



ASSOCIATION NATIONALE POUR LA FORMATION AUTOMOBILE

Le multiplexage

ÉLECTRICITÉ - ÉLECTRONIQUE

Édité avec le concours de l'Éducation Nationale



Créé avec la collaboration du GAMA et du GNFA :

G.A.M.A.

(Groupement Amical d'enseignants des Matériels Automobiles)

Son but est d'apporter aux enseignants des métiers de l'automobile :

- ✓ des aides pédagogiques et techniques ;
- ✓ de renforcer les liens entre collègues ;
- ✓ d'établir et faciliter les relations avec les professionnels ;
- ✓ d'être l'interlocuteur privilégié des responsables décisionnels.

Contact : Henri NOIREL ☎ : 03 83 26 31 73 ou 06 89 37 78 19

E.mail : HNoirel@ac-nancy-metz.fr ou h.noirel@infonie.fr



Sommaire

Le multiplexage

1	Historique	page 5
2	Intérêt du multiplexage	page 7
3	Évolution : électronique/câblage	page 10
4	Conversion : analogique/numérique	page 12
5	Architecture	page 15
6	Dialogue	page 17
7	Recommandations	page 23
8	Conclusion	page 24

A. INTRODUCTION

Depuis le début des années quatre-vingt, de nombreux systèmes électroniques ont fait leur apparition dans le domaine de l'automobile, selon trois grandes étapes successives :

- ✓ l'époque où chaque système était totalement indépendant des autres ;
- ✓ la seconde période, pendant laquelle quelques systèmes commençaient à communiquer entre eux ;
- ✓ enfin, la dernière époque où tout le monde doit communiquer avec tout le monde, et ce en temps réel.

Début 1981, quelques grandes sociétés automobiles s'intéressèrent à des systèmes de communication fonctionnant en temps réel entre différents microcontrôleurs, concernant notamment le contrôle moteur, la transmission automatique et l'anti-patinage.

En 1983, le leader allemand d'équipements automobile Robert Bosch GmbH pris la décision de développer un protocole de communication orienté vers des systèmes distribués fonctionnant en temps réel et satisfaisant à toutes ses propres exigences.

En 1985, le géant américain Intel, puis Philips et Siemens se lancent dans la fabrication de circuits intégrés. Depuis, d'autres fabricants leur ont emboîté le pas (Motorola, National Semiconductors, Texas Instruments, MHS, etc.)

Au printemps 1986, la première communication concernant le bus CAN fût réalisée.

Enfin, au milieu de l'année 1987, la réalité prit la forme des premiers siliciums fonctionnels ; puis, en 1991, une première voiture (allemande) haut de gamme équipée de cinq Electronic Central Units (ECU) et d'un bus CAN fonctionnant à 500 kb/s sortit des chaînes de production.

Ce fut alors l'arrivée de nombreux bus de même type, soit aux USA, soit au Japon, soit en France (bus VAN - supporté par un GIE composé principalement de PSA et Renault).

À partir de 1994, le constructeur Citroën commercialise des véhicules multiplexés (XM) comportant 24 nœuds et mettant en œuvre le protocole VAN.

B. QUELQUES DATES SUR LES VÉHICULES MULTIPLEXÉS

- 1980** Naissance du CAN (Robert Bosch GmbH).
- 1985** Naissance du VAN.
- 1986** Sortie de la BMW 850 CSI (le réseau multiplexé permet aux deux calculateurs des deux moteurs 6 cylindres en ligne reliés mécaniquement de communiquer).
- 1989** Mercedes (apparition du multiplexage sur la SL 500).
- 1991** CAN Low Speed devient norme ISO 1519-2 standard.
- 1992** Mercedes utilise le multiplexage CAN sur une classe S.
- 1993** CAN High Speed devient norme ISO 11898 (CAN 2.0).
- 1994** Fabrication en série limitée véhicules (Citroën XM), l'Audi A4 sort avec la gestion moteur multiplexée.
- 1995** C'est le tour du Ford Galaxy d'avoir un réseau.
- 1997** Sur la Volkswagen Passat, le confort du véhicule est multiplexé.
- 1998** Fabrication en série sur la Peugeot 206.
- 1999** Fabrication en série sur la Peugeot 406 et la Citroën Xsara Picasso.
- 2001** Sortie de la Renault Laguna II avec un réseau multiplexé véhicule qui relie douze calculateurs, deux réseaux privatifs (un pour le contrôle de trajectoire, un autre pour la fonction lève-vitre impulsif avec siège mémorisé), un réseau multimédia.
- 2002** Aujourd'hui, quelques véhicules comme l'Audi A8 ou la Mercedes Classe E sont totalement multiplexés. Leurs réseaux relient entre eux une trentaine de calculateurs avec de la fibre optique.

A. POURQUOI LE MULTIPLEXAGE

Les normes antipollution, la sécurité ainsi que le confort des utilisateurs entraînent une augmentation constante des fonctions électroniques présentes dans nos véhicules : climatisation, navigation, ABS, radar, EOBD¹... Ainsi que bon nombre d'informations qui peuvent être utilisées par les systèmes.

Points communs entre les capteurs et les calculateurs

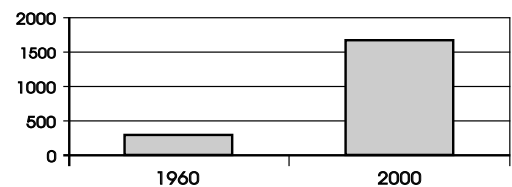
CALCULATEURS	CAPTEURS						
	VITESSES		TEMPERATURES			ANGLES	
	Véhicule	Moteur	Air	Eau	B.V.A.	Papillon	Volant
INJECTION							
B.V.A.4							
4.R.M.							
A.B.S.							
D.A.V.							
SUS. PIL.							
TAB. BORD							

Un véhicule haut de gamme nécessite environ 40 kg de faisceau pour une longueur de plus de deux kilomètres et 1 800 interconnexions.

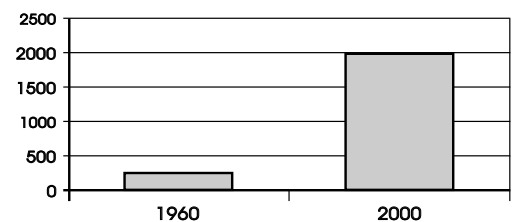
Ceci génère :

- Une évolution majeure du câblage :
 - ✓ complexité des faisceaux ;
 - ✓ augmentation en masse et en volume de ces faisceaux ;
 - ✓ augmentation du nombre d'interconnexions.
- Des problèmes de :
 - ✓ conception et fabrication ;
 - ✓ coût et encombrement ;
 - ✓ fiabilité ;
 - ✓ recherche de pannes et diagnostics.

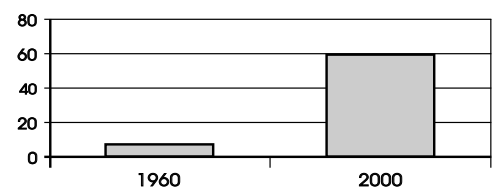
Points de connexion



Longueur de câble en m



Nombre de fusibles



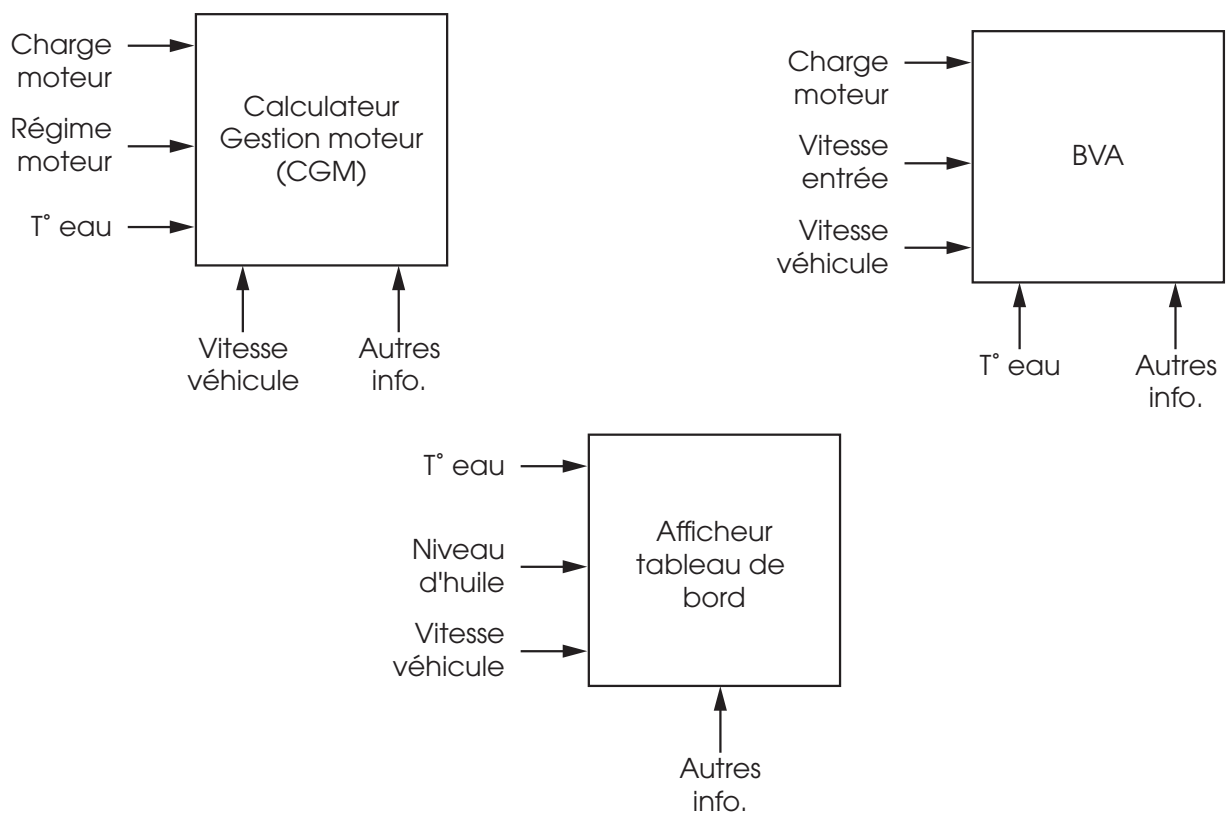
¹ EOBD : European On Board Diagnostic.

B. INTÉRÊT DU MULTIPLEXAGE

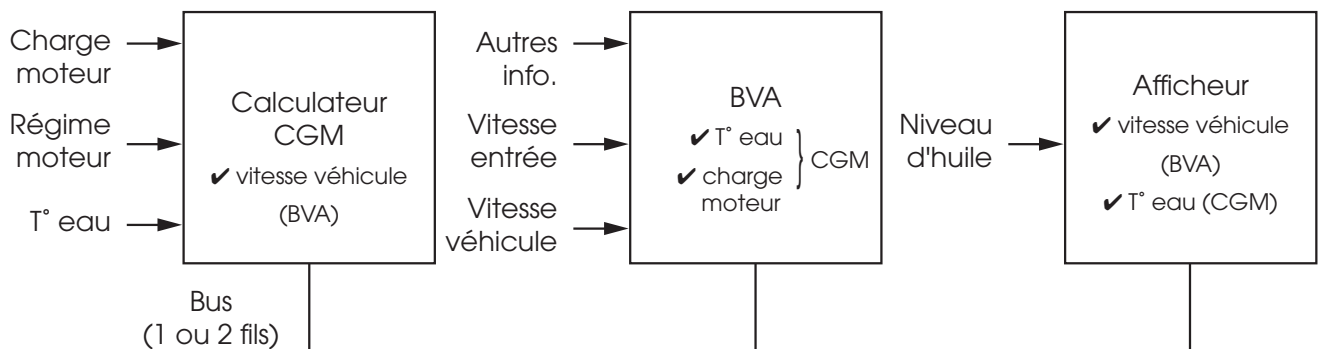
Le multiplexage permet la mise en commun et l'échange d'informations entre les systèmes.

Mise en commun de l'information

Système classique

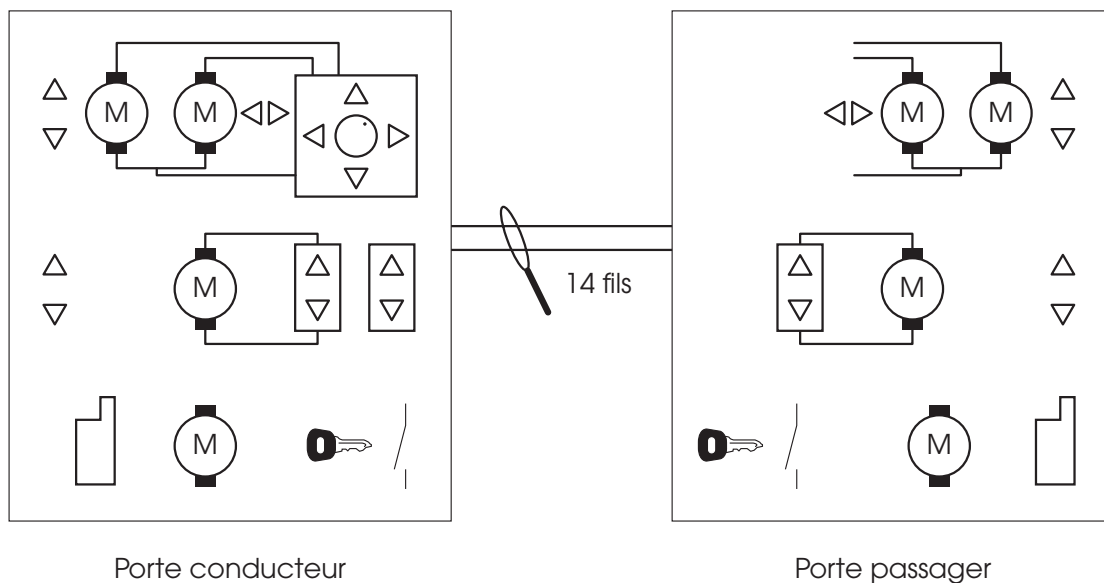


Système multiplexé

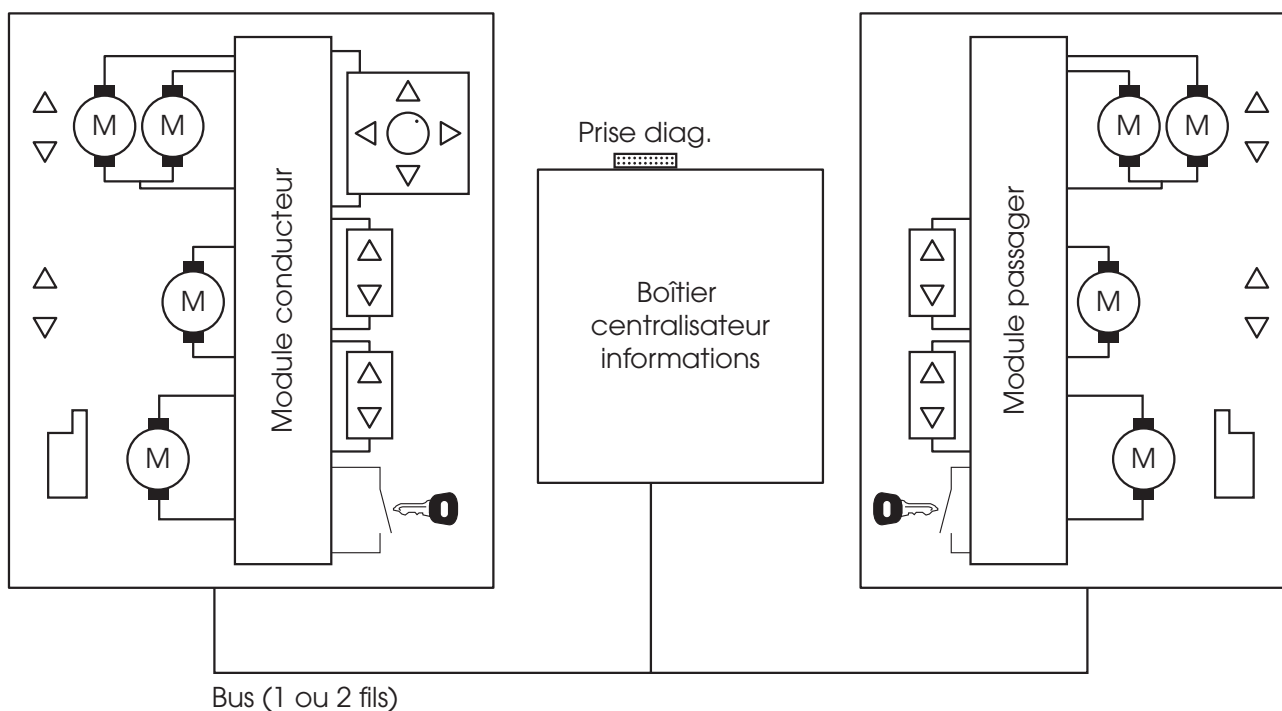


Réduction du nombre de fils

Systeme classique



Systeme multiplexé

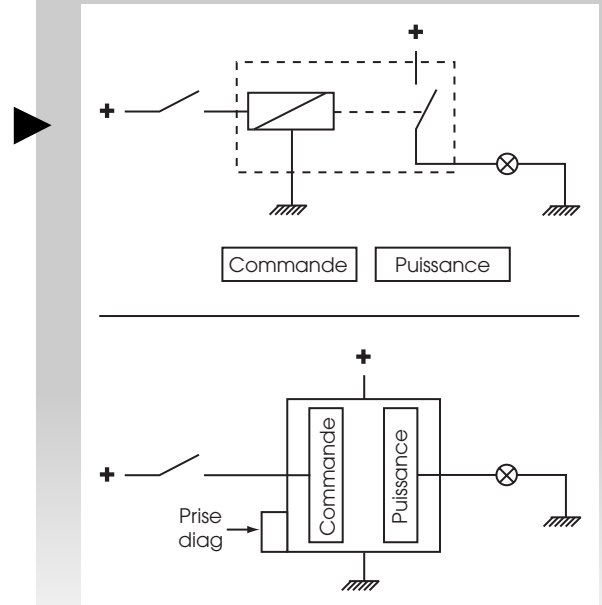


A. DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRONIQUE

Un circuit électronique dispose, comme pour un relais, d'un circuit de commande et de puissance.

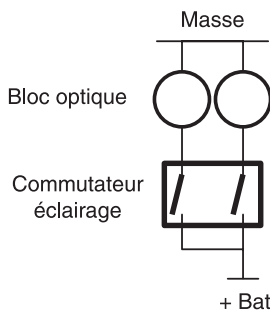
Le développement de l'électronique a permis :

- ✓ l'interrogation du système par des outils de diagnostic (paramètres entrées/sorties, activation sortie, lecture/effacement des défauts ...)
- ✓ la possibilité d'activer/désactiver des fonctions initialement prévues par le constructeur ;
- ✓ d'effectuer un diagnostic à distance.

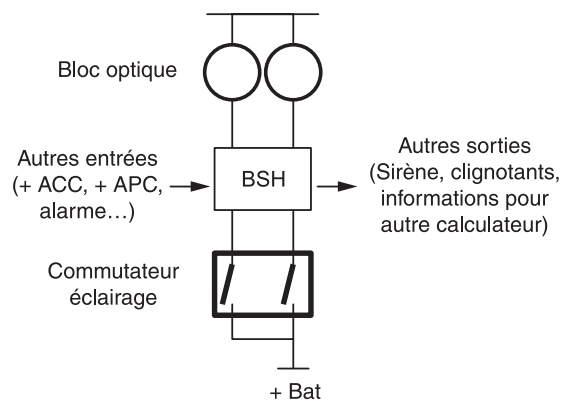


B. ÉVOLUTION DU CÂBLAGE

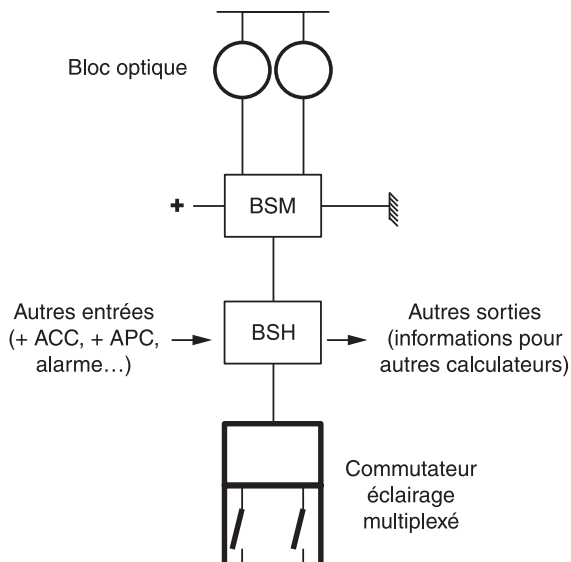
Solution classique



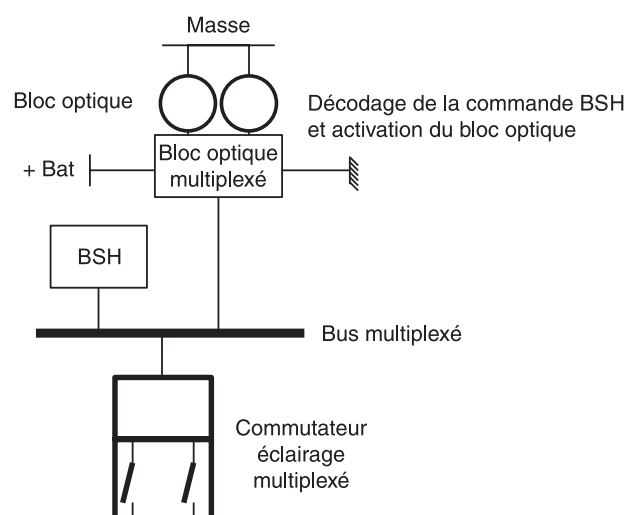
Solution BSH (Boîtier Servitude Habitacle)



Solution BSH, BSM (Boîtier Servitude Moteur)



Solution multiplexée



Le multiplexage consiste à faire circuler plusieurs informations entre divers équipements électriques avec le moins de fils possible. Ceci implique que les informations soient :

- ✓ numérisées (constituées de bits) ;
- ✓ rapides (62 000 bits/seconde) ;
- ✓ identifiées (trame : destinataire, information, commande) ;
- ✓ classées par priorité.

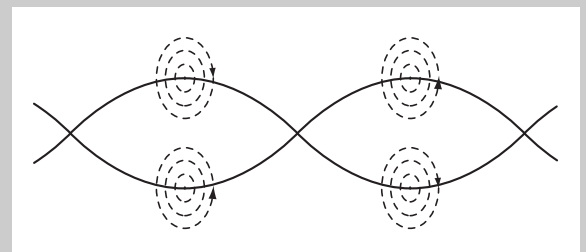
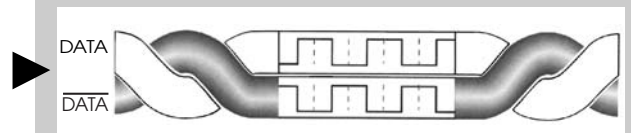
On appelle Bus le circuit électrique véhiculant les informations multiplexées. Sur la majorité des véhicules multiplexés, le bus est constitué de deux fils. Chaque fil porte une appellation différente suivant le type de multiplexage :

- DATA ou $\overline{\text{DATA}}$ (data barre) : codage VAN¹ ;
- CAN H ou CAN L : codage CAN².

Dans les deux cas, ces deux informations sont complémentaires : quand l'un est à un niveau haut, l'autre est à un niveau bas.

Exemple :

Cette stratégie de câblage permet d'éliminer une partie des parasites (entrants et sortants de la paire).



¹ VAN : Vehicule Area Network.

² CAN : Controller Area Network.

A. SIGNAL ANALOGIQUE/NUMÉRIQUE

Un signal électrique peut être sous deux formes : analogique ou numérique.

Signal analogique

Un signal analogique est un signal dont l'amplitude évolue dans le temps. Il provient souvent d'un capteur, comme par exemple le potentiomètre papillon.

Le signal fourni par le potentiomètre est un signal analogique. On peut dire qu'il « ressemble » à ce qu'il mesure.

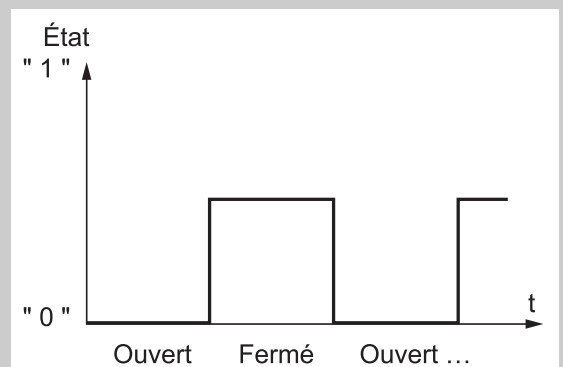
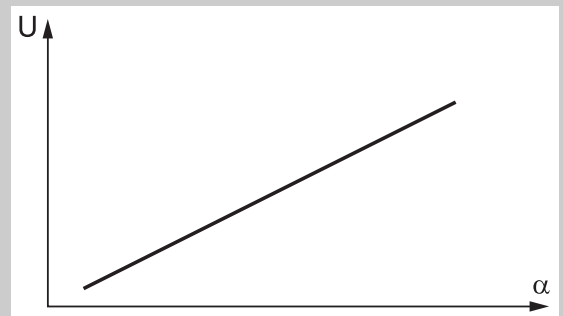
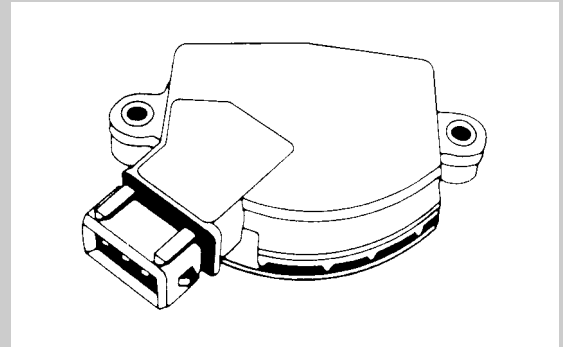
Signal numérique

Un signal numérique est un signal dont l'amplitude ne prend que deux valeurs : tension, pas tension.

Il représente souvent l'état électrique d'un interrupteur : fermé, ouvert.



Évolution de l'état électrique dans le temps



B. SYSTÈME DÉCIMAL/BINAIRE

La numération binaire (base deux) a pour base le nombre deux. Elle n'a que deux chiffres, le zéro et l'unité.

La numération décimale (base dix) a pour base le nombre dix. Elle utilise dix chiffres, de zéro à neuf.

Quelle que soit la base utilisée, un nombre se compose d'un ou plusieurs chiffres. Chaque chiffre d'un nombre occupe un rang dans ce nombre (on appelle souvent ce rang le poids du chiffre). En base « dix », le rang = 0 « de poids faible » (celui qui se trouve à droite du nombre) est l'unité, le rang suivant représente les dizaines, le troisième les centaines, et ainsi de suite. Le chiffre ayant le poids « le plus fort » se trouve complètement à gauche du nombre.

La valeur du nombre est la somme des valeurs des différents chiffres affectés de leur poids.

$$(\text{chiffre de rang } 1 \times \text{base}^{\text{poids}}) + (\text{chiffre de rang } 0 \times \text{base}^{\text{poids}})$$

Conversion binaire /décimale

RANG pds	7	6	5	4	3	2	1	0
BASE ^{pds}	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
VALEUR DÉCIMALE	128	64	32	16	8	4	2	1
NOMBRE BINAIRE	1	0	0	1	0	0	1	1
CONVERSION BINAIRE/DÉCIMALE	128 + 0 + 0 + 16 + 0 + 0 + 2 + 1 = 147							

Le nombre binaire 10010011 correspond au nombre décimal 147.

Conversion décimale/binaire

RANG pds	7	6	5	4	3	2	1	0
BASE ^{pds}	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
VALEUR DÉCIMALE	128	64	32	16	8	4	2	1
NOMBRE DÉCIMAL	84							
CONVERSION DÉCIMALE/BINAIRE	0	1	0	1	0	1	0	0

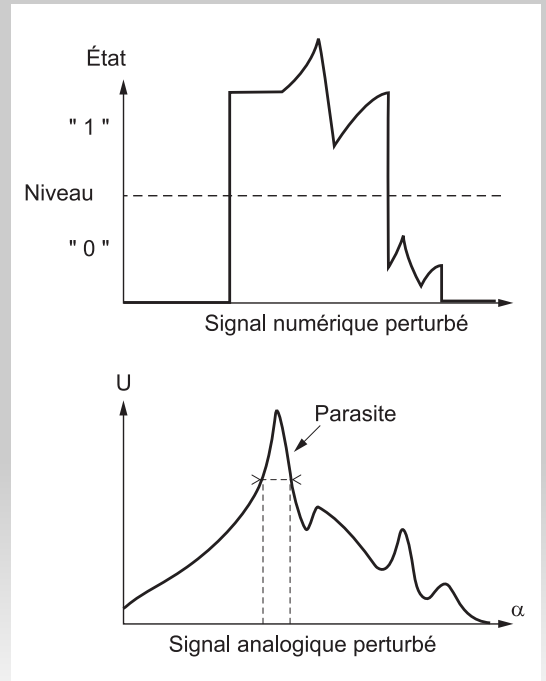
Le nombre décimal 84 correspond au nombre binaire 01010100.

C. LA CONVERSION ANALOGIQUE/NUMÉRIQUE

Influence des parasites

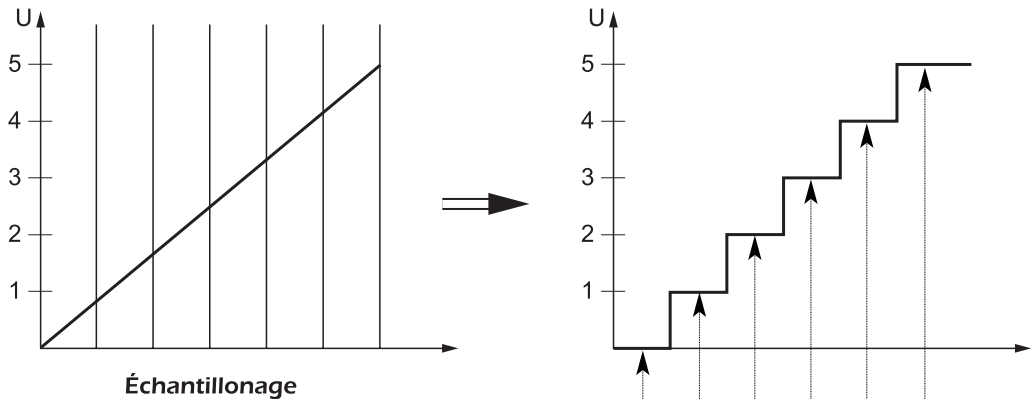
Pour transmettre une information électrique à distance sans être altérée (perte par conduction, parasite, effet magnétique...), cette information doit être numérisée. Car un signal numérisé est moins sensible aux perturbations tant que celles-ci ne dépassent pas un certain niveau.

Un parasite modifie principalement l'amplitude d'un signal. Dans le cas d'un signal analogique où chaque valeur de tension est interprétée par le calculateur comme un angle (potentiomètre), on voit ici que pour une même valeur de tension parasitée correspondent deux angles d'ouverture (perturbation).



Principe de numérisation du signal analogique : potentiomètre papillon

Un état électrique ne prenant que deux valeurs « 0 » ou « 1 » s'appelle un Bit (Binary digit). Pour numériser un signal analogique il faut le découper (échantillonnage) et pour toute valeur de tension correspondante, la coder en bits.



Ces cinq valeurs de tension peuvent être codées sur trois bits.

Décimal	Binaire
0 Volts	000
1 Volts	001
2 Volts	010
3 Volts	011
4 Volts	100
5 Volts	101

Dans la majorité des cas, le codage se réalise sur huit bits (un octet).

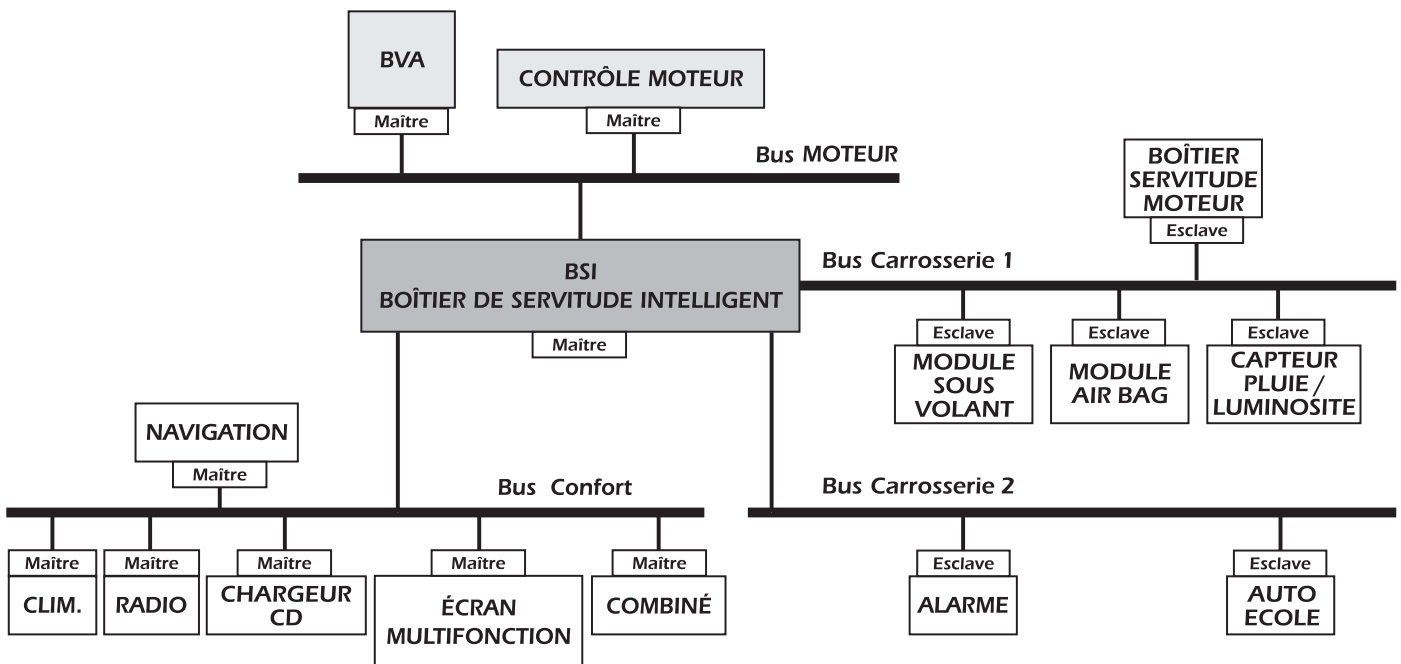
A. ORGANISATION D'UN RÉSEAU MULTIPLEXÉ

Un réseau multiplexé peut être organisé avec des dispositifs maîtres ou esclaves. Cela dépend s'ils peuvent prendre l'initiative d'une communication (maître) ou seulement répondre à un maître (esclave).

Réseaux maître-esclave/maître-maître (multi-maître)

Ce réseau permet à un « maître » de piloter plusieurs « esclaves », chacun ayant une tâche précise à exécuter. Les maîtres pourront dialoguer entre eux et mettre en commun des informations (maître-maîtres).

Synoptique :



Les calculateurs échangeant régulièrement des informations entre eux sont connectés sur un bus. Pour faciliter les échanges et ne pas surcharger le bus, un véhicule multiplexé peut disposer de plusieurs bus en fonction des équipements et accessoires.

B. NORMES CAN-VAN

CAN : Controller Area Networks

- ✓ Naissance en 1980.
- ✓ Développé par R. Bosch.
- ✓ Première application en 1982 sur Mercedes 500 SL.
- ✓ Vitesse maximale de transmission : 1Mbit/s.
- ✓ Temps de réponse : 50 ms.

VAN : Vehicule Area Networks

- ✓ Naissance en 1985/86.
- ✓ Développé par PSA/Renault.
- ✓ Première application en 1994 sur Citroën XM.
- ✓ Vitesse maximale de transmission : 250 kbit/s.
- ✓ Temps de réponse : 200 ms.

C. LE CODAGE VAN/CAN

- ✓ le bus utilisé en format VAN est constitué de deux fils désignés par DATA et $\overline{\text{DATA}}$.

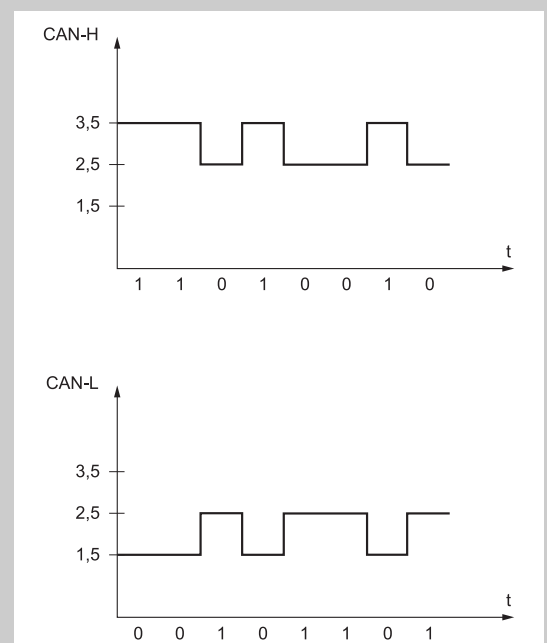
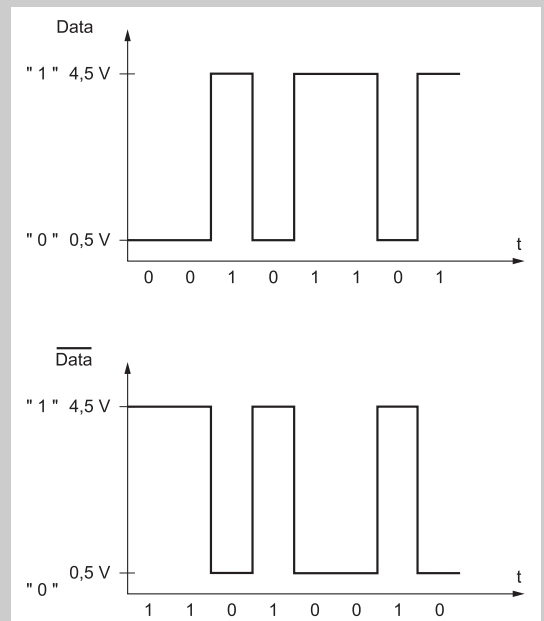
Sur chacun de ces fils, le signal ne peut prendre que deux niveaux « 0 » ou « 1 », les signaux étant complémentaires l'un de l'autre.

Les valeurs de tension sont comprises, pour DATA et $\overline{\text{DATA}}$ entre 0,5 V et 4,5 V.

- ✓ le bus utilisé en format CAN est constitué de deux fils désignés par CAN-H (High : haut) et CAN-L (Low : bas) ; les signaux sont complémentaires l'un de l'autre mais les niveaux logiques « 0 » et « 1 » sont à des potentiels différents.

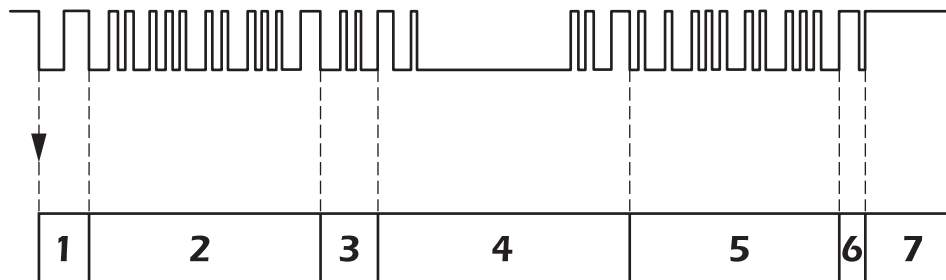
Les tensions sont comprises :

- $2,5 < \text{CAN-H} < 3,5 \text{ V}$;
- $1,5 < \text{CAN-L} < 2,5 \text{ V}$.



A. CONSTITUTION D'UNE TRAME

Sur les réseaux VAN et CAN, les signaux sont transmis sous forme de trame.



1. **Début de trame** : signale aux différents équipements qu'une trame va être émise.
2. **Identificateur** : désigne le/les émetteur(s) de la trame et indique les priorités.
3. **Commande** : indique la nature du message (transmission d'une information, d'un ordre ou d'une commande).
4. **Données** : fournit le contenu du ou des messages (valeurs, consignes).
5. **Contrôle** : permet de vérifier que les données transmises ou reçues sont correctes. Le récepteur effectue un calcul (algorithme) avec les données, le résultat est comparé avec le contrôle.
6. **Acquittement** : indique la bonne réception des données (message envoyé par le récepteur).
7. **Fin de trame** : signale aux différents équipements que la trame est terminée (une nouvelle trame peut être émise).

B. LES DIFFÉRENTES TRAMES

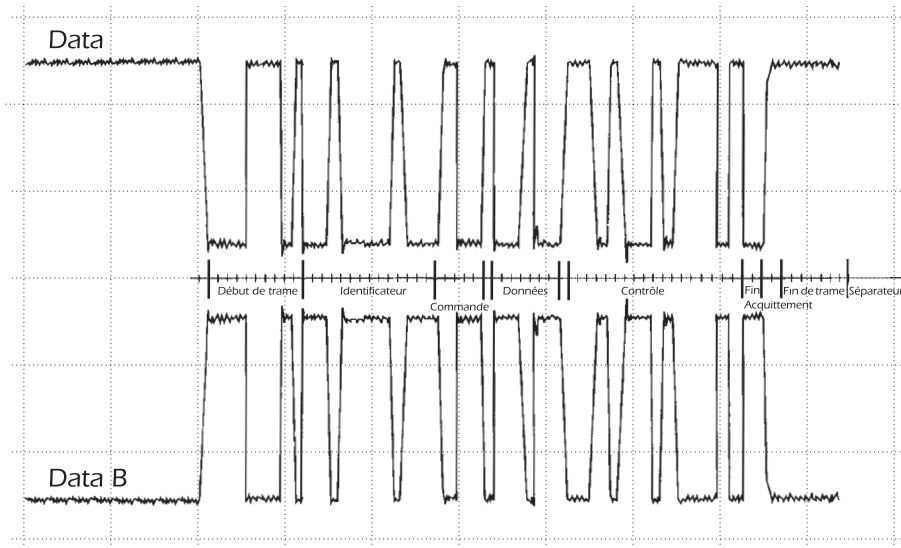
Sur les réseaux CAN ou VAN, les trames sont envoyées à des moments précis selon les besoins de fonctionnement des systèmes.

On distingue différents types de trames, dont voici les principales :

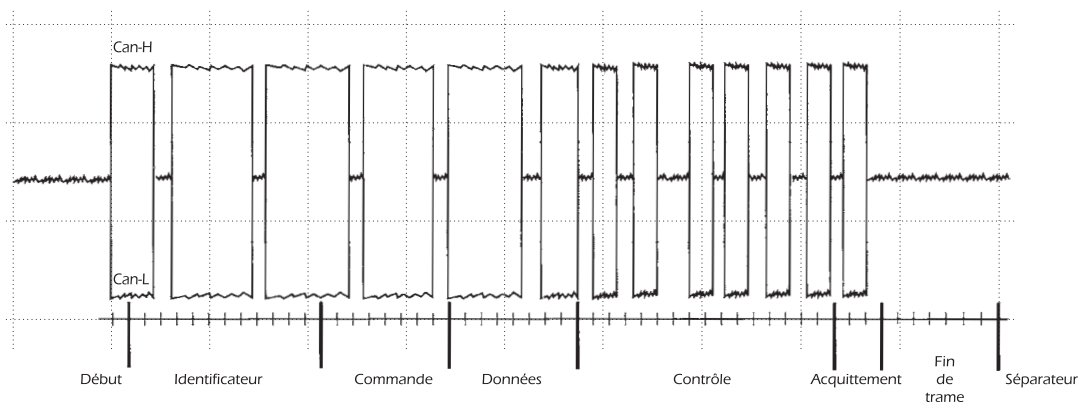
- ✓ Trame périodique : elle est envoyée périodiquement sur le réseau par les boîtiers (intervalles réguliers).
Ex : pour PSA, toutes les 50 ms, le BSI transmet sur le champ de données les valeurs suivantes : régime moteur, vitesse véhicule, distance parcourue.
- ✓ Trame événementielle : elle est envoyée chaque fois que surgit un événement. Ex : demande de mise en route de l'autoradio, de la climatisation, etc.

C. OSCILLOGRAMMES

Trace à l'oscilloscope de la trame VAN

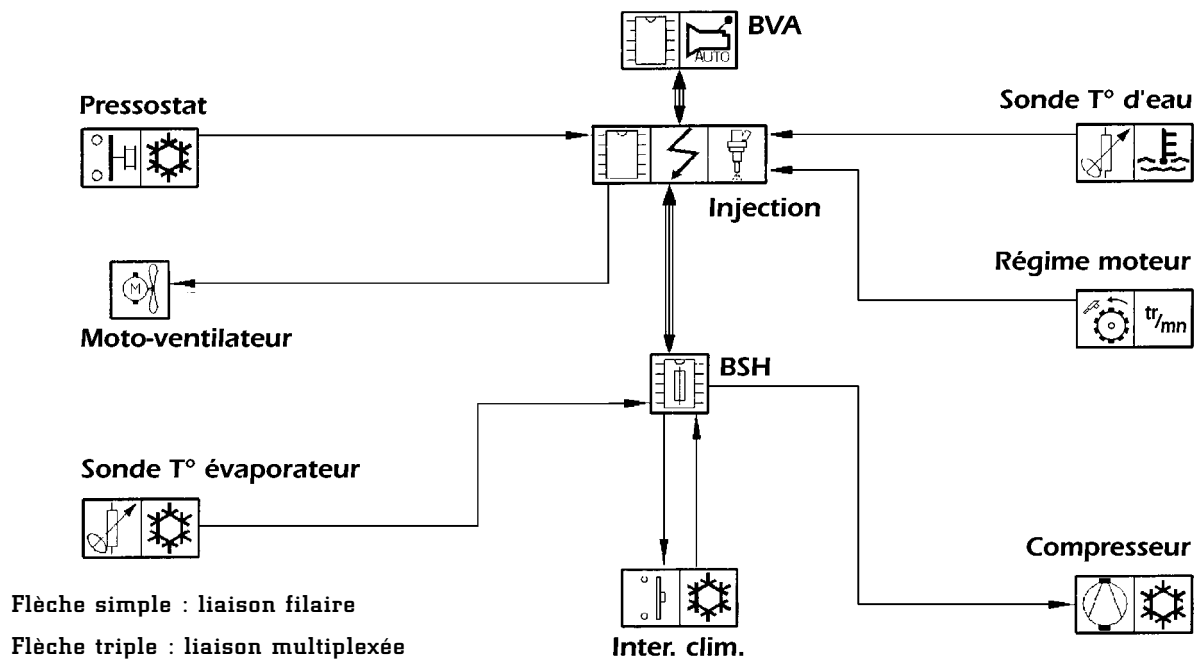


Trace à l'oscilloscope de la trame CAN



D. DIALOGUE SUR LE RÉSEAU POUR LA FONCTION RÉFRIGÉRATION SIMPLE

Synoptique

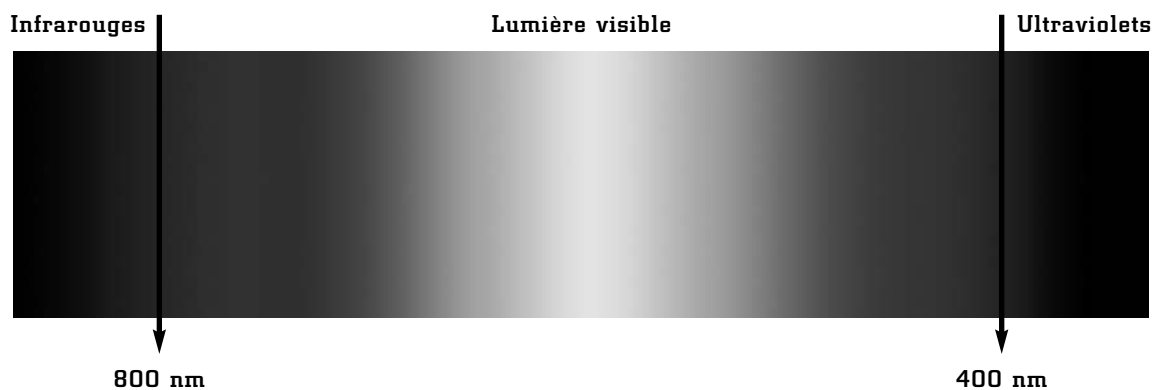


- Phases**
1. Demande de réfrigération au BSH (Boîtier Servitude Habitacle) par le bouton.
 2. Le BSH demande au calculateur d'injection l'autorisation d'enclencher le compresseur, qui dépendra de :
 - ✓ la vitesse de rotation du moteur < 6 250 tr/min ;
 - ✓ l'information température d'eau moteur ;
 - ✓ l'information pression circuit réfrigération (> 3 bars et < 27 bars).
 3. Le calculateur d'injection donnera une réponse positive en prenant en compte le rapport de boîte automatique (estompement de couple).
 4. Le BSH mesure la température fournie par la sonde de l'évaporateur (non givré).
 5. Le BSH enclenche alors :
 - ✓ le compresseur ;
 - ✓ l'allumage du voyant dans le bouton et signale au calculateur d'injection la mise en action du compresseur.
 6. Le calculateur d'injection commande alors le motoventilateur.

E. TRANSMISSION DE DONNÉES PAR FIBRE OPTIQUE

La lumière

Le spectre lumineux



La lumière « visible » s'étend de l'infrarouge à l'ultraviolet, bornes non comprises.

1 nanomètre = 10^{-9} mètre = 1/1 000 000 de millimètre, soit en fréquence la lumière s'étendant de 4×10^{14} à 8×10^{14} Hz (400 000 à 800 000 GHz).

Vitesse et propagation

La lumière se propage à 300 000 km/s dans un milieu homogène et isotrope.

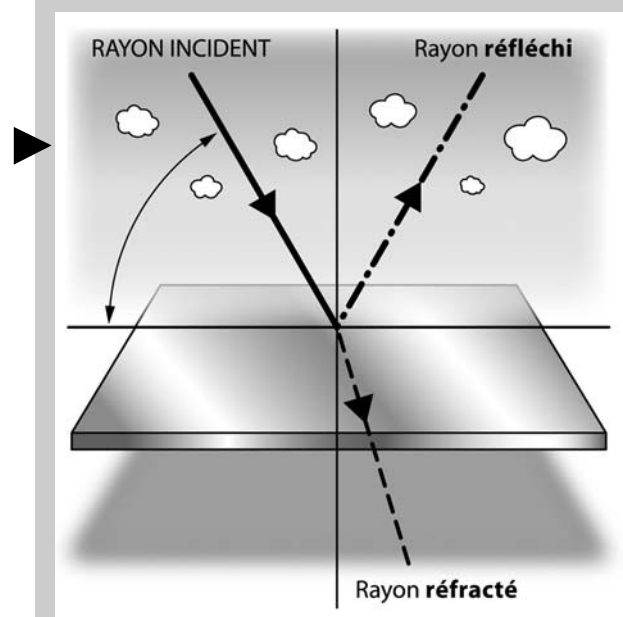
Que fait la lumière lorsqu'elle rencontre un obstacle ?

Un rayon de lumière qui vient de l'air vers une plaque de verre selon un angle d'incidence donné va :

- ✓ se réfléchir et retourner dans l'air, c'est le **rayon réfléchi** ;
- ✓ pénétrer dans le verre en subissant une déviation de trajectoire, c'est le **rayon réfracté** ;
- ✓ perdre un peu d'énergie.

Le rapport entre l'énergie réfléchi et l'énergie transmise varie en fonction de l'angle d'incidence. Il existe un angle critique.

S'il est mesuré comme indiqué sur le schéma, lorsque cet angle devient inférieur à l'angle critique, il n'y a plus de rayon réfracté et aux pertes par absorption près, la totalité du rayon incident est réfléchi.

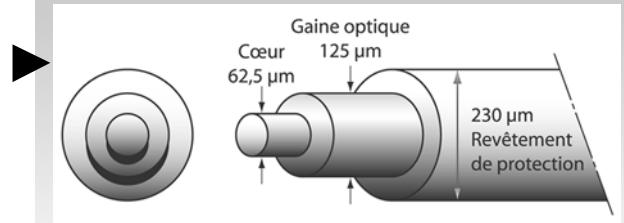


La fibre optique

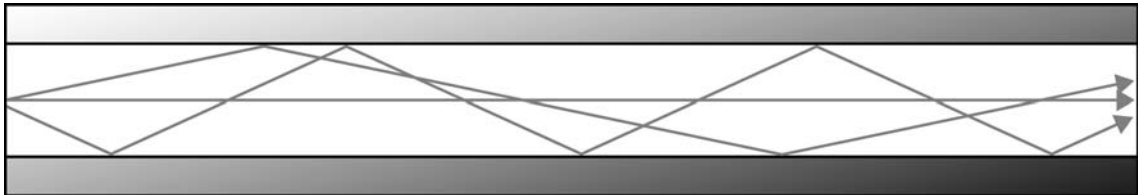
Constitution

Une fibre optique est constituée de :

- ✓ un cœur ;
- ✓ une gaine optique ;
- ✓ un revêtement.

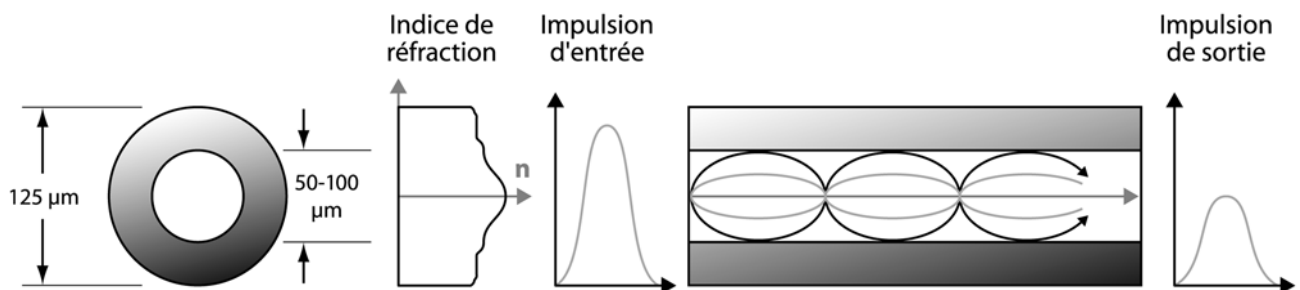


Propagation de la lumière dans la fibre optique



En regardant le schéma ci-dessus, on comprend bien que plus le diamètre du cœur de la fibre sera petit, plus on minimisera les risques d'un angle d'incidence trop grand.

La fibre à gradient d'indice



Ici, deux améliorations sont apportées :

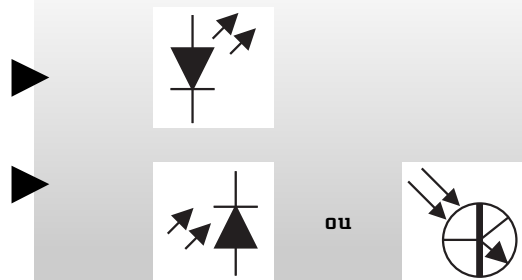
- ✓ le diamètre du cœur est plus petit ;
- ✓ le cœur est constitué de deux couches successives, à indice de réfraction de plus en plus grand. Ainsi, un rayon lumineux qui ne suit pas l'axe central de la fibre est ramené « en douceur » dans le droit chemin.

La source lumineuse

L'émetteur est le plus souvent une diode électroluminescente ou une diode laser.

Le récepteur est une photodiode (diode sensible à la lumière) ou un phototransistor.

L'émetteur convertit les impulsions électriques en signaux optiques (5 nanosecondes) ; le récepteur convertit les signaux optiques en impulsions électriques (5 nanosecondes).



La fibre optique coûte-t-elle cher ?

Non. Par rapport au câble en cuivre, elle aurait même tendance à coûter moins cher. En revanche, la connectique et les convertisseurs d'énergie électrique/lumineuse à placer aux extrémités sont très coûteux en fonction des technologies mises en œuvre.

Quels sont les principaux avantages de la fibre optique ?

1. La fibre optique est totalement insensible aux rayonnements électromagnétiques.
2. L'atténuation du signal est inférieure à celle d'un conducteur électrique et les distances couvertes sans nécessité d'installer des amplificateurs sont bien plus grandes.
3. La bande passante est généralement bien supérieure à celle que l'on peut obtenir avec un câble électrique.
4. Les performances atteintes sont de plusieurs centaines de mégabits par seconde.

La fibre optique est-elle fragile ?

Pas particulièrement, c'est la connectique qui peut l'être. La seule difficulté est le rayon de courbure minimum qui la rend assez peu souple d'emploi pour les installations « volantes ».

- ✓ L'emploi de lampe témoin, led ou voltmètre analogique pour contrôler une liaison multiplexée est à proscrire (générateur de défauts par consommation de courant).
- ✓ Les liaisons multiplexées peuvent être réparées avec des manchons « Raychem ».
- ✓ Respecter en cas de réparation la structure du faisceau (torsadé, passage d'origine...) pour conserver « l'immunité au parasite ».
- ✓ Le multiplexage permet de relier des calculateurs (réseau de calculateur) ; il faut respecter des règles avant de débrancher un calculateur ou une batterie car les communications vont être interrompues (« défaut de communication »).
- ✓ Les interventions doivent s'effectuer suivant les recommandations constructeurs (pose, dépose, paramétrage, apprentissage, réinitialisation, ...).

Les véhicules d'aujourd'hui sont :

- ✓ de plus en plus confortables (climatisation, régulation de vitesse, sièges à mémoire, ordinateur de bord, aide à la navigation...);
- ✓ de plus en plus sûrs (direction variable, suspension pilotée, antiblocage de roue, contrôle dynamique de stabilité, radar anticollision);
- ✓ de moins en moins polluants (contrôle du pot catalytique, recyclage des gaz d'échappement, injection d'air à l'échappement, filtres à particules, gestion des fonctions intervenant sur l'émission des polluants).

Or toutes ces fonctions font appel à l'électronique et seul le multiplexage permet à ces systèmes de communiquer entre eux et de les connecter à leur environnement, mais aussi de relier le véhicule au monde extérieur (télématique) pour que :

- ✓ l'utilisateur puisse envoyer et recevoir des informations;
- ✓ le réparateur puisse à distance (téléassistance) interroger et paramétrer les calculateurs.