réseaux existants et qui a su s'implanter parmi tous ses concurrents. Il est maintenant couramment utilisé.

La société Robert BOSCH GmbH est à l'origine de la conception du bus d'information CAN. Le CAN est un réseau de terrain (ou réseau embarqué) qui occupe aujourd'hui une position de leader sur le marché automobile, surtout depuis que PSA a abandonné le VAN avec la sortie de la 407.

Le CAN est également très répandu dans les mondes du véhicule industriel et du matériel agricole.

Il existe également de nombreuses applications du CAN dans le domaine de la production industrielle.

Dans l'automobile, on rencontre deux différentes versions du CAN : le CAN HighSpeed (CAN HS) et le CAN LowSpeed (CAN LS).

### **Historique des protocoles**

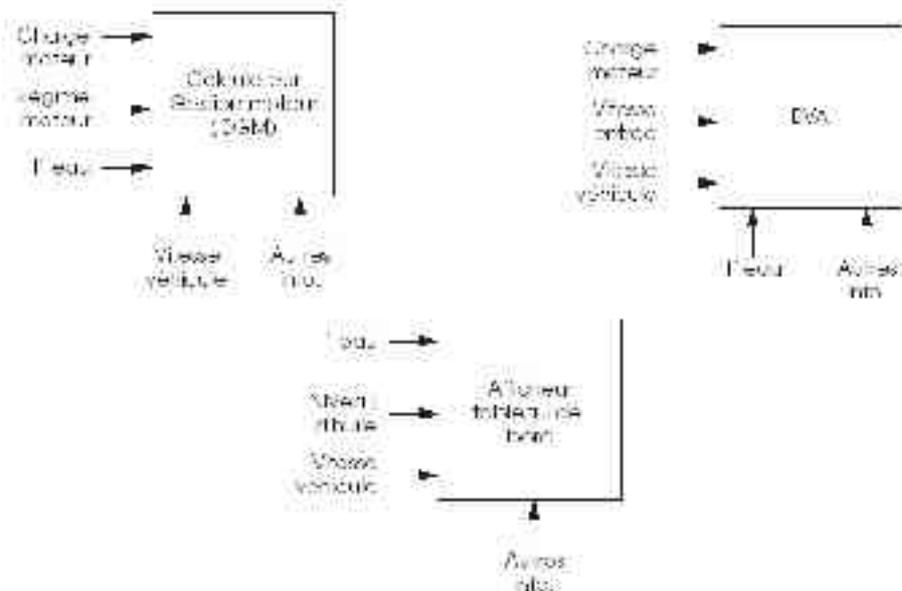
- En France : VAN
- En Allemagne : BMW avait conçu et adopté le K-Bus, VW lui a conçu et adopté le A-BUS.
- Au Japon : TOYOTA a conçu et adopté le BEAN (Body Electronic Area).
- Aux États-Unis : FORD, CHRYSLER et GM ont conçu le J1850.

# I) - L' ARCHITECTURE du RESEAU

## A) - Organisation standard des réseaux multiplexés

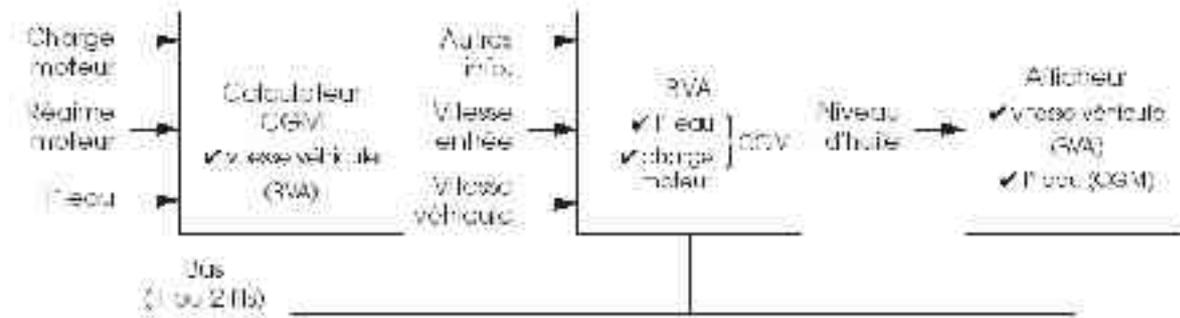
Comment s'organise concrètement le réseau ?

Prenons l'exemple si dessous. Celui d'un système « Non Multiplexé ».



Que pouvons nous remarquer? L'information Température d'eau est utilisée par trois calculateurs différents. Ne serait il pas judicieux que cette information circule entre les différents calculateurs ? C'est ce qui est rendu possible grâce au Multiplexage.

L'exemple si dessous propose un synoptique d'une architecture Multiplexée.



L'information température d'eau est maintenant partagée par tous les calculateurs et circule sur le bus d'information commun.

Le multiplexage permet donc la mise en commun et l'échange d'informations entre système.

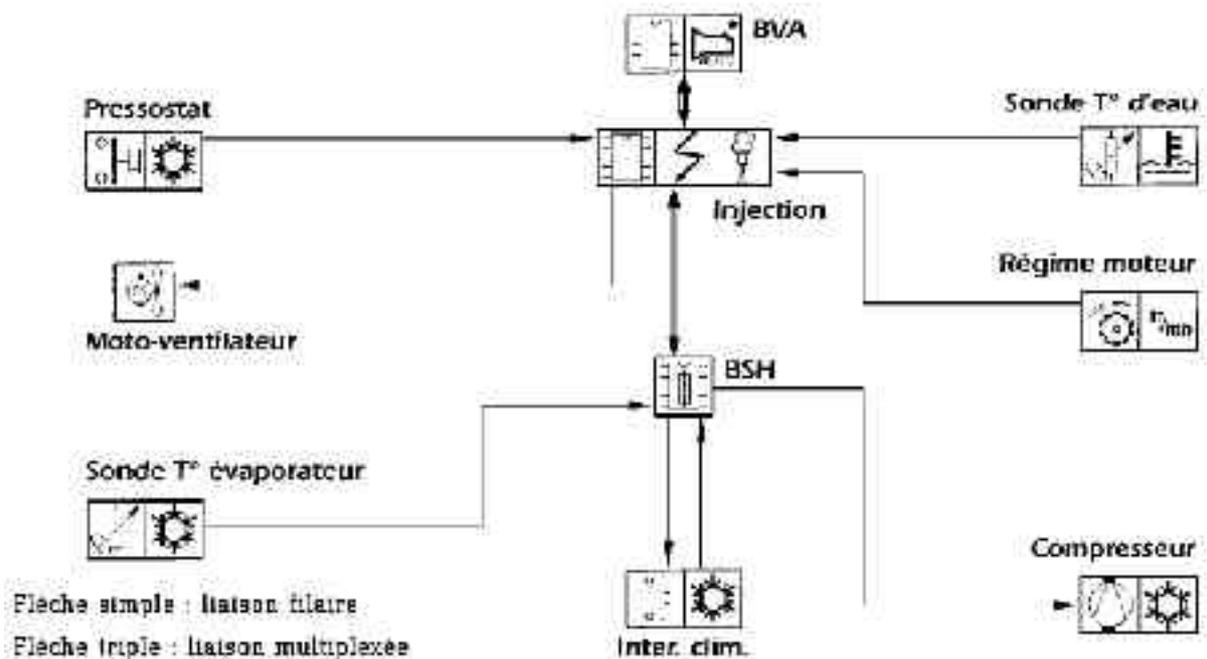
Il s'en suit que la structure électrique d'une voiture est bâtie autour des calculateurs. Le calculateur est une unité électronique qui gère et traite des signaux d'entrée et de sortie.

Deux calculateurs assurent une grande partie du fonctionnement global de la voiture :

- le calculateur Electronique Contrôle Moteur ( ECM pour peugeot, calculateur d'injection chez d'autres) et
- le calculateur de boîtier de servitude d'habitacle (BSI encore une fois propre à Peugeot – UCE chez renault – BSH chez d'autres). C'est le BSH qui joue le rôle de passerelle entre tous les calculateurs.

### Prenons un exemple

Nous souhaitons mettre la climatisation. En appuyant sur le bouton « A/C » que va-t-il se passer ? Des informations sous forme de requête vont circuler.



- En nous aidant de l'organigramme ci-dessus nous constatons que le BSI reçoit l'information « Climatisation activée » par le calculateur de climatisation, via un contact à la masse où une tension définie (5V par exemple). Cette information est donc une entrée pour le calculateur BSH et une sortie pour le calculateur de climatisation.

- Le BSI demande au calculateur d'injection l'autorisation d'enclencher le compresseur.

Le calculateur d'injection reçoit cette requête. Il va vérifier que:

La vitesse de rotation du moteur est bien inférieure à une consigne paramétrée dans le calculateur ex : 6000 Tr/min

Idem pour l'information température d'eau moteur

Et pour la pression du circuit réfrigérant (Ex >3 bars et <27 bars)

Si tous les paramètres mesurés sont dans les tolérances le boîtier d'injection autorise la mise en route de la climatisation au BSH.

Le BSH enclenche alors :

Le compresseur de climatisation

Signale au boîtier d'injection la mise en route du compresseur

Le boîtier d'injection va alors :

Commander le déclenchement des motoventilateurs en petite ou grande vitesse.

*Qu'avons-nous appris ?*

- *Que les calculateurs peuvent envoyer ou recevoir des requêtes entre eux.*
- *Que l'information donnée par un capteur à un calculateur est directement accessible par tous les autres.*
- *Que le BSH est au cœur du système servant de carrefour de données pour tous les calculateurs.*
- *Que l'information circule par le bus d'information qui est bidirectionnel et partagé par deux calculateurs qui parlent sur le même fil.*

## **B) – Organisation d'un réseau multiplexé chez Peugeot Le FULL CAN**

### **1) - Architecture et organisation des calculateurs**

L'architecture Full Can est constituée classiquement de 4 réseaux CAN.

- Un réseau Carrosserie
- Un réseau Confort
- Un réseau Intersystème
- Un réseau Diag

Les deux premiers utiliseront le protocole CAN Low Speed avec un débit brut de 125Kbits/s.

Les deux derniers utiliseront le protocole CAN High Speed avec un débit brut de 500Kbits/s.

#### **a) - LE RESEAU INTERSYSTEMES**

Les composants du réseau intersystèmes Full Can selon équipement sont :

- Le calculateur Electronique Contrôle Moteur (ECM)
- Le calculateur Boîte de Vitesse Automatique (BVA)
- Le calculateur Anti Blocage de Roue (ABS/ESP)
- Le calculateur Angle Volant (CAV)
- Le calculateur Groupe ElectroPompe (GEP)
- Le calculateur Détection de sous gonflage (DSG)
- Le calculateur de Suspension (BHI)
- Le calculateur Boîtier de Servitude Intelligent (BSI)

Tous les calculateurs fonctionnent en multi-maîtres. C'est-à-dire que chaque calculateur peut communiquer à n'importe quel instant.

Chaque calculateur est relié à un certain nombre de capteurs et d'actionneurs.

Les informations sont transmises en utilisant le procédé de diffusion de données en mode périodique complété, si nécessaire, du procédé évènementiel.

### **Le mode de transmission périodique**

Le message est émis périodiquement sur le réseau. La période d'émission est adaptée de façon à ce que le destinataire puisse traiter le message.

### **Le mode de transmission évènementiel**

C'est un message émis sur le réseau suite à une action de l'utilisateur.

### **Protection du réseau contre les émissions d'un calculateur défaillant :**

Lorsqu'un calculateur émet un message sur le bus, les autres doivent s'acquitter du message en renvoyant l'équivalent d'un accusé de réception. L'accusé de réception signifie que le message a bien été reçu et compris. Si le calculateur récepteur ne parvient pas à déchiffrer le message il ne renvoie pas d'acquiescement.

Par conséquent si personne ne répond au message d'un calculateur ce dernier sait qu'il connaît une défaillance et cesse immédiatement ses émissions. Le réseau n'est donc pas occupé anarchiquement.

## **b) - LES RESEAUX CARROSSERIE ET CONFORT**

Les composants du réseau CARROSSERIE Full Can selon équipement sont :

- Le calculateur Toit Ouvrant (TO)
- Le calculateur Capteur de Pluie (CDPL)
- Le boîtier de mémorisation (BDM)
- Le calculateur AirBag (RBG)
- Le calculateur COM2000 (HDC)
- Etc...

Les composants du réseau CONFORT Full Can selon équipement sont :

- Le Combiné d'Instrumentation (CMB)
- La Radio (RAD)
- L'Ecran Multifonction (CLIM, TDC)

- Le Chargeur CD
- Les calculateurs Electronique de Portes (EDPcond et EDPpass)

Pour ces deux réseaux c'est toujours le BSI qui orchestre tout.  
Mais chaque calculateur est apte à envoyer des informations sur le Bus d'information.

*Exemple : Augmentation du volume de l'autoradio.*

*La radio va alors envoyer périodiquement sur le bus l'information «niveau du volume ».*

*Tous les calculateurs reçoivent cette information. Seul l'écran multifonction est intéressé par ce message. Il va donc le traiter et ensuite afficher pour l'utilisateur le nouveau niveau du volume radio sur l'écran multifonction.*

## **2) - Les Phase de Réveil, Mise en Veille et Veille des calculateurs**

L'état d'activité d'un calculateur connaît plusieurs phases décrites ci-dessous.

**Veille** : Lorsque le moteur est arrêté et qu'aucune fonction n'est utilisée depuis plus d'une minute, le système se met en veille afin d'économiser la batterie.

**Réveil** : Lorsqu'une action utilisateur est détectée soit par le BSI soit par tout autre calculateur apte à effectuer le réveil du système, le système passe de la Phase Veille à la Phase Réveil. Cet état transitoire dure environ 50ms. Puis la BSI ordonne le passage en mode normal et tous les calculateurs adoptent le mode NORMAL.

**NORMAL** : En mode normal, toutes les fonctionnalités sont assurées.

**Mode COM OFF** : Si un outil de diagnostic est connecté au véhicule pour une mise à jour du Soft embarqué d'un calculateur, le BSI demande à tous les calculateurs de se mettre en mode COM OFF. Ce mode coupe toute communication des calculateurs sur les bus de données. Ils sont donc muets. Après le téléchargement, la BSI autorise les calculateurs à reprendre un mode NORMAL.

**Mode DEGRADE** : Si un calculateur perd la communication sur son bus d'information, il se met en mode DEGRADE. De cette façon il peut toujours assurer certaines de ses fonctions comme par exemple l'allumage des feux de code.

**Mode mise en veille** : Si le moteur est coupé et si aucune fonction client n'est activée pendant plus d'une minute, le BSI ordonne à tous les calculateurs de se mettre en mode MIS EN VEILLE. Cet état est un état transitoire où les calculateurs demeurent 15 secondes avant de passer en mode VEILLE.

### **3) - Phase de Vie du réseau CAN Intersystème**

Les phases de vie du réseau CAN intersystème sont principalement régies par la présence et l'absence du contact clé (+APC). Suite à la présence du +APC les calculateurs ont 300ms maximum pour s'initialiser et communiquer sur le réseau CAN. Ils passent alors en mode « Réveil ». Dès que le +APC est coupé les calculateurs passent en mode « veille », sauf les calculateurs étant en charge d'une fonction particulière qui doit se prolonger après la coupure du contact.

Exemple : motoventilateur de refroidissement. Ces calculateurs peuvent même fonctionner en auto-alimentation et ce jusqu'à 30ms.

Un signal supplémentaire a été créé lors de l'évolution vers les architectures FULL CAN, le signal RCD (réveil commandé à distance). Ce signal est destiné à réaliser un réveil total (comme pour la mise sous contact du +APC) ou partiel du réseau CAN pour anticiper la réalisation de certaines fonctions.

Le signal RCD est accompagné d'un message de réveil contenant un mot d'état indiquant quel calculateur est concerné par le réveil. Ainsi certains resteront en mode « veille ».

### **4) - Phase de Vie du réseau CAN Carrosserie Confort**

La phase de vie du réseau CAN Carrosserie reprend les grandes lignes du réseau CAN Intersystèmes.

Après la coupure du contact les calculateurs passent en mode veille après 1 minute si aucune action de l'utilisateur n'est demandée.

Si une action est détectée les calculateurs passent en phase Réveil (50ms) puis en phase Normal. Toutes les fonctions sont alors assurées.

## **II) - COUCHES PHYSIQUE du réseau CAN**

### **A) - Structure générale de la couche physique CAN**

La couche physique du réseau CAN peut être assimilée au bus d'information lui-même. C'est la partie câblée du réseau multiplexé qui se trouve entre chaque ordinateur.

Les caractéristiques de la couche physique comprennent:

- Le choix technologique du support du bus d'information (fil etc...)
- Les connecteurs.
- Les niveaux électriques des signaux.
- Les pentes des signaux.
- Le choix du câblage.
- La vitesse du bus

- Bien que le support du bus d'information puisse être varié (fibre optique, monofilaire, modulation de fréquence, courant porteur, etc...), c'est le mode bifilaire monobrin ou multibrins sur paire torsadée qui a été retenu par l'industrie automobile.

- Les débits autorisés vont jusqu'à 1Mbit/s. On trouve couramment des valeurs de 250Kbit/s et 500 Kbit/s. Ces débits ont une répercussion évidente sur la longueur maximale du réseau, qui sera prévue en fonction du débit.

- Deux éléments ont une incidence directe sur la qualité du signal en réduisant les perturbations des signaux émis et reçus.

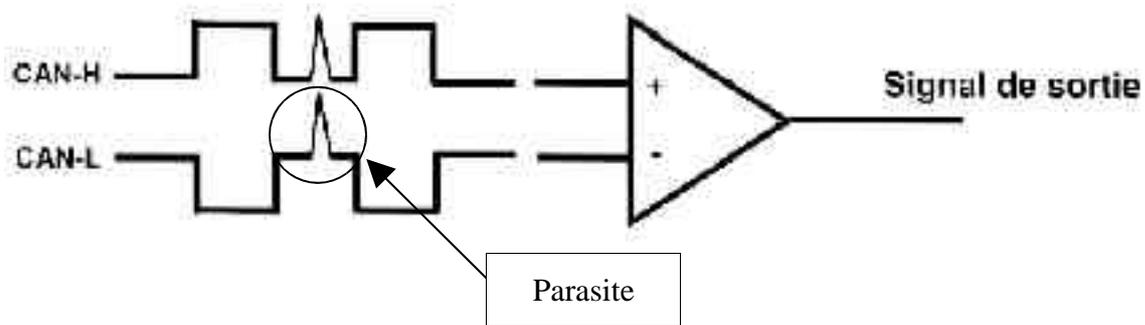
• **La transmission en mode différentiel** : La couche physique CAN est constituée d'une paire de fils sur laquelle la transmission des signaux s'effectue en utilisant la technique de transmission différentielle. Elle permet de s'affranchir des altérations causées par la superposition de parasites au signal transmis. Dans l'absolu le même parasite apparaîtra nécessairement sur les deux fils à la fois car ils se situent dans le même environnement.

Or les signaux CAN H et CAN L sont transmis en opposition de phase.

Un étage d'entrée différentielle effectue une soustraction des amplitudes des signaux.

Tension de sortie de l'étage diff = Tension CAN H – Tension CAN L

$$U(\text{CAN H}) - U(\text{CAN L}) = \text{Sortie}$$

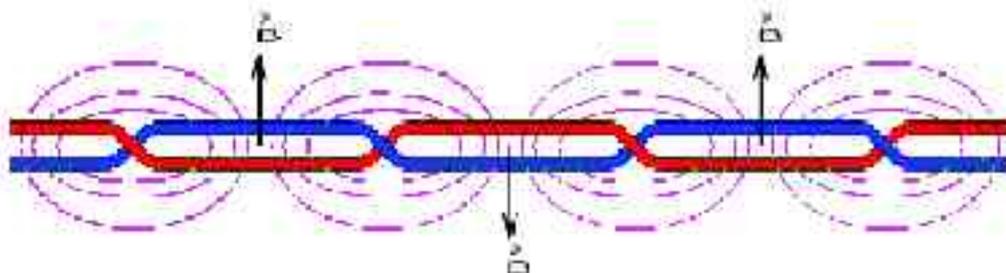


En soustrayant les deux signaux, le parasite s'annule permettant une immunité au bruit.

### • La transmission sur paire torsadée

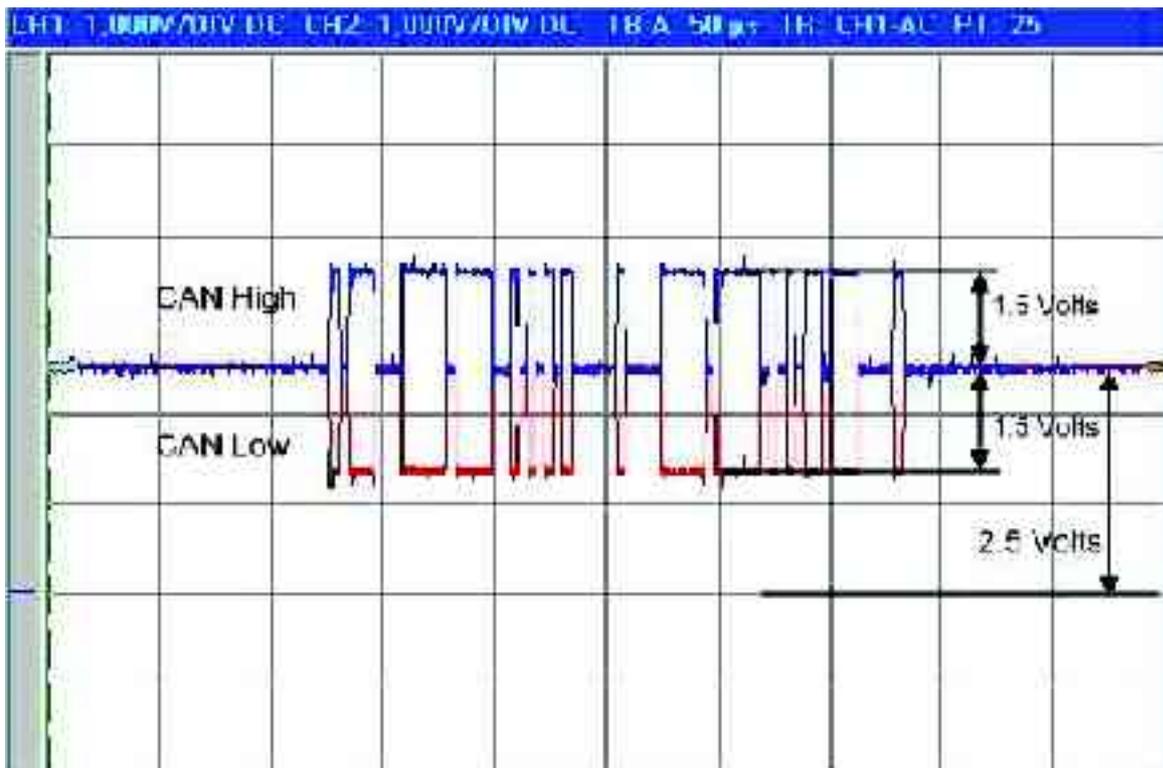
Les changements de niveau du signal sont des sources d'émissions électromagnétiques. Ces émissions électromagnétiques émises par chaque câble engendreraient une pollution de l'un vers l'autre et réciproquement. Plus le changement de niveau (dominant vers récessif et inversement) est rapide, plus la dissipation énergétique est importante. Chaque constructeur détermine les temps de montée et de descente en fonction des performances de CEM (Compatibilité Electro Magnétique) souhaitées. Du fait de la lecture en mode différentiel, les pentes introduites doivent être parfaitement symétriques. Valeurs courantes de  $t$  : de 20 à 80ns.

Ainsi pour contrer ses champs rayonnés perturbateurs, l'utilisation de paires torsadées a été choisie. Elle permet de s'affranchir des émissions du câble en inversant à chaque torsade les vecteurs induction produits, ce qui les annule deux à deux. Elle permet également de réduire les perturbations extérieures en annulant par opposition les courants induits dans chaque boucle par un champ perturbateur.



*Remarque* : La transmission en mode différentiel et par fils torsadés a permis d'éviter d'avoir recours à l'utilisation des fils blindés.

La trace d'oscilloscope ci-dessous met en évidence les caractéristiques électriques des signaux :



L'information circule sur deux fils (CAN H et CAN L). Les signaux CAN H et CAN L sont symétriques autour d'une référence à 2.5 Volts. Les niveaux récessifs/dominants sont lus sur CAN L (la trace rouge). Les deux signaux vus ensemble permettent l'interprétation suivante :

- un ventre = bit dominant = 2,5V étage diff = bit à 0 dans le message
- un noeud = bit récessif = 0V étage diff = bit à 1 dans le message

## **B) - Alternative de la couche physique CAN**

La couche physique CAN présente en fait deux alternatives : La couche physique CAN HIGH SPEED pour les débits compris entre 250kbts/s et 1Mbits/s et la couche physique CAN LOW SPEED FAULT TOLERANT pour les débits ne dépassant pas 125 kbts/s. La première est celle ayant été créée dès la création du protocole CAN. La seconde a été créée bien plus tard, afin de proposer une couche physique tolérante aux pannes.

### **1) – La couche Physique CAN HIGH SPEED**

#### **a) - Niveaux de tension**

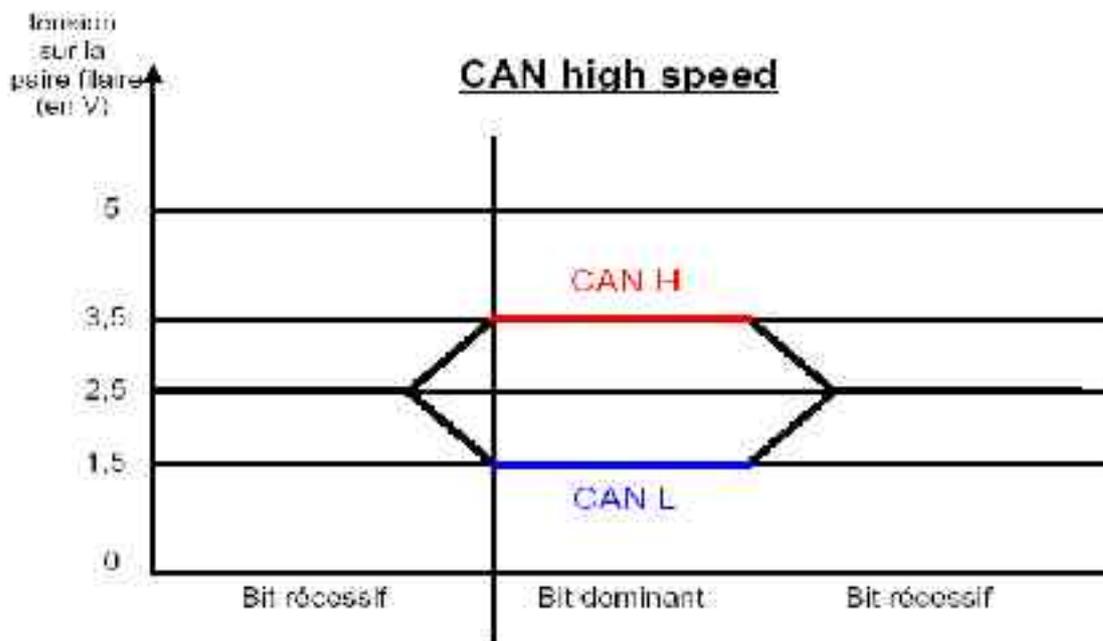
Les niveaux de tension de la paire différentielle CAN High Speed sont normalisés et sont représentés par la figure ci-dessous.

Pour le ventre  $V_{diff}=2V$ .

Pour le nœud  $V_{diff}=0V$ .

La somme des temps de montée et de descente d'un bit n'exède pas  $\frac{1}{4}$  au maximum du temps de propagation d'un bit.

L'amplitude des signaux est relativement faible afin de pouvoir augmenter la vitesse sur le bus.



## b) – Notion de diagnostic de la ligne en High Speed

La couche physique CAN High Speed, de par sa nature, ne fournit aucune tolérance aux pannes car l'étage différentiel est simple. En présence de panne, le comparateur différentiel ne délivre plus de signaux et la communication n'est plus possible :

## 2) – La couche Physique CAN LOW SPEED FAULT TOLERANT

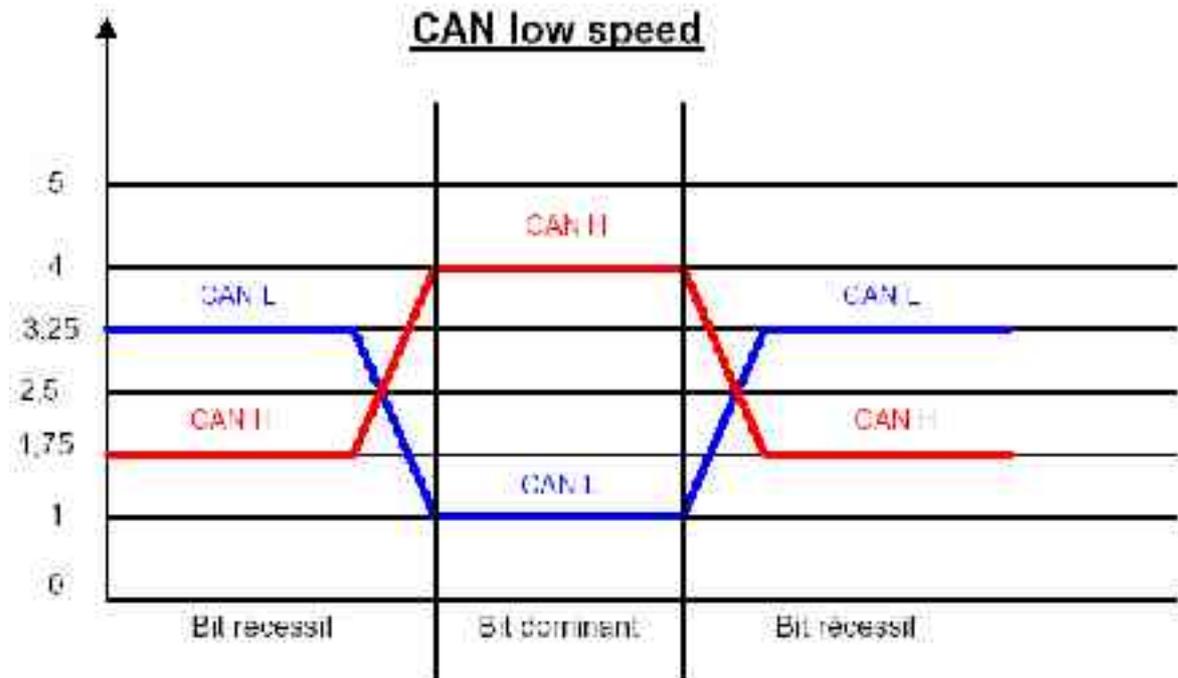
### a) - Niveaux de tension

Les niveaux de tension de la paire différentielle CAN High Speed sont normalisés et sont représentés par la figure ci-dessous.

Pour le ventre  $V_{diff}=3V$ .

Pour le nœud  $V_{diff}=1,5V$ .

La somme des temps de montée et de descente d'un bit n'exède pas  $\frac{1}{4}$  au maximum du temps de propagation d'un bit.



L'amplitude des signaux est plus élevée qu'en High Speed. En effet les débits max de transfert sont moins élevés ici (125kbits/s).

#### b) - Notion de diagnostic de la ligne en CAN Low Speed Fault Tolerant

La couche physique du Low Speed fournit une bonne tolérance aux pannes simple. En effet l'étage différentiel est complété par une unité électronique (2 comparateurs) qui reçoit et compare les deux lignes CAN L et CAN H à une tension de référence.

Ce module électronique de diagnostic permet de transmettre un signal même dans des conditions dégradées.

Cas couverts par le système :

- Court-circuit à la masse de CAN-H : fonctionnement dégradé sur CAN-L
- Court-circuit à la batterie de CAN-H : fonctionnement dégradé sur CAN-L
- Court-circuit à la masse de CAN-L : fonctionnement dégradé sur CAN-H
- Court-circuit à la batterie de CAN-L : fonctionnement dégradé sur CAN-H
- Circuit ouvert de CAN-H : fonctionnement dégradé sur CAN-L
- Circuit ouvert de CAN-L : fonctionnement dégradé sur CAN-H
- Court-circuit entre CAN-H et CAN-L : La ligne CAN-L est déconnecté et le fonctionnement en mode dégradé se fait sur CAN-H.

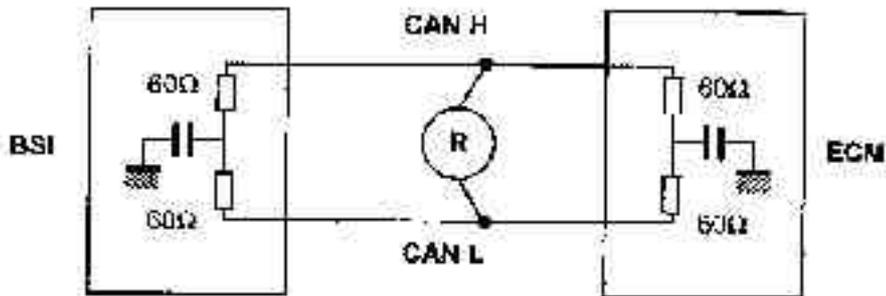
Le module électronique de diagnostic se situe dans l'interface de ligne. Nous verrons plus loin le rôle de l'interface de ligne. Ce module est capable de transmettre un signal Rx au calculateur dans de nombreux cas de défaillance.

L'interface de ligne va aussi délivrer un bit d'erreur lorsqu'une défaillance est reconnue.

- Panne détectée sur une des 2 lignes : NERR=0
- Aucune panne détectée sur le bus d'information : NERR=1

### 3) - Test à l'ohmètre d'une paire torsadée CAN

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**).



Mesure des deux résistances de 120 Ω en parallèle : soit 60 Ω. La mesure de toute autre valeur est une anomalie.

- $R > 60 \Omega \Rightarrow$  coupure de ligne
- $R < 60 \Omega \Rightarrow$  lignes en court-circuit, ou plus de deux résistances de terminaison dans le réseau.

### **III) - Le Protocole CAN**

Le protocole CAN (Control Area Network) est un protocole de communication série qui supporte des systèmes temps réel avec un haut niveau de fiabilité.

La structure du protocole du bus CAN possède implicitement les principales propriétés suivantes :

- hiérarchisation des messages.
- garantie des temps de latence.
- souplesse de configuration.
- réception de multiples sources avec synchronisation temporelle.
- fonctionnement multi maîtres.
- détections et signalisations d'erreurs.
- retransmission automatique des messages altérés dès que le bus est de nouveau au repos.
- distinction d'erreurs : d'ordre temporaire ou de non fonctionnalité permanente au niveau d'un nœud.
- déconnexion automatique des nœuds défectueux.

#### **A) \_\_\_\_\_ - OSSATURE**

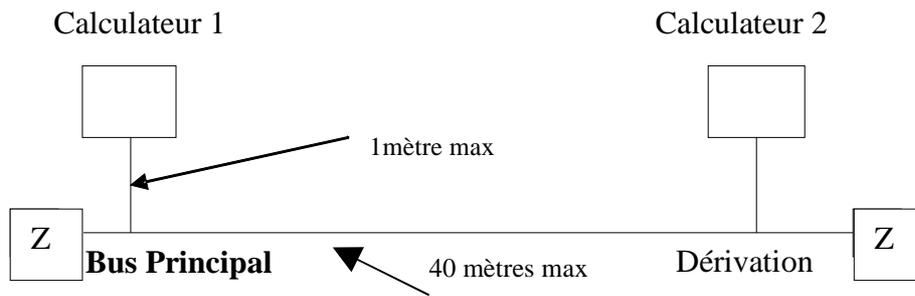
##### **1) – Organisation et câblage**

Le protocole CAN permet une répartition spatiale des calculateurs assez souple. Cependant il existe certaines contraintes techniques notamment à cause des phénomènes de propagation et de réflexion des signaux sur une ligne de communication.

Les calculateurs sont le plus souvent connectés en obéissant à une topologie de type **arbre-bus** en essayant d'organiser les équipements le long d'un bus principal dont les 2 extrémités doivent être munies de leur adaptateur d'impédance de ligne « Z (Résistances de 60 + condensateurs) ».

Selon la norme CAN, un calculateur ne doit pas être connecté à plus d'un mètre de distance de l'arbre bus.

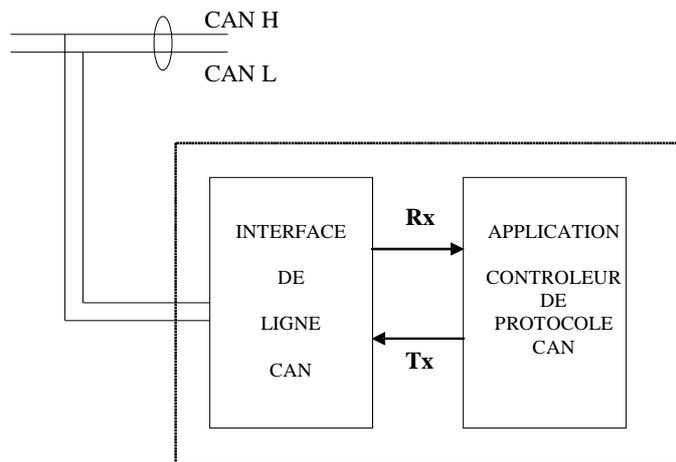
Le nombre maximum de nœuds CAN sur le même bus est de 16 et la longueur maximale autorisée entre les 2 calculateurs les plus éloignés du système est de 40 mètres.



## 2) – Structure d'un nœud

Qu'appelons nous le nœud ? C'est le point physique raccordant le bus principal à un calculateur.

Entre le cœur numérique et le bus il existe une interface électronique.



L'interface est constituée d'une interface de ligne et d'un contrôleur de protocole CAN (CP CAN) :

### a) – L'interface de ligne

Elle a la charge de traduire les signaux du bus CAN, CAN-H et CAN-L en signal Rx dépourvu de parasite vers le CP CAN et inversement traduire le signal Tx issu du CP CAN en signaux CAN-H et CAN-L vers le bus CAN.

Ses deux rôles sont donc :

- La mise en forme du signal
- Fonction d'antiparasitage du signal

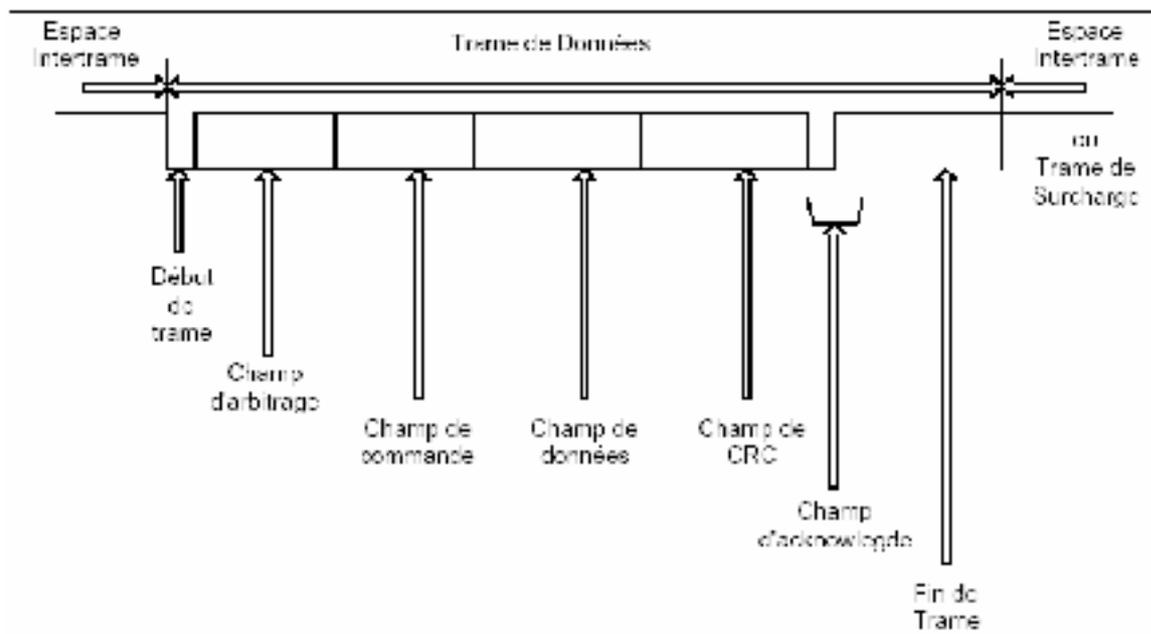
### b) – Le contrôleur de protocole CP CAN.

Il gère le protocole de communication, c'est-à-dire :

- Codage/Décodage des messages CAN entrants et sortants.
- Accès au bus après détection de bus libre
- Gestion des collisions.
- Gestion des erreurs (gestion des compteurs d'erreur Tx et Rx et des états de communication correspondants : Erreur active, Erreur Passive, Bus OFF).
- Interface avec le microprocesseur (ou microcontrôleur) réalisant les tâches fonctionnelles.

## **B) – Structure d'une trame de données**

Une trame est constituée de 7 champs principaux:



- le début de trame **SOF** (Start Of Frame), 1 bit dominant.
- le champ d'arbitrage ou champ de l'identification **IDEN**, 12 bits.
- le champ de contrôle **COM**, 6 bits.
- le champ de données **DATA**, 0 à 64 bits.
- le champ de **CRC** (Cyclic Redundancy Code), 16 bits.
- le champ d'acquiescement (**Acknowledge**), 2 bits.
- le champ de fin de trame **EOF** (End Of Frame), 7 bits récessifs.

### **1) - Début de trame SOF**

Le début de trame consiste à présenter un bit dominant sur le bus de données. Le niveau du bus passera de l'état de repos (au moins dix bits consécutifs récessifs) à l'état occupé (bit dominant).

Ce bit marque donc le début de la trame et permet à tous les organes connectés aux nœuds de se synchroniser.

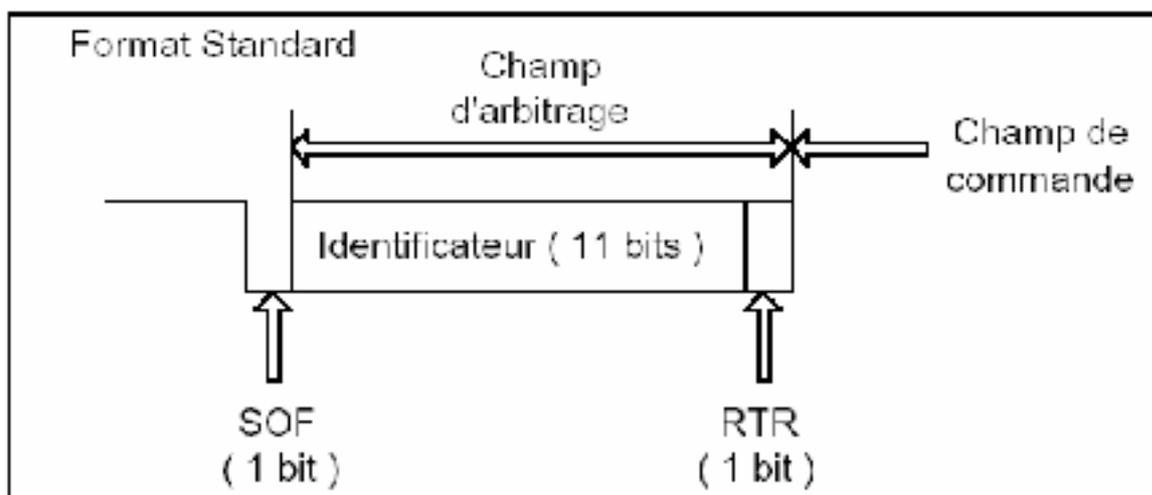
## 2) – Le champ d'identification IDEN

Dans une trame standard, le champ d'arbitrage est composé des 11 bits de l'identificateur et d'un bit de **RTR (Remote Transmission Request)** qui est dominant pour une trame de données et récessif pour une trame de requête.

Pour résumer ce bit permet de déterminer si la trame contient une transmission de données ou une requête de données.

Nous ne détaillerons pas ici le champ d'arbitrage pour une trame. En effet pour plus de détails consulter la norme BOSCH.

Toutefois 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.



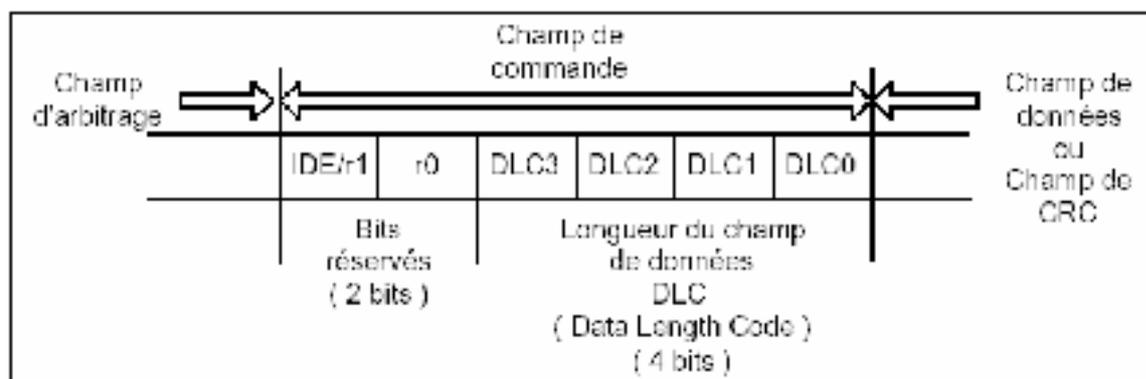
## 3) – Le champ de contrôle

Le champ de contrôle est composé de 6 bits. Son rôle est d'indiquer la longueur du champ de données de la trame en cours.

Les deux premiers (r1 et r0) sont des bits de réserve qui sont donc non utilisés. Leur rôle est d'assurer des compatibilités futures. Les quatre derniers bits permettent de déterminer le nombre d'octets de données contenus dans le champ de données pour une trame de données

ou bien le nombre d'octets de données dont a besoin un nœud du réseau lors d'une trame de requête. Le nombre d'octets de données ne peut pas excéder la valeur de 8.

Taille des données en octets	DLC (Data Length Code)			
	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
0	D	D	D	D
1	D	D	D	R
2	D	D	R	D
3	D	D	R	R
4	D	R	D	D
5	D	R	D	R
6	D	R	R	D
7	D	R	R	R
8	R	D	D	D



#### 4) – Le champ de données

Le champ de données a une longueur qui peut varier de 0 à 64 bits.

1 octet étant codé sur 8 bits. (0 à 8 octets). Dans le cas d'une trame de requête, le champ de donnée est vide.

#### 5) – Le champ de CRC (Contrôle de Redondance Cyclique)

Le rôle du champ de CRC est de vérifier l'intégralité du contenu de la trame CAN.

Les contrôles par CRC sont très utilisés. Ils sont plus fiables que les vieux systèmes de contrôles de parité et permettent de travailler sur un ensemble binaire sans préjuger de sa structure interne. L'idée du CRC est de transmettre, conjointement avec les données significatives, une valeur calculée par l'émetteur à partir des Data à transmettre. Le récepteur effectue le même calcul de son côté, et si le résultat est identique, alors le message n'a pas été vérolé durant la transmission.

Le CRC est composé de 16 bits. La séquence CRC calculée est contenue dans les 15 premiers bits tandis que le dernier bit est un délimiteur de fin de champ de CRC (bit toujours récessif). Ce champ de CRC permet de s'assurer de la validité du message transmis, et tous les récepteurs doivent s'astreindre à ce procédé de vérification. Seuls les champs de SOF, d'arbitrage, de contrôle et de données sont utilisés pour le calcul de la séquence de CRC.

La séquence de CRC est calculée par la procédure suivante :

### Explication théorique

Le calcul va utiliser une opération de base : la division des polynômes.

Appelons  $M(x)$  le polynôme représentant les datas à coder.

Son degré est représenté par  $m$ .

Maintenant prenons un polynôme  $G(X)$  connu appelé générateur.

Son degré est représenté par  $k$ .

a) La première étape consiste à multiplier  $M(x)$  par  $X^k$ .

Le résultat  $P(x) = X^k * M(x)$  est un polynôme de degré  $m+k$ .

En fait, cela provoque un décalage de  $M(x)$  de rang  $k$  vers la droite. Ça permet de garantir que la soustraction entre  $P(x)$  et un polynôme de degré  $k$  est toujours positive.

b) On effectue la division euclidienne de  $P(x)$  par  $G(x)$ . Le calcul fournit : un Quotient  $Q(x)$ , et un Reste  $R(x)$  de degré  $k-1$ .

Soit :

Si  $P(x) = \text{Dividende}$ ,  $G(x) = \text{Diviseur}$ ,  $Q(x) = \text{Quotient}$ ,  $R(x) = \text{Reste}$  alors,

$$Q(x) * G(x) = P(x) - R(x)$$

$$\boxed{P(x) = Q(x) * G(x) + R(x)}$$

c) Le résultat final est calculé en faisant :

$$S(x) = P(x) - R(x)$$

$$S(x) = [ Q(x) * G(x) + R(x) ] - R(x)$$

$$\boxed{S(x) = Q(x) * G(x)}$$

Donc, si l'on divise  $S(x)$  par  $G(x)$ , le reste doit être nul, des deux côtés de la connexion. Sinon c'est qu'il y a eu détection d'une erreur.

Le polynôme générateur standard est de la forme et de degré comme suit :

$$G(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \text{ (degré 16, codé sur 17 bits)}$$

L'algorithme ci-dessus s'appliquera bien sûr avec des nombres binaires.

Dans la suite, les nombres utilisés en exemple seront plus courts que ceux réellement utilisés pour une trame normale.

Normalement le flux binaire à contrôler est « multiplié » par 100...(16 fois)..0 . Cela revient à lui ajouter 16 zéro. On obtient un nombre binaire M.

### Exemple de calcul

Soit  $M(x)$  un polynôme qui codé en binaire donne 1100101011. C'est le flux de données à contrôler et un polynôme générateur :

$G(x) = (X^4 + X^2 + 1)$  qui codé en binaire donne 10101.

$M = 1100101011$

$G = 10101$

Le degré de  $G(x)$  étant de 4, on multiplie par  $X^4$ , soit 10000 en binaire. Décalage d'un rang 4 vers la gauche de  $M(x)$ :

$P = M \times 10000 = 1100101011 \times 10000$

$P = 11001010110000$

On opère la division binaire entre M et le Générateur.

$P / G = 11001010110000 / 10101$

Le reste R est 0110, le quotient lui est 111101110. Voir tableau ci-dessous pour l'opération.

*Remarque : en aucun cas la valeur du quotient ne sera utilisée...*

On soustrait de P le Reste R obtenu de la division précédente. Le résultat S équivaut aux Data d'origine suivi du CRC

$S = P - R$

$S = 11001010110000 - 0110$

$S = 11001010110110$

Le récepteur divise les données reçues S par la valeur du Générateur. Si l'opération ne donne pas un reste nul, alors il y a eu modification des données lors du transport.



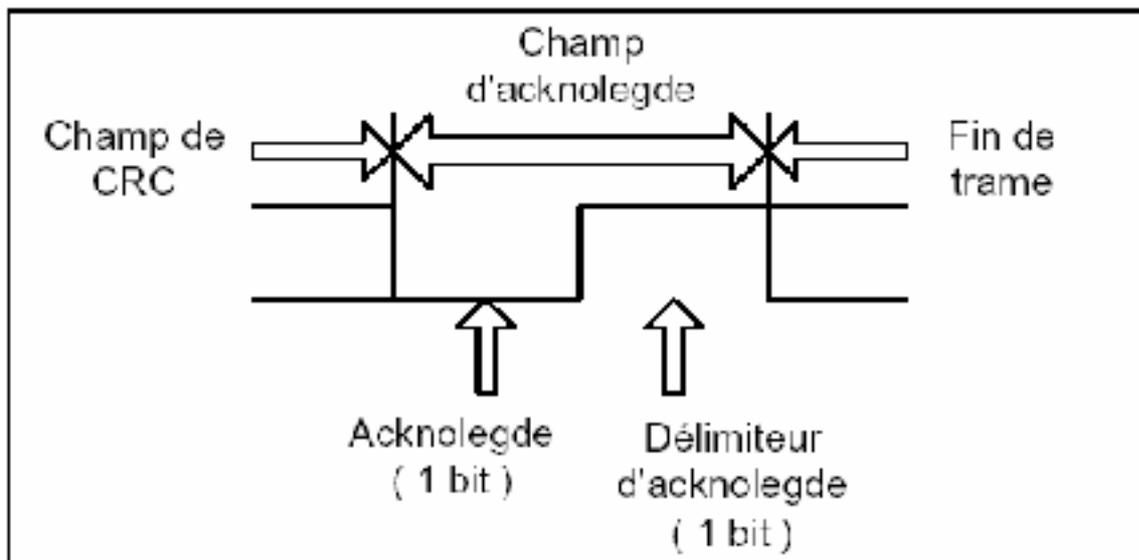
						1	0	1	0	1																		
											0	1	0	1	0													1
											1	0	1	0	1													
																												1
											1	0	1	0	1													
																												1
																												0

### 6) – Le champ d’acquiescement

Le champ d’acquiescement possède 2 bits. La station émettrice de la trame laisse le bus libre pendant 2 coups d’horloge (ce qui correspond à l’émission de deux bits récessifs) et elle passe en mode réception pendant le premier coup d’horloge.

Le premier bit correspond à l’acquiescement par l’ensemble des nœuds ayant reçu le message. Si aucune erreur n’a été détectée par un nœud (après calcul du CRC), ce dernier émet un bit dominant sinon il émet une trame d’erreur. La station émettrice du message original doit alors être capable de réagir en fonction de l’émission d’un bit dominant ou non par les autres stations sur le premier bit du champ d’acquiescement.

Le second bit est un bit délimiteur d’acquiescement qui doit toujours être récessif.



Résumons le rôle de ces deux bits :

- Le bit d'acquittement proprement dit :
  - 1 : Non acquitté
  - 0 : Acquitté
- Le bit de délimitation d'acquittement (1 bit récessif)

L'acquittement est obligatoire et tous les noeuds du réseau, qu'ils soient ou non destinataires du message, doivent acquitter la trame. Un noeud, ou station, qui détecte une erreur (sur le CRC par ex.) n'acquittera pas la trame et déclenchera un mécanisme de traitement d'erreur qui conduit à la destruction de la trame.

Plusieurs remarques s'imposent immédiatement :

- Si une station acquitte la trame, un bit ACK dominant est posé. Toute autre station qui serait en désaccord avec ce jugement ne peut en aucun cas forcer ce bit à 1 (impossibilité électrique), donc elle détruit la trame (en produisant une trame d'erreur)!
- La présence d'un acquittement ne permet pas d'affirmer que le destinataire a bien reçu la trame car il peut être temporairement déconnecté du réseau (voir plus loin traitement des erreurs). Il se peut même qu'aucun noeud ne soit concerné par le message. L'acquittement est simplement la preuve que la trame qui circule est valide, et qu'au moins un noeud a validé cette structure physique.
- Il faudra trouver une autre forme d'acquittement si l'on veut s'assurer que le destinataire a bien reçu le message et qu'il l'a compris.

## 7) - Champ de fin de trame

C'est le délimiteur de fin de données. Il est composé de 7 bits récessifs.

Ce nombre de 7 bits consécutifs dans le même état déroge à la règle de Bit-Stuffing. Ce champ étant fixe, il est nécessaire de désactiver le codage (à l'émission) et le décodage (à la réception) suivant la règle du Bit-Stuffing. Ce procédé de bit-stuffing sera décrit plus loin.

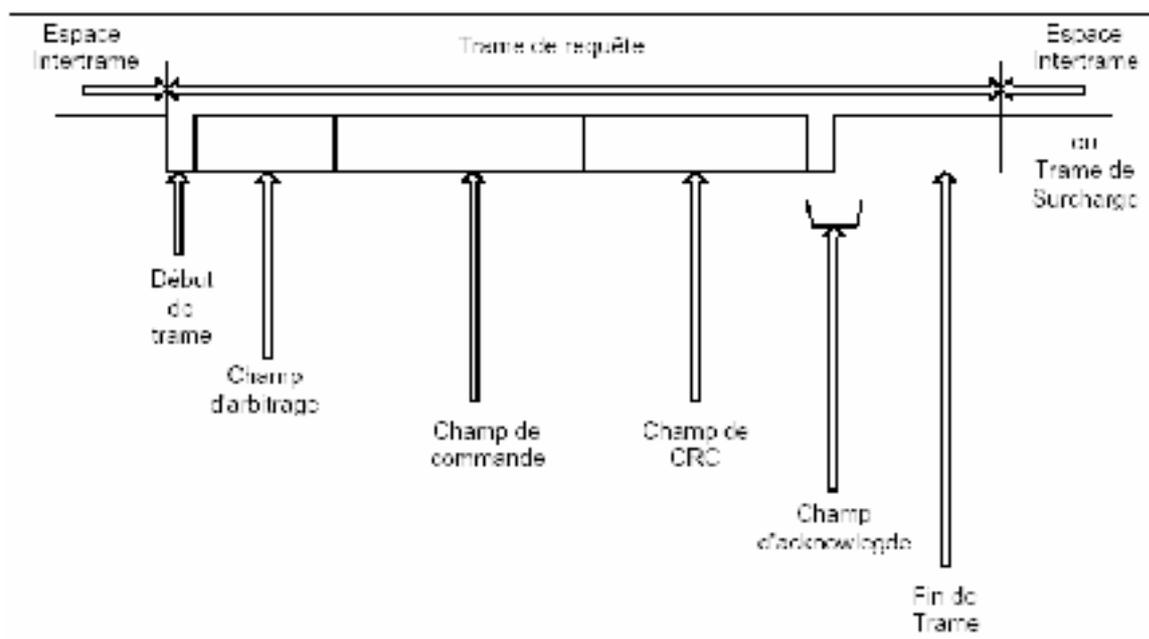
## **B) – Structure d'une trame de requête**

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

Dans le champ d'arbitrage, le bit de RTR est récessif. Par conséquent si deux nœuds émettent chacun une trame possédant le même identificateur (c'est à dire qu'un nœud émet une trame de données et l'autre une trame de requête), l'arbitrage sur le bit de RTR va donner la priorité à la trame de données.

Si un nœud a besoin d'un certain nombre de données, il va émettre une trame de requête dès que le bus sera libre en prenant soin d'indiquer dans le champ de contrôle le nombre d'octets de données dont il a besoin.

Les règles de construction des autres divers champs d'une trame de requête sont les mêmes que dans le cas d'une trame de données.



## **C) – Règles du Protocole**

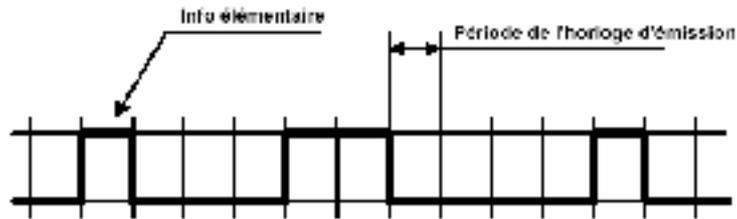
### **1) – Le bit Stuffing**

#### **Problème lié à la transmission série**

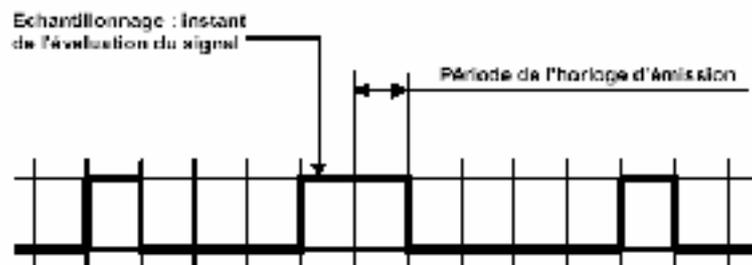
Les informations élémentaires ou bits se succèdent à intervalles de temps réguliers sur la même ligne.

Dans le cas d'une transmission en mode asynchrone (sans notion de synchronisation des horloges) les évènements pourraient se dérouler de la manière suivante :

- L'émetteur génère chacune de ses informations élémentaires au rythme de son horloge de transmission.



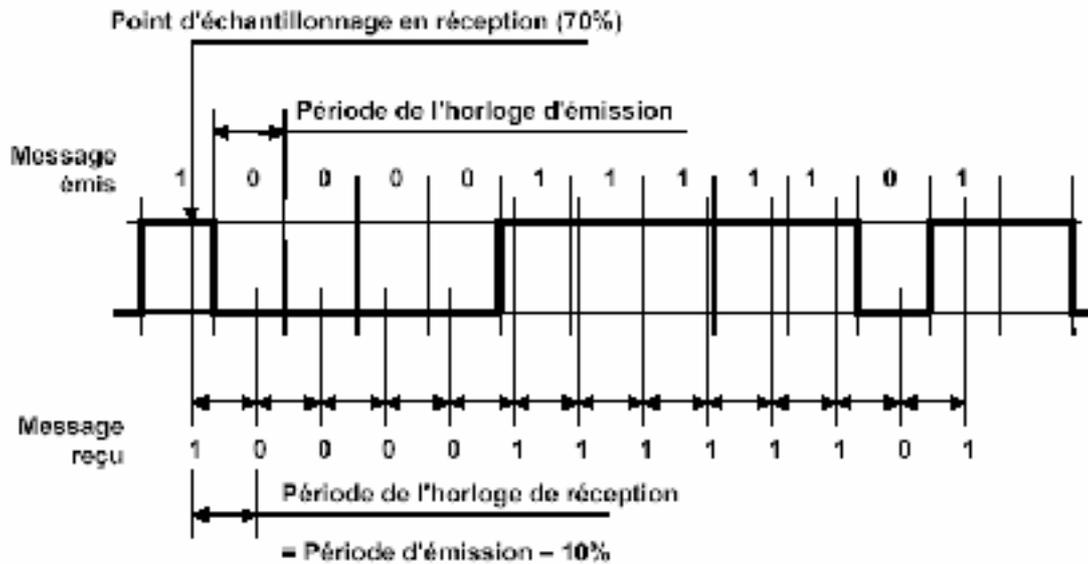
De son côté le récepteur du message doit utiliser sa propre horloge à la même fréquence et choisir l'instant de la lecture du bit. Généralement il attend que le niveau de tension correspondant à l'information soit suffisamment stabilisé. C'est le point d'échantillonnage, et il se situe de 25% à 75% après le début du bit.



Dans les équipements utilisés en automobile les horloges fonctionnent rarement à la même vitesse :

Elles utilisent des circuits résonants de type « RC » très bon marché mais d'une précision médiocre, par opposition aux horloges basées sur des systèmes piézo-électriques (quartz). Elles subissent des variations de température qui peuvent entraîner des dérives importantes.

Dans l'exemple suivant, qui reste très caricatural, on fait l'hypothèse que l'horloge du récepteur est plus rapide (+10%) ce qui se traduit par un intervalle réduit entre chaque échantillonnage.



Message émis : 1000 0111 1101

Message reçu : 1000 0111 1110 1

Les messages sont différents, 13 bits ont été lus pour 12 qui ont été émis.

Les transmissions en mode asynchrone ne sont pas adaptées aux réseaux, car les équipements ne sont pas synchronisés. Cette technologie reste cependant valable pour des messages très courts, comme nous le verrons plus loin.

### Les transmissions en mode synchrone

Les deux équipements sont synchronisés :

- Soit par une liaison supplémentaire commune qui permet de transporter le signal d'horloge.
- Soit par l'inclusion d'éléments de synchronisation dans le message à transmettre.

C'est cette dernière solution qui a été retenue dans le protocole de communication CAN. Elle permet de s'affranchir du problème précédent et de transporter une grande quantité d'information (plusieurs milliers de bits).

Après l'inclusion des éléments de synchronisation la trame est dite codée ou transcodée.

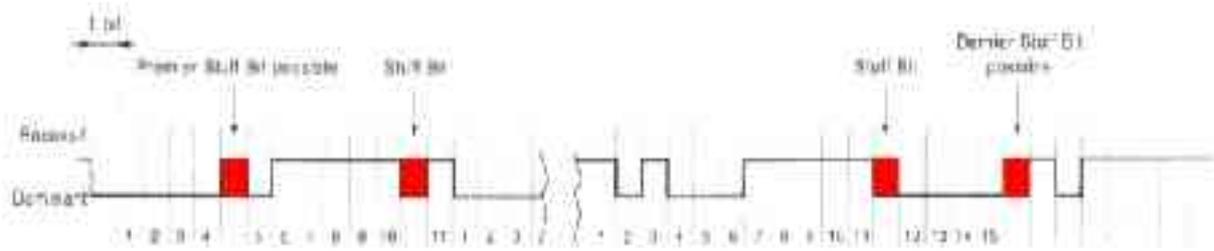
Le principe général s'appuie sur le fait que le récepteur doit pouvoir utiliser les changements d'états du signal (front montant ou descendant) pour se 'recaler' au cours de la lecture. Comme il n'y a pas d'assurance que le signal comporte suffisamment d'alternances naturelles, il faut en introduire à l'émission, et les prendre en compte pour l'interprétation du message après réception.

### Solution du « Bit Stuffing »

Le principe est d'introduire un bit de valeur opposée au précédent dans certaines conditions.

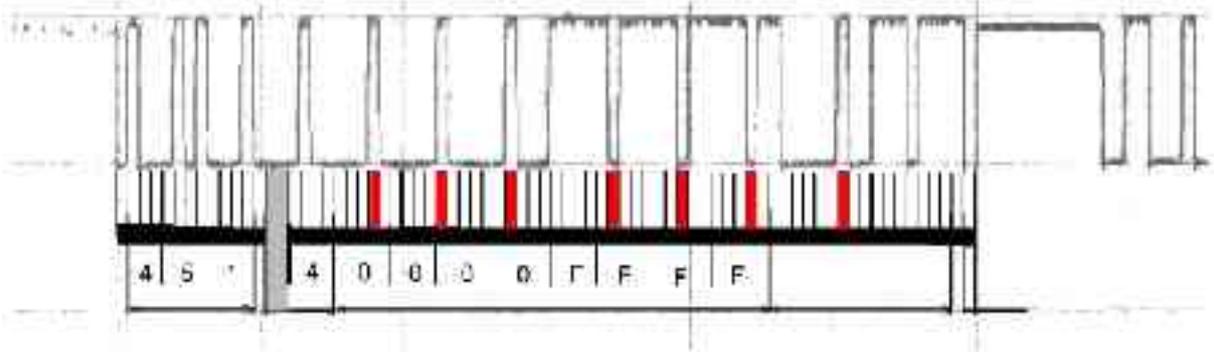
On utilise les alternances naturelles du message lorsqu'elles existent.

Lorsque se présente une succession de 5 valeurs identiques (assimilable à une composante continue) on introduit un bit de valeur opposée. On effectue un bourrage (stuffing) de la trame avec ce bit.



Les variations de durée de transmission dues au codage de la trame dépendent ici essentiellement du contenu du message. Plus il y aura de successions de 5 bits au même niveau dans une trame, plus il y aura de bit stuffing introduit et plus il y aura de bits à transmettre.

Par contre pour effectuer une lecture, à l'oscilloscope, des données utiles d'une trame il faut procéder à la suppression des bits Stuffing et ceci peut être un peu délicat :



**2) – Accès au bus : Collision et arbitrage**

**a) - Définition de la notion de 'Collision'**

Tout d'abord qu'est ce qu'une collision et comment surviennent elles sur le bus d'information ?

Nous travaillons en mode multimâtre. Par conséquent deux nœuds peuvent très bien essayer d'émettre un message au même moment. Dans ce cas il y a collision. Pourtant chaque nœud doit respecter une lecture de dix bits consécutifs récessifs avant d'émettre. Et la probabilité d'émettre au même moment après ce laps de temps est faible. Pourquoi alors?

Pour un électricien il est certain qu'entre deux points d'un circuit les potentiels sont identiques en l'absence de circulation de courant. Ce raisonnement était tout à fait adapté aux systèmes électromécaniques vus, jusqu'à présent, dans l'automobile. Il faut maintenant nuancer cette vision des choses. Aux fréquences auxquelles travaillent les bus, l'unité élémentaire d'information (le 'bit'), n'occupe qu'une partie de la ligne et se déplace sur cette ligne à une vitesse donnée (quel que soit son potentiel électrique représentatif d'un '0' ou d'un '1').

Quelques chiffres...

On se place dans le cadre d'un réseau local à 10Mbit/s sur une liaison de 500m entre deux postes. La vitesse de propagation de l'information est une constante, une fraction de C (vitesse de la lumière dans le vide), soit : 200 000 Km/s.

Dans ces circonstances :

- la durée d'un bit sur le câble est :

$$T_{(\text{bit\_c\^ab\l e})} = 1 / 10.10^6 = 10^{-7}\text{s}$$

- La longueur du câble qu'il occupe :

$$D_{(\text{bit\_c\^ab\l e})} = T_{(\text{bit\_c\^ab\l e})} * V_{(\text{Propagation})}$$

$$D_{(\text{bit\_c\^ab\l e})} = 10^{-7} * 200. 10^6 = 20\text{m}$$

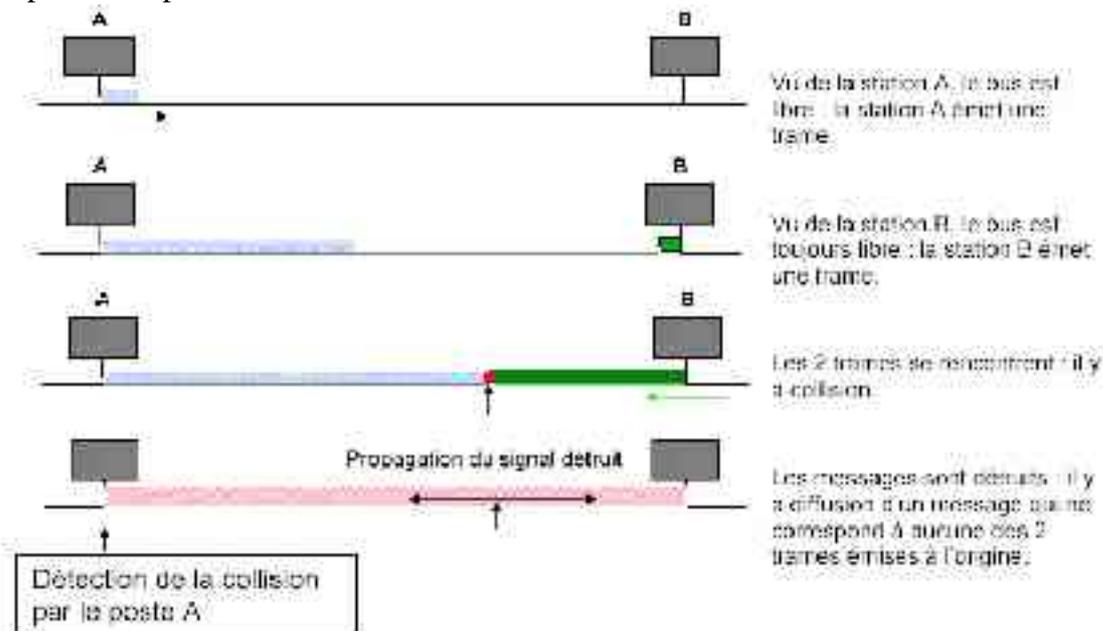
Par ce calcul nous mettons le doigt sur la notion de « vitesse de propagation » dans le bus. En effet 25 bits ont le temps de circuler en même temps sur la ligne. 500m/20m. Le temps qu'ils mettront pour tous être présents sur la ligne est de 25bits\*10<sup>-7</sup>s = 2,5 s

Soit une vitesse de propagation de 5ns

$$T_{(\text{bit\_propagation})} = 2,5 \text{ s} / 500\text{m} = 5\text{ns}$$

Analyse d'une collision.

On pourrait représenter le mécanisme de la collision de la manière suivante :



La collision correspond à une destruction du signal par courts-circuits successifs entre des '0' et des '1'. Ils deviennent illisibles.

Si l'on considère le cas le plus défavorable, c'est-à-dire quand la collision a lieu un instant juste avant l'arrivée en 'B', il faudra au poste 'A' le temps nécessaire à un aller-retour (temps de propagation de la trame + temps de retour de propagation de la collision) pour s'apercevoir que la ligne est perturbée. Les deux postes savent que la trame est détruite. Ils vont tenter une nouvelle émission, dès que le bus sera libre, en se décalant de manière aléatoire.

## b) - Gestion des collisions

Le réseau CAN met en œuvre un processus d'évitement de collision ou, de collision non destructive (terme qui est plus approprié).

Ils sont du type CSMA/CA.

- CA pour 'Collision Avoidance' ou 'à évitement de collision'.

L'évitement de collision repose sur deux principes :

- La relecture du bit.
- L'arbitrage au niveau du bit.

La relecture du bit

Une station qui émet (ou écrit) un bit le relit en permanence et s'assure donc à tous moments de la cohérence entre ce qui doit être écrit et ce qui est réellement écrit.

Le principe consiste en l'écriture d'un bit d'une longueur au moins égale à la distance aller-retour entre les deux stations les plus éloignées (cas le plus défavorable).

Scénario :

Etape 1 : la station A qui pose un bit sur le fil et qui ne le voit pas altéré pendant toute sa durée (le temps de l'aller et du retour), est en droit de croire qu'il n'y a pas eu de collision.

Deux cas peuvent cependant se produire :

- La station A est la seule à écrire sur le bus, c'est le cas qui vient tout de suite à l'esprit.
- Une ou plusieurs autres stations écrivent également sur le bus, mais elles écrivent la même chose ! Il n'y a pas de conflit. La station A ne le sait pas et se croit seule.

Etape 2 : Cette station continue d'émettre sans encombre une succession de bits.

Etape 3 : La station A pose ensuite un '1' sur le bus. Avant la fin de l'émission de ce bit elle relit une valeur '0'. C'est un début de collision. Une seule solution :

- La station A cesse d'émettre, la collision est évitée. Il y a eu arbitrage au niveau de ce bit.

L'arbitrage au niveau du bit

On appelle bit dominant un bit de valeur '0'

On appelle bit récessif un bit de valeur '1'

La règle est simple et a été illustrée dans l'exemple précédent. En cas de collision, une station qui émet un bit dominant, gagne l'arbitrage et peut continuer à émettre, alors que celle qui émet un bit récessif, perd l'arbitrage et cesse d'émettre. Si les séquences de bit émises sont identiques, il n'y a pas de collision et donc pas de procédure d'arbitrage.

### **c) - Les avantages apportés par l'évitement de collision**

#### **Le temps d'accès au réseau**

Il est évidemment réduit puisqu'en l'absence de collisions réelles, on ne risque plus l'engorgement. Cependant le temps d'accès n'est pas garanti pour autant puisque la règle d'accès subsiste : il faut que le réseau soit libre pour pouvoir émettre. Le concepteur devra donc veiller à ne pas avoir un réseau trop chargé (en terme de trames/s) pour pouvoir garantir un temps d'accès raisonnable.

#### **Détermination des priorités d'accès**

On peut introduire une hiérarchie entre les stations (en cas de conflit d'accès uniquement) puisque c'est la première à poser un bit dominant qui conservera l'accès. Il suffit alors au concepteur d'organiser le contenu des trames pour privilégier ou non certaines stations par rapport à d'autres.

### **Intervention à 'la volée'**

On verra, en abordant la structure des trames, qu'il va être possible à une station d'intervenir dans la trame d'une autre station pour, par exemple, fournir une réponse ou acquitter une réception, tout cela sans perturber la trame et en appliquant simplement le processus d'arbitrage.

#### **d) - Les contraintes apportées par l'évitement de collision**

Elles sont inhérentes au principe même. On veut que le bit ait une longueur supérieure à deux fois la distance séparant les 2 stations les plus éloignées. Si on veut un temps de bit court (donc un débit élevé), la longueur du bit sera faible. La contrainte se situera alors au niveau de la longueur du réseau.

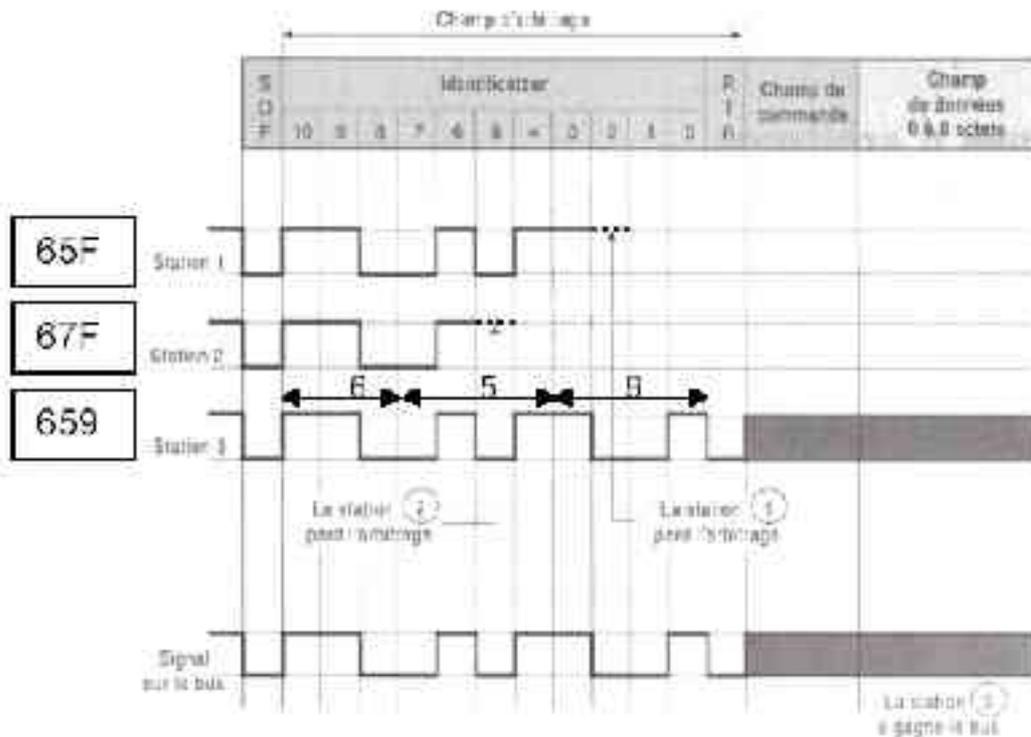
Un débit élevé passera par un petit réseau.

Et inversement, si l'on souhaite un réseau étendu, il faudra réduire le débit.

#### **e) - Interprétation d'un évitement de collision**

Illustration du phénomène de collision non destructive.

Soient 3 stations : Station1, Station2 et Station3. Les trames commencent par un champ d'identification, sur 11 bits, et ils ont pour valeurs respectives 65F, 67F et 659 en hexadécimal.



Il apparaît clairement, au fil des pertes d'arbitrages successives, que c'est la station dont l'identificateur possède la valeur la plus faible (décimal ou hexadécimal) qui gagne l'arbitrage. Nous voyons clairement comment le constructeur peut mettre en place une stratégie de gestion des priorités au travers de la messagerie. Attention ces règles ne s'appliquent qu'en cas de conflit.

Notons qu'il n'est pas possible de voir sur un oscilloscope un arbitrage. En fait il n'est possible de voir qu'un seul signal sur la ligne puisqu'au fur et à mesure de l'émission des bits les calculateurs émettant un bit récessif cesse d'émettre sur le bus.

#### f) – Comment calculer la durée d'un bit

La durée effective d'un bit (bit\_time) dépend de plusieurs paramètres :

- La durée de transfert sur le câble, qui dépend uniquement des vitesses de propagation des supports employés. Identique pour le cuivre et la fibre optique elle est évaluée à 200 000 Km/s.
- La durée de transfert due aux délais imposés par les interfaces entre la partie applicative (le logiciel qui demande une transmission) et le câble. Ce sont des délais propres aux composants d'interfaces (de l'ordre de 50 ns).

La somme de ces deux paramètres  $t_{\text{câble}}$ , et  $t_{\text{elec}}$  constitue le temps de propagation  $t_{\text{prop}}$ .

$$T_{\text{prop}} = (T_{\text{elec}} + T_{\text{câble}} + T_{\text{elec}}) \times 2 \text{ pour un aller retour.}$$

Ceci pourrait être considéré comme un temps de bit minimal, mais, pour prendre en compte les problèmes liés à l'instant d'échantillonnage et ceux liés aux corrections de dérive d'horloge,  $T_{prop}$  est augmenté d'un 'tampon' équivalent à 50% (valeur courante) de  $T_{prop}$ .

$$T_{bit} = 1.5 \times T_{prop}$$

Une petite application...

Recherchons la longueur maximale (entre les stations les plus éloignées) que peut supporter un réseau CAN réglé à un débit de 1Mbit/s.

Le time bit est connu. Il dérive directement du débit :

$$T_{bit} = 1/10^6 = 10^{-6} = 1000ns$$

Le délai électronique est connu :

$$t_{elec} = 50 \cdot 10^{-9}s = 50ns$$

Le temps de propagation :

$$t_{prop} = t_{bit}/1,5 = 666ns$$

La durée de l'aller retour de transfert sur le câble :

$$2(t_{câble}) = t_{prop} - 4(t_{elec})$$

$$2(t_{câble}) = 666 - 200 = 466ns$$

Soit pour un aller simple : 233ns

Avec une vitesse de propagation de 5ns/m, on trouve une distance

$$L = 233 / 5 = 46m$$

### **3) – Traitement des erreurs**

Lors de l'émission d'une trame sur le bus, des erreurs de transmission peuvent venir perturber le bon fonctionnement des différents utilisateurs du bus. L'erreur peut venir d'un nœud, et empêcher le réseau de fonctionner correctement. Pour cela, des méthodes de détection d'erreurs de transmissions sont prévues par le protocole CAN.

#### **a) – Les différents types d'erreurs**

##### **Le 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.

### L'erreur de Stuffing (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.

Cependant, une erreur de Stuffing ne doit être signalée que dans les champs d'identificateurs, de commande et de CRC. La règle du Bit-Stuffing ne s'appliquant plus après la fin du CRC. En aucun cas, une erreur de Bit-Stuffing ne doit être signalée dans le champ de fin de trame ou dans le champ d'acquittement.

### L'erreur de Cyclic Redundancy Code (CRC Error) :

Si la valeur du CRC calculée par le récepteur est différente de celle envoyée par l'émetteur, il y a erreur de CRC (CRC Error).

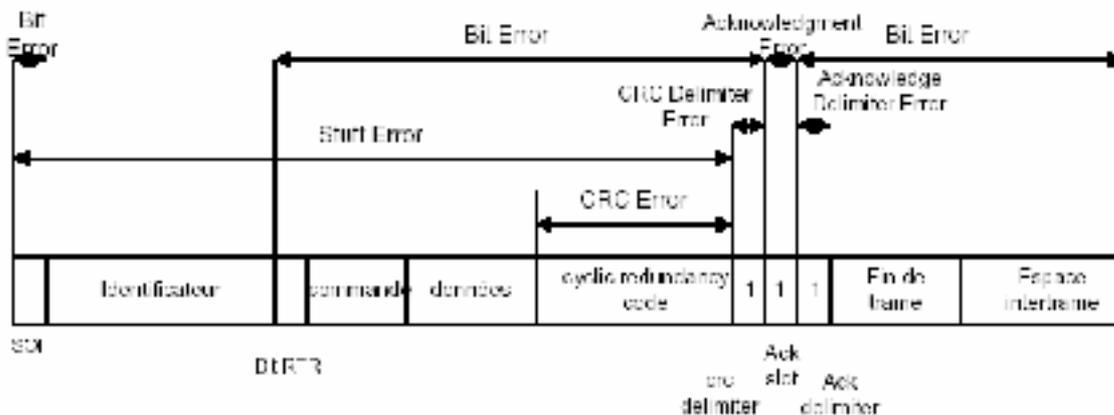
### L'erreur d'Acknowledge Delimiter :

Une erreur d'Acknowledge Delimiter est signalée lorsque le récepteur n'observe pas un bit récessif lors du champ de Acknowledge Delimiter. Il en est de même pour le CRC Delimiter.

### L'erreur de Slot Acknowledge (Acknowledgment 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.

La figure 9 résume les différents types d'erreurs et leur validité suivant l'endroit où l'on se trouve dans la trame.



En fonction de la valeur de ces compteurs d'erreurs, chaque calculateur peut aller jusqu'à la déconnexion totale du réseau : cet état de communication est appelé « Bus Off ».

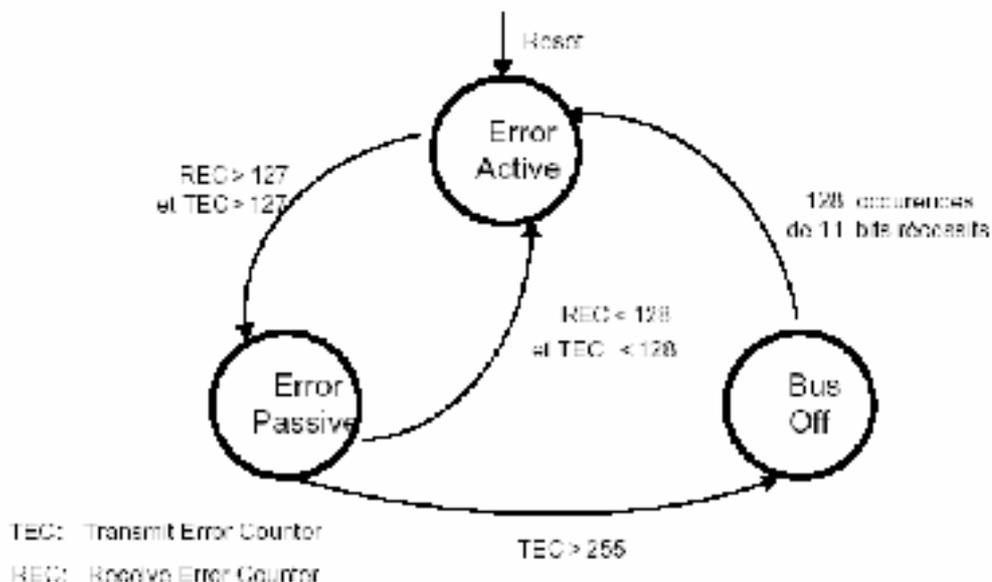
Dans cet état le calculateur n'est plus en mesure d'émettre et de recevoir des messages CAN. L'application est coupée du reste du réseau.

Dans tous les cas, ces évènements débouchent sur la production d'une « Trame d'erreur ».

### b) - Les compteurs d'erreurs

Chaque noeud possède deux compteurs, un en réception (TEC : Transmission Error Counter) et un en émission (REC : Reception Error Counter).

- Lorsqu'un récepteur détecte une erreur, son REC est augmenté de 1.
- Lorsqu'un transmetteur envoie une trame d'erreur, son TEC est augmenté de 8.
- Après une transmission réussie, le TEC est diminué de 1.
- Après une réception réussie, le REC est diminué de 1.



On note que l'erreur est davantage pénalisée que la réussite.

En fonction de la valeur de ces compteurs, on pourra minimiser l'influence d'un noeud, voire le déconnecter du réseau en fonction de son niveau de perturbation. Ce sont les règles de confinement.

Le recouvrement des erreurs est assuré par la retransmission automatique de la trame incriminée jusqu'à ce que l'émission de cette trame s'effectue sans erreur. La validité du message est acquise s'il n'y a aucune erreur depuis le SOF (Start Of Frame) jusqu'à la fin de trame.

Si l'émetteur n'arrive pas à émettre sa trame correctement, il essaye de nouveau de l'émettre jusqu'à ce que son compteur d'erreur passe en mode d'erreur passive.

### c) - Les règles de confinement

Elles sont dictées par les valeurs atteintes par les compteurs et définissent les trois modes qu'un noeud peut atteindre.

Lorsque les deux compteurs sont inférieurs à 128, les noeuds sont dits 'Error Active'. Ils sont en bonne santé et aptes à générer des trames 'erreur active'.

Entre 128 et 255 les noeuds sont en mode 'Error passiv'. Le niveau de confiance accordé est faible. Ils ne peuvent générer que des trames 'erreur passive'.

Arrivé à la valeur 255, le noeud est déconnecté du bus. Il est 'Bus off'. Il reste dans cet état jusqu'à ce que sa partie applicative (le programme qui gère ce noeud) décide de le remettre en service. Cette remise en service n'est pas immédiate. Il doit être capable de compter 128 zones de 11 bits récessifs (essentiellement des espaces intertrames) avant d'être déclaré 'apte'. Dans ce cas ses compteurs sont remis à zéro.

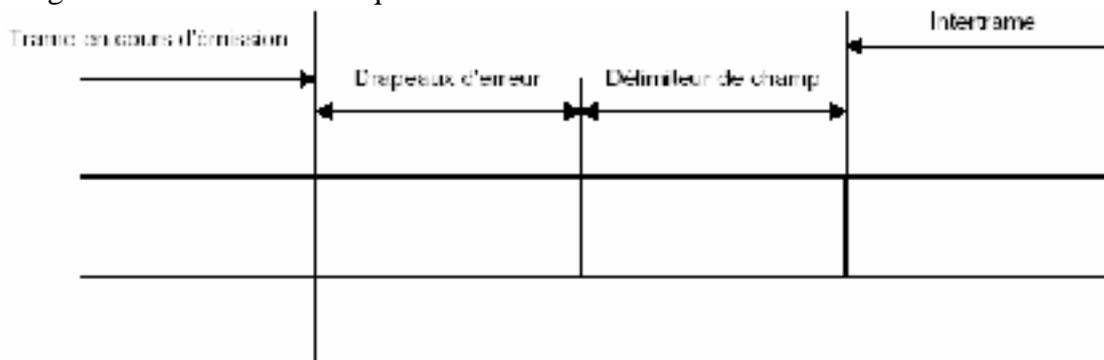
### d) - La trame d'erreur

#### • La trame d'erreur :

La trame d'erreur est constituée de deux champs principaux :

- le drapeau d'erreur,
- le délimiteur de champ.

La figure suivante montre de quelle manière est construite la trame d'erreur.



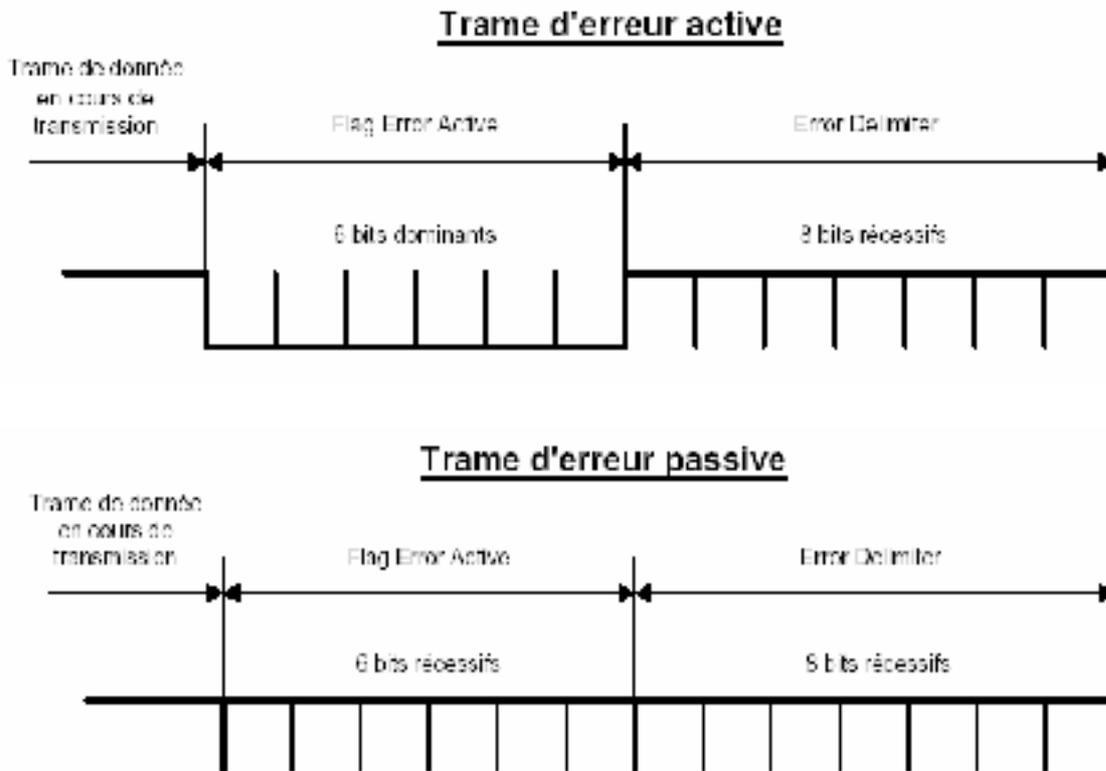
Intertrame

Le champ des drapeaux peut être constitué de deux sortes de drapeaux :

- les drapeaux d'erreur active (Active Error Flag),
- les drapeaux d'erreur passive (Passive Error Flag).

L'envoi du type de trame Active ou passive est déterminé par l'état du compteur d'erreur du noeud. Si il est en mode « Error Active » ou « Error Passiv ».

Les trames diffèrent suivant le type de drapeaux qu'elles contiennent. Les figures suivantes représentent les deux types de trame avec leurs drapeaux respectifs.



• **La trame d'erreur active :**

Elle est formée de six bits dominant consécutifs pour le champ de drapeau suivi de huit bits récessifs pour le délimiteur. Par construction, la trame d'erreur brise la règle du Bit-Stuffing. Les autres récepteurs vont donc se mettre à émettre des trames d'erreurs actives (s'ils sont en mode d'erreur active) à la fin du drapeau de la première station qui a émis la trame d'erreur. Toutes les stations vont donc émettre à tour de rôle la trame d'erreur. La dernière station aura en charge d'émettre le champ d'Error Delimiter, les autres champs ayant été remplacés par les bits dominants des drapeaux émis.

Remarque :

*La norme limite le nombre de bits dominant consécutifs à 12 bits.*

• **La trame d'erreur passive :**

La trame est formée de six bits récessifs pour le drapeau et de huit bits récessifs pour le délimiteur. Le champ du drapeau brise de nouveau la règle du Bit-Stuffing et les émetteurs envoient à tour de rôle le Passive Error Flag (s'ils sont en mode d'erreur passive). Mais une trame d'Active Error Flag reste prioritaire sur une trame de Passive Error Flag si elles sont envoyées en même temps. En effet, Les bits dominants de l'Active Error Flag remplacent les bits récessifs du Passive Error Flag. La fin de la trame quant à elle ne change pas puisqu'elle est formée dans les deux cas de huit bits récessifs.

**e) – Débit et rendement de transmission**

La transmission de données sous forme de trame fait apparaître 2 types de débit.

- **Le débit brut**

Le débit brut est celui qui est mesuré sur le réseau. Pour cela, il faut identifier l'entité la plus petite d'une trame c'est-à-dire le « Nominal Time Bit ».

Le débit brut vaut alors  $1 / T(\text{Nominal Time Bit}) = 1 / T \text{ bit}$

**Exemple :** Si  $T_{\text{bit}} = 2 \text{ s}$  alors

Débit Brut =  $1 / 2 \cdot 10^{-6} = 500 \text{ kbits/s}$

- **Le débit Net**

Le débit net est celui qui est calculé en tenant compte du nombre total de bits utilisé dans une trame par rapport au nombre de bits d'informations utiles réellement échangées.

Il vaut alors :

Débit Net = ( Nombre de bits utiles / Nombre de bits émis ) x Débit Brut

Exemple : pour un débit brut de 125 kbits/s

Pour faire ce calcul il faut identifier tous les bits émis dans une trame en reprenant tous les champs la constituant.

- En faisant le compte on a 47 bits pour la structure trame.
- A cela il faut ajouter les bits stuffing qui pourraient être envoyés.
  - 19 bits de bourrage pour 64 bits de Data.
  - 8 bits de bourrage pour 8 bits de Data.

On a donc :

Débit Net pour 8 bits =  $8 / (47+8+8) \times 125 = 15,87 \text{ Kbits/s}$

Débit Net pour 64 bits =  $64 / (47+19+64) \times 125 = 61,54 \text{ Kbits/s}$

Même si le débit brut apparent semble suffisant, il est nécessaire, au niveau de la conception d'un système multiplexé, de calculer le débit réel utile pour transmettre les informations.

Pour quelques cas il peut apparaître que le débit net ne dépasse pas 12,7% (15,87 kbits/s) du débit brut annoncé (125 kbits/s)

### **Charge du bus**

La charge du bus est le rapport entre le temps d'occupation du bus sur une fenêtre d'observation très longue et la durée de cette observation. Cette charge s'exprime en %.

A cause du mode Multi-mâtres de nombreuses collisions surviennent chargeant ponctuellement le bus. Dans ce cas il faudra prévoir une charge de bus maximum d'environ 30 à 40%.