

# PRINCIPES DE L'ELECTRONIQUE AUTOMOBILE

A l'heure actuelle (2009), un véhicule automobile est truffé d'électronique : Plus de 100 capteurs embarqués informent en temps réel plusieurs calculateurs de bord. Ces véritables ordinateurs gèrent la quasi totalité du fonctionnement du véhicule, du contrôle de la combustion du carburant à la tenue de route.

## Caractéristiques d'un système embarqué.

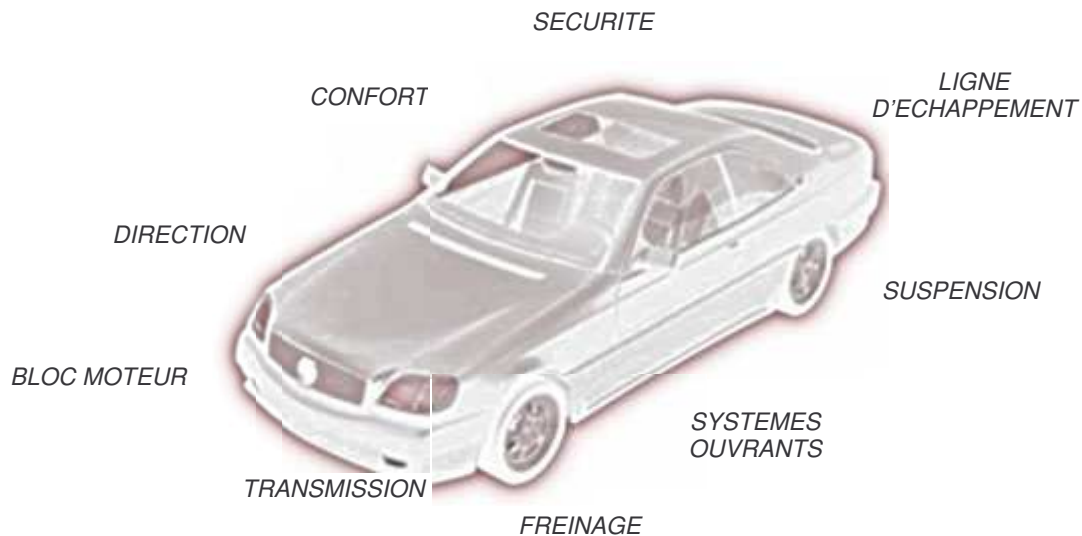
Le système électronique embarqué à bord d'une automobile se comporte un peu comme l'être humain :

Stratégie de l'humain : Observation → Réflexion → Action

Stratégie du système embarqué : Capteurs → Traitement → Action

Afin d'optimiser le câblage entre tous les éléments constitutifs du système, les informations vont circuler sur un bus bifilaire : Le bus CAN. Au vu du nombre de signaux que doit véhiculer ce bus, il est nécessairement multiplexé.

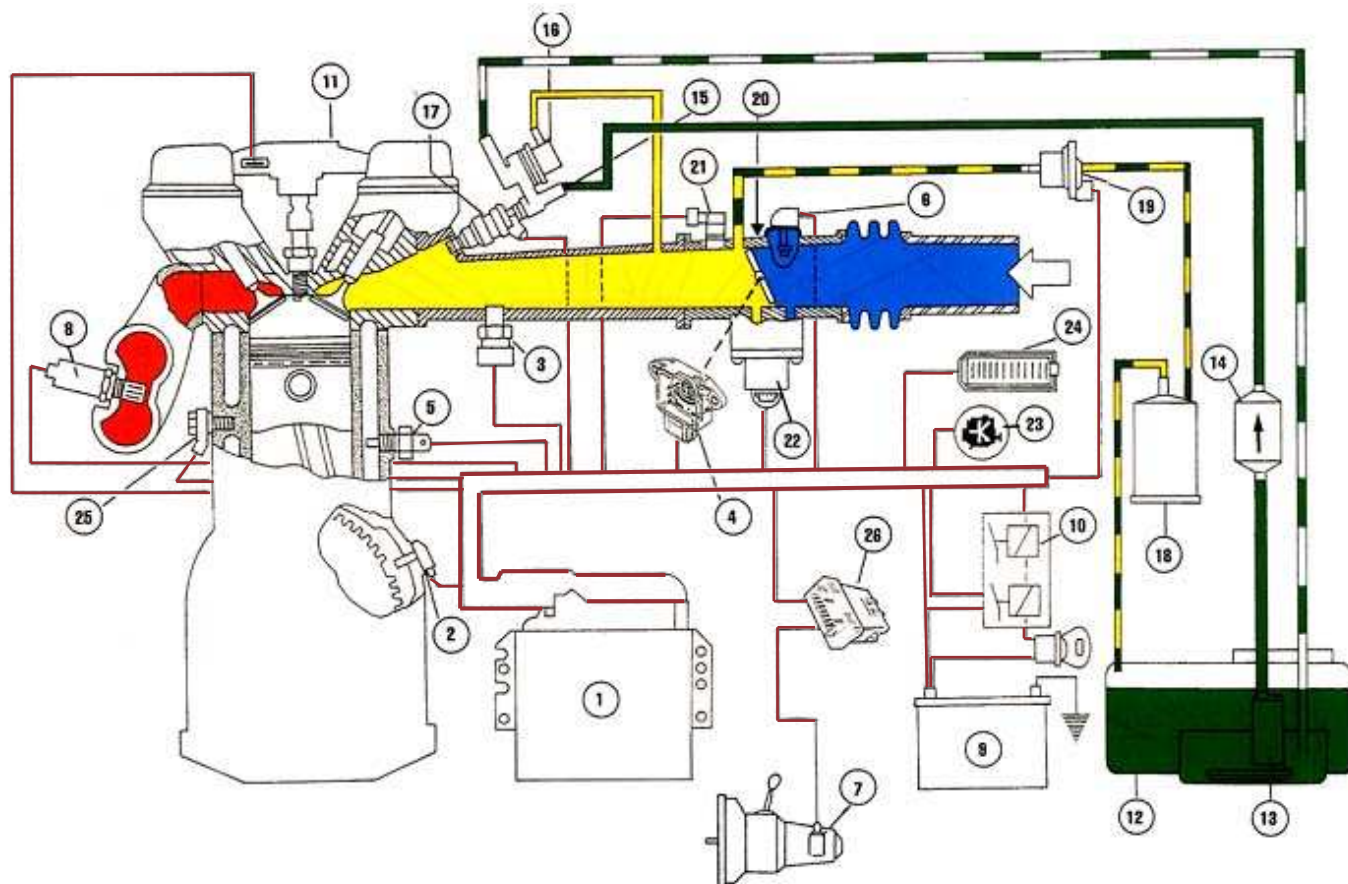
## Domaines d'action des différents capteurs embarqués.



## Exemple 1 : La gestion du bloc moteur.

Historiquement, l'électronique est d'abord apparue dans l'automobile au niveau de la gestion de l'injection (Bosch, 1965)

*Schéma de situation des différents capteurs contrôlant le fonctionnement d'un moteur actuel.*



### Légende

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1 Calculateur                        | 2 Capteur régime rotation et PMH          |
| 3 Capteur de pression d'admission    | 4 Potentiomètre de position papillon      |
| 5 Capteur température eau moteur     | 6 Capteur température admission d'air     |
| 7 Capteur vitesse véhicule           | 8 Sonde à oxygène (sonde lambda)          |
| 9 Batterie                           | 10 Relais                                 |
| 11 Bobine d'allumage                 | 12 Réservoir essence                      |
| 13 Pompe à carburant                 | 14 Filtre à essence                       |
| 15 Rampe d'alimentation              | 16 Régulateur de pression                 |
| 17 Injecteurs                        | 18 Réservoir canister                     |
| 19 Électrovanne de purge canister    | 20 Papillon                               |
| 21 Résistance réchauffage papillon   | 22 Moteur pas à pas de régulation ralenti |
| 23 Voyant de test injection allumage | 24 Connecteur pour diagnostic             |
| 25 Capteur de cliquetis              | 26 Boîtier d'interface vitesse            |

A tout instant, le calculateur ajuste la quantité de carburant à injecter, en fonction du régime moteur, de la charge demandée par le pilote (position du papillon liée à l'appui sur l'accélérateur, vitesse du véhicule et rapport de boîte engagé), et de la composition des gaz d'échappement.

La date d'injection dans un cylindre est liée à la position du piston correspondant (rôle du capteur de PMH).

### Capteurs de température d'huile, de liquide de refroidissement, d'air.

Les sondes de températures exploitent la variation de résistivité selon une loi affine :  $\rho = \rho_0 \times (1 + \alpha \times \theta)$  ( $\theta$  en °C)

ou exponentielle :  $\rho = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$  (T, température absolue en kelvins).

On peut utiliser des jauges CTN ( $\alpha < 0$ ) ou CTP ( $\alpha > 0$ )

Sonde de température d'eau



Sonde de température d'admission d'air

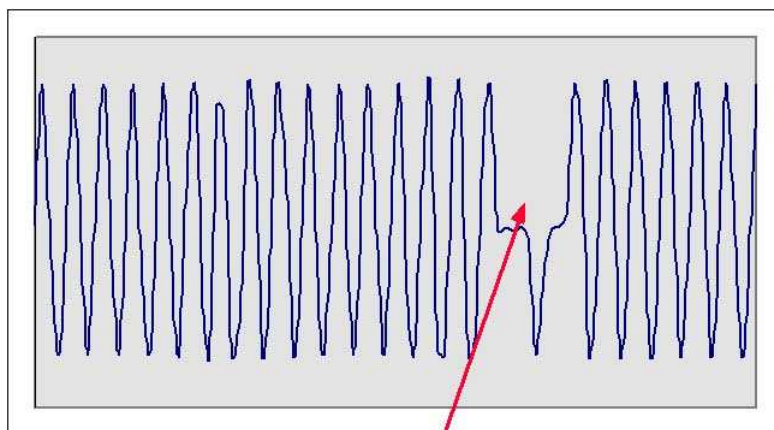
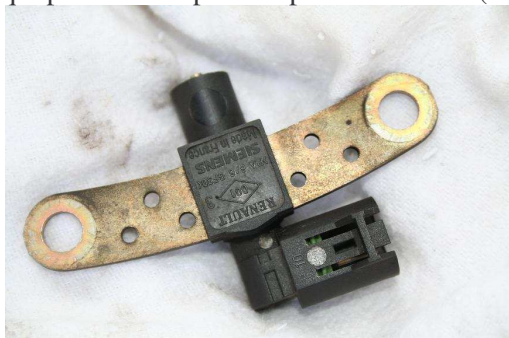


Sonde de température d'huile



### Capteur de position de vilebrequin (capteur de PMH) et de vitesse de rotation

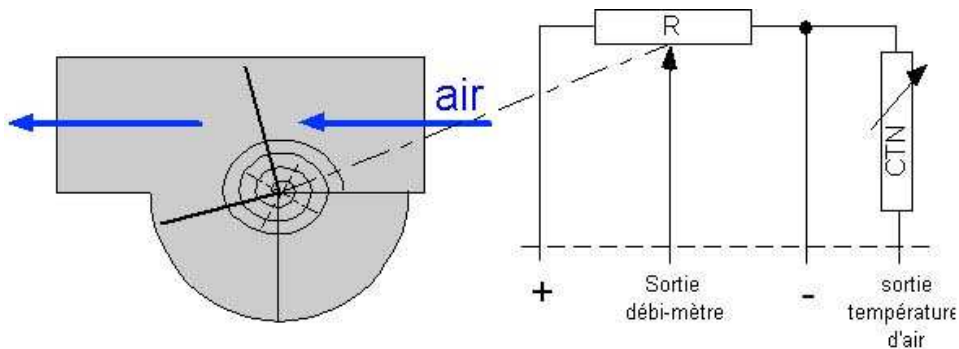
C'est un capteur inductif placé en regard d'une roue dentée solidaire du vilebrequin. Il manque 2 dents à cette roue, ce qui permet de repérer le point mort haut (voir ci-dessous)



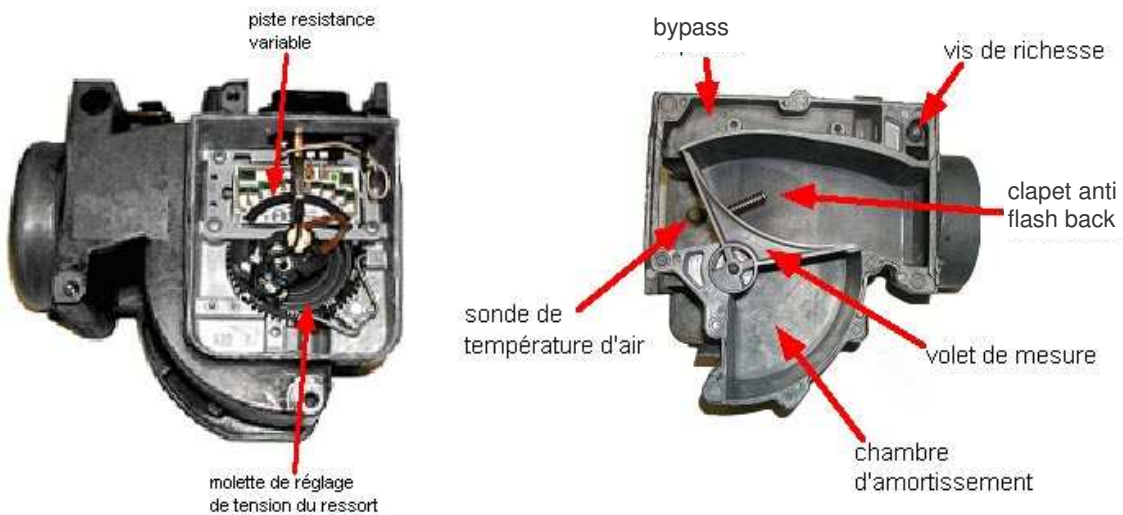
Signal des dents manquantes

## Débitmètre

Le débitmètre est chargé de déterminer le débit massique de l'air d'admission, dans le but d'ajuster au mieux la quantité de carburant à vaporiser par les injecteurs.

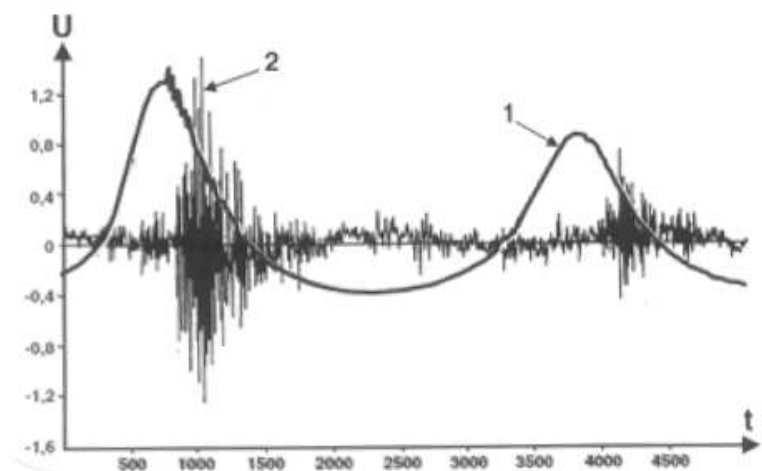
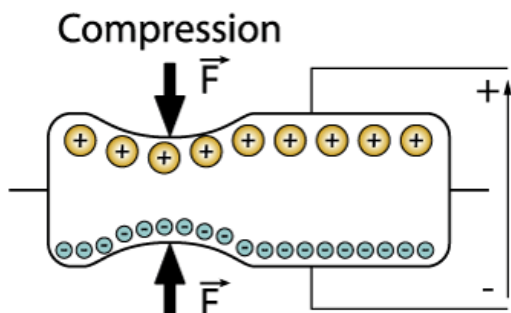


Le débitmètre est alimenté sous 5V; le déplacement du volet de mesure est solidaire du curseur d'un potentiomètre. Ce débitmètre est équipé d'une CTN (résistance à Coefficient de Température Négatif) qui mesure la température de l'air d'admission.



## Capteur de cliquetis

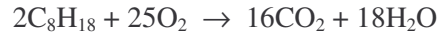
Le capteur de cliquetis mesure les vibrations du bloc moteur par effet piézoélectrique. Le signal est ensuite traité au niveau du calculateur : La présence de cliquetis est liée à un défaut d'avance à l'allumage.

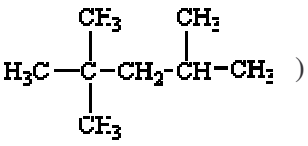


1 : Evolution de la pression dans le cylindre  
2 : Cliquetis excessif

## Contrôle de combustion (sonde lambda)

Pour un moteur essence, il s'agit d'obtenir la combustion complète d'isooctane, selon la réaction :



(Rem : isooctane ou tri méthyle 2\_2\_4 pentane : )

La composition stoechiométrique correspond à un rapport massique de 14,7 : 14,7g d'air pour 1g de carburant.

On nomme lambda ( $\lambda$ ) le rapport entre la masse d'air effectivement admise et la masse nécessaire pour avoir une combustion stoechiométrique (14,7 g d'air pour 1 g de carburant, soit près de 10000 litres d'air par litre de carburant !)

On appelle « richesse du mélange » à l'admission la quantité inverse de  $\lambda$

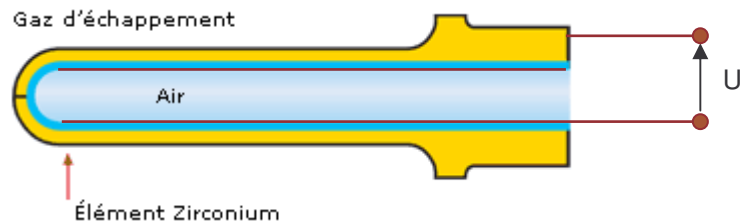
La stratégie de contrôle de combustion consiste à analyser la teneur en oxygène des gaz d'échappement :

Si le mélange à l'admission est trop pauvre (richesse  $< 1$  ou  $\lambda > 1$ ), on n'a pas assez injecté de carburant, et il y a un excès d'air à l'échappement ; inversement, les gaz d'échappement sont déficitaires en oxygène si le mélange d'admission est trop riche (richesse  $> 1$  ou  $\lambda < 1$ ).

La sonde lambda mesure la concentration en oxygène des gaz d'échappement. Elle est placée au début de la ligne d'échappement. Elle existe selon 2 versions : Sonde à zirconie (dioxyde de zirconium) ou sonde au dioxyde de titane.

### Sonde à zirconie :

La face externe de l'élément est au contact direct avec les gaz d'échappement. La face interne est en contact avec l'air. Les deux faces de l'élément sont revêtues d'une fine couche de platine. La différence de concentration en oxygène entre l'air et les gaz d'échappement provoque l'apparition d'une ddp entre les 2 électrodes de platine.



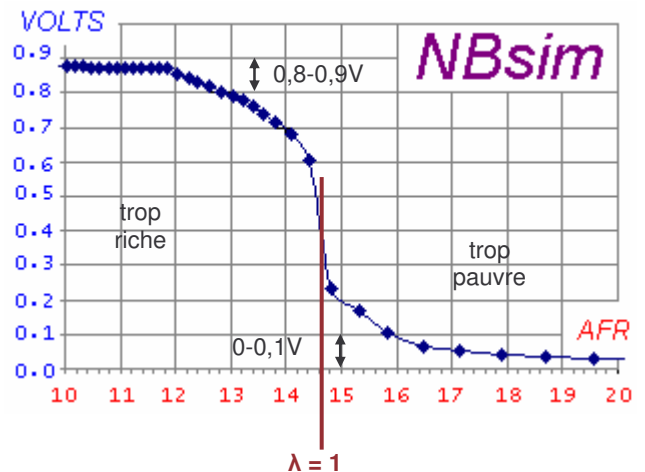
### Sonde au dioxyde de titane :

L'élément au dioxyde de titane ne génère pas de tension électrique comme le fait l'élément au dioxyde de zirconium. En revanche, la résistance électrique de cette sonde varie avec la concentration d'oxygène dans les gaz d'échappement.

La sonde  $\lambda$  nécessite une température minimale de 300°C des gaz d'échappement ; pour obtenir un fonctionnement satisfaisant au démarrage, elle comporte une résistance chauffante interne.

### Fonctionnement de la sonde à zirconie :

La tension délivrée par la sonde évolue rapidement au voisinage de  $\lambda = 1$ . (cf. ci-contre)  
Elle envoie au calculateur une information de type « trop riche » ( $U \approx 0,8$  à  $0,9V$  soit  $\lambda < 0,9$ ) ou « trop pauvre » ( $U \approx 0$  à  $0,1V$  soit  $\lambda > 1,1$ ).  
Par contre, un ajustage précis au voisinage de  $\lambda = 1$  est quasiment impossible avec ce type de sonde, dite à bande étroite ; les véhicules les plus modernes sont équipés d'une sonde  $\lambda$  à large bande, c'est à dire dont le saut de tension au voisinage de  $\lambda = 1$  est bien plus progressif.



## Exemple 2 : Aide au freinage

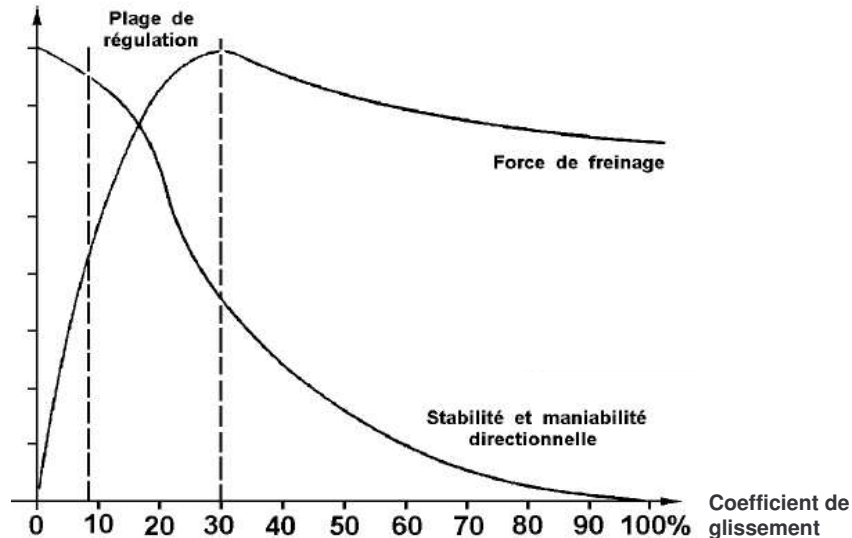
### Position du problème.

Lors d'un freinage d'urgence, la force importante appliquée à la pédale de frein entraîne souvent un blocage des roues ; il en résulte une perte de gouvernabilité du véhicule, ainsi qu'un allongement des distances de freinage. L'adhérence d'une roue est liée à la nature du revêtement routier, ainsi qu'à l'état du pneumatique. On l'évalue par le coefficient de glissement :

$$\text{coefficient de glissement} = \frac{\text{vitesse du véhicule} - \text{vitesse de la roue}}{\text{vitesse du véhicule}} \times 100$$

Le coefficient de glissement évolue de 0% (adhérence parfaite) à 100% (roue bloquée).

Il est possible de mettre en relation le coefficient de glissement et la force de freinage d'une part, le coefficient de glissement et la stabilité et la maniabilité directionnelle du véhicule d'autre part ; on obtient les courbes qualitatives ci-dessous :

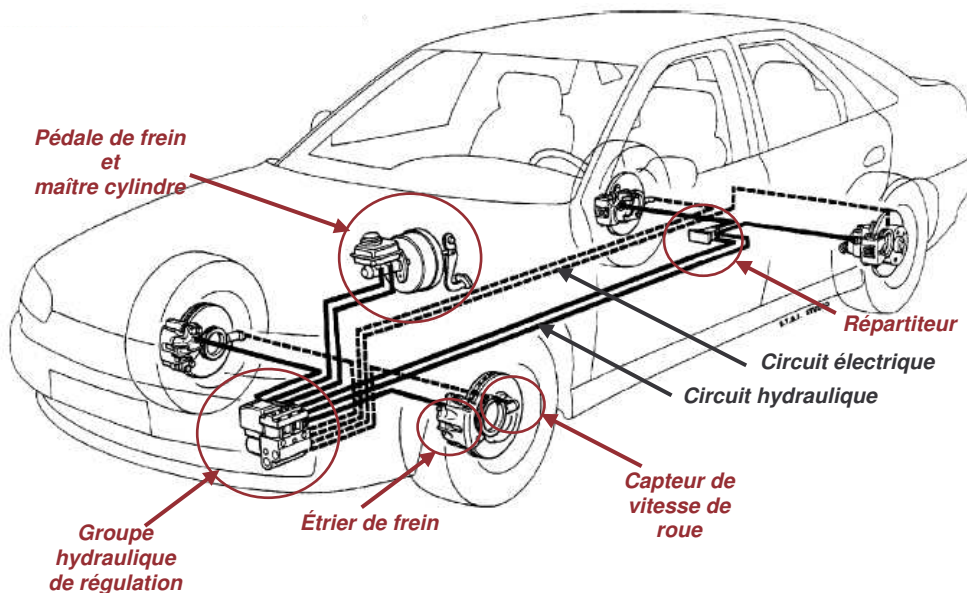


On définit ainsi une plage de régulation possible pour des glissements compris entre 10 et 30% environ. Un bon compromis entre la force de freinage, la stabilité et la maniabilité directionnelle consiste à viser un coefficient de glissement de 20%.

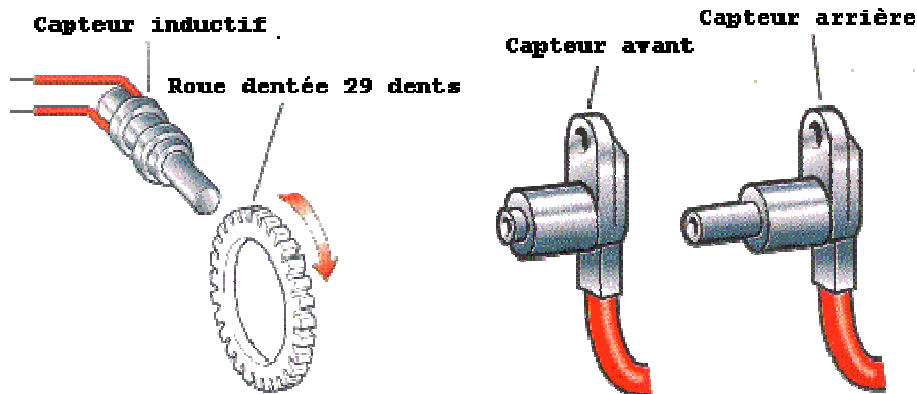
Ces constatations ont abouti à la mise au point du système d'anti-blocage des roues ABS (anti blockierung system) obligatoire dans la CEE depuis juillet 2004.

### Organisation de l'ABS

Le système comprend essentiellement des capteurs de vitesse placés sur chaque roue, reliés à un bloc hydraulique de régulation de l'effort de freinage.



## Capteurs inductifs de mesure de vitesse de rotation des roues



Les capteurs sont du type inductif et constitués d'un aimant permanent et d'un bobinage. Une roue dentée, solidaire de la roue, défile devant le capteur ; le flux magnétique varie et induit dans le bobinage, une tension alternative dont la fréquence et l'amplitude sont proportionnelles à la vitesse de rotation de la roue dentée.

Le seuil minimum de vitesse détectée est de 2,75 km/h.

Résistance : 1 100 à 2 100  $\Omega$ .

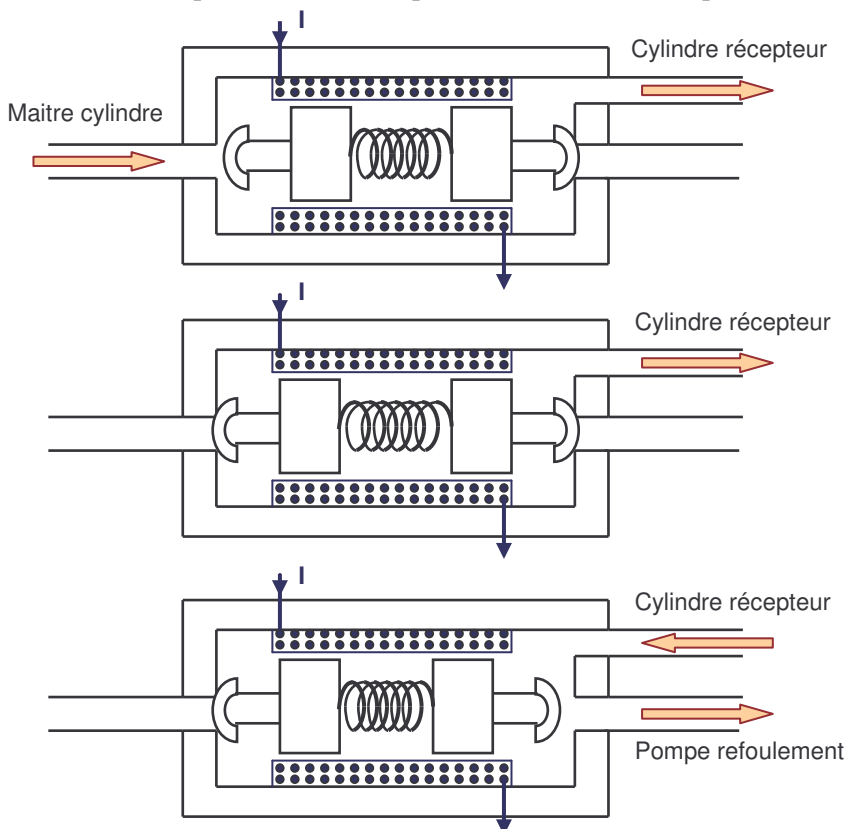
L'entrefer de ces capteurs n'est pas réglable (valeur typique 1mm).

Principe de l'électronique associée : Conversion fréquence  $\rightarrow$  tension (tension continue image de la vitesse de rotation)

### Principe du fonctionnement.

Lors d'une phase de freinage, l'action de l'ABS consiste à limiter la force de freinage appliquée à une roue dont le coefficient de glissement tend à dépasser 20%.

On utilise pour ce faire une électrovanne 3 voies par roue (bloc hydraulique), fonctionnant selon un cycle de 3 situations: Repos – Maintien de pression – Réduction de pression.



#### Position « repos »

Le maître-cylindre communique avec le cylindre récepteur d'étrier.

L'A.B.S. ne fonctionne pas

$I = 0$

#### Position « maintien »

La communication est coupée entre le maître cylindre et le cylindre récepteur.

$I \approx 2A$ , ce qui permet de fermer l'arrivée du maître cylindre.

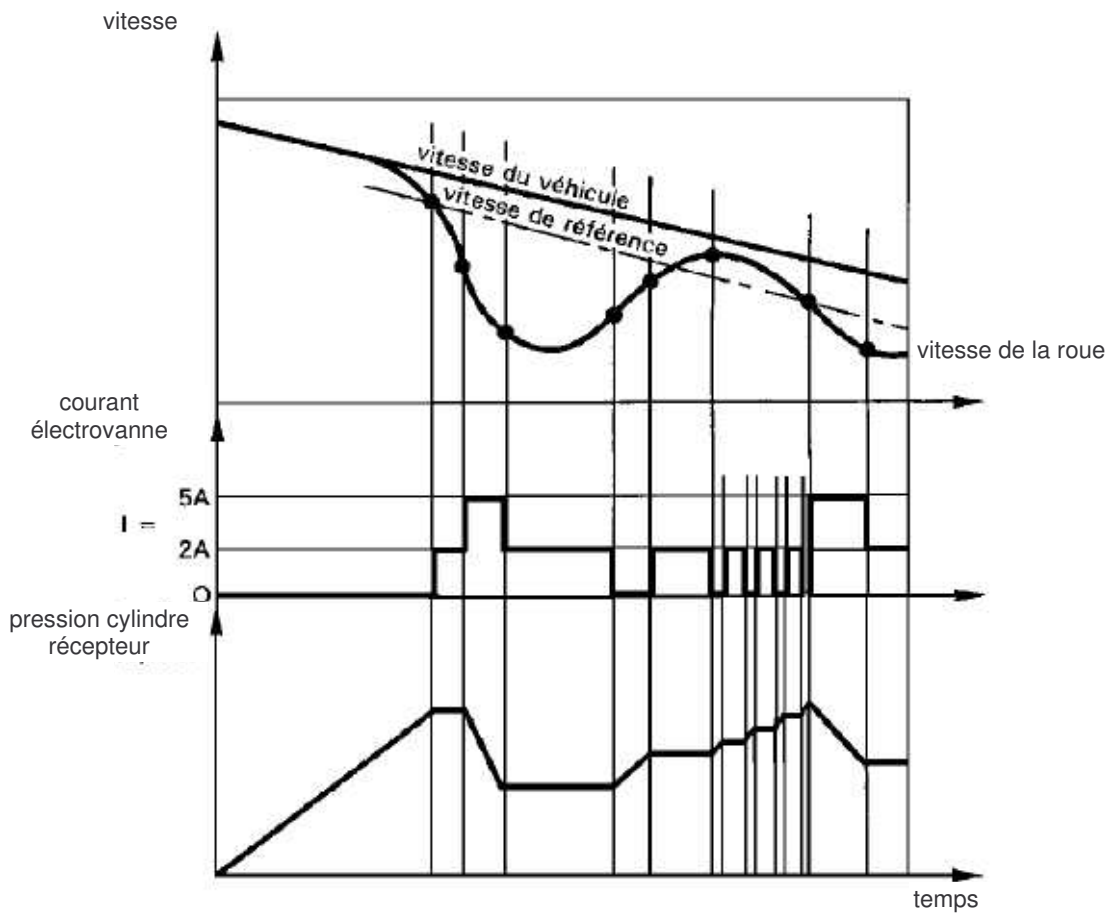
La pédale de frein reste dure et la pression de freinage est maintenue constante.

#### Position « réduction de pression »

$I \approx 5A$  ; le piston de l'électrovanne met en communication le cylindre récepteur et une pompe de refoulement : La pression de freinage baisse.

L'ensemble de ces opérations se répète plusieurs fois par seconde, ce qui se traduit par une vibration au niveau de la pédale de frein.

Exemple de signaux





### Exemple 3 :Contrôle électronique de trajectoire.

Ce dispositif est souvent désigné par le terme ESP (Electronic Stability Program)

Le rôle de l'ESP est d'aider le véhicule à prendre la trajectoire voulue par le conducteur, malgré les aléas de la route – changements d'adhérence ou virages trop prononcés – et le comportement de la voiture (influencé par sa vitesse, sa répartition de charge ou l'état de ses pneumatiques).

Il intervient dans la dynamique de la voiture en utilisant individuellement le système de freinage de chaque roue. Ce freinage n'est donc plus produit par le conducteur, mais par le boîtier ESP lui-même.

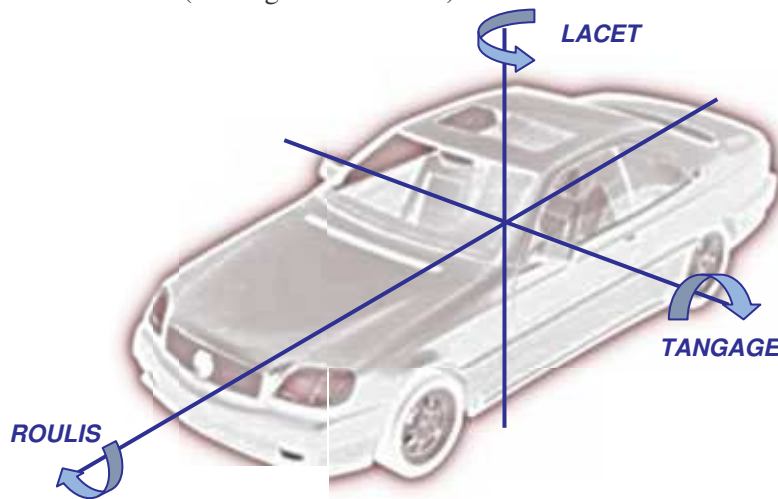
#### L'équilibre dynamique d'un véhicule.

A l'arrêt, un véhicule n'est soumis qu'à son poids et à la réaction opposée du sol sur les 4 roues.

Dès que le véhicule est en mouvement, une multitude de forces sont appliquées : Une courbe ou un vent de travers induiront des forces latérales que les pneumatiques s'efforceront de contrer.

Les accélérations, les freinages ou l'aérodynamisme, pour ne citer que ces actions, créeront des forces longitudinales. Les forces verticales que nous avons à l'arrêt subsistent, mais peuvent être altérées par le profil et l'état de la route.

Ces diverses forces vont engendrer des couples de rotation, par rapport aux 3 axes de référence du véhicule, à savoir, tangage, roulis et lacet. (voir figure ci-dessous)



Ces couples vont induire des transferts d'appui entre les roues du véhicule :

- Une force latérale induit un roulis modifiant les forces verticales (dans un virage, tout comme les passagers sont entraînés vers le côté, les roues extérieures sont plus chargées que celles à l'intérieur).
- Une force longitudinale génère un tangage modifiant aussi les forces verticales (lors d'un freinage, les roues arrière sont délestées au profit de celle de l'avant).
- Enfin, le pivotement du véhicule en entrée et sortie de virage crée un couple de lacet autour de l'axe vertical passant par son centre de gravité.

#### La perte d'adhérence : Sous virage et survirage.

Le sous virage :  
les roues avant perdent leur capacité directionnelle et le véhicule a tendance à " tirer tout droit " .



Le survirage :  
les roues arrière perdent leur pouvoir de guidage latéral et le véhicule a tendance à se diriger vers l'intérieur du virage.



### Base d'action de l'ESP.

Le freinage sélectif d'une des roues d'un essieu peut induire un couple de lacet, pouvant faire pivoter le véhicule.

Par exemple, si la roue arrière droite est freinée, celle-ci « tire » l'arrière de la voiture. L'essieu arrière aura tendance à pivoter vers la gauche et le véhicule à se diriger vers la droite.

Un changement de direction peut alors être créé, soit de faible amplitude avec uniquement la déformation des pneus, soit de plus grande amplitude si ces derniers devaient perdre une partie de leur adhérence.

Ce cas se rencontre involontairement quand un freinage est effectué lorsque les roues d'un côté sont sur un sol plus adhérent que celles de l'autre côté.

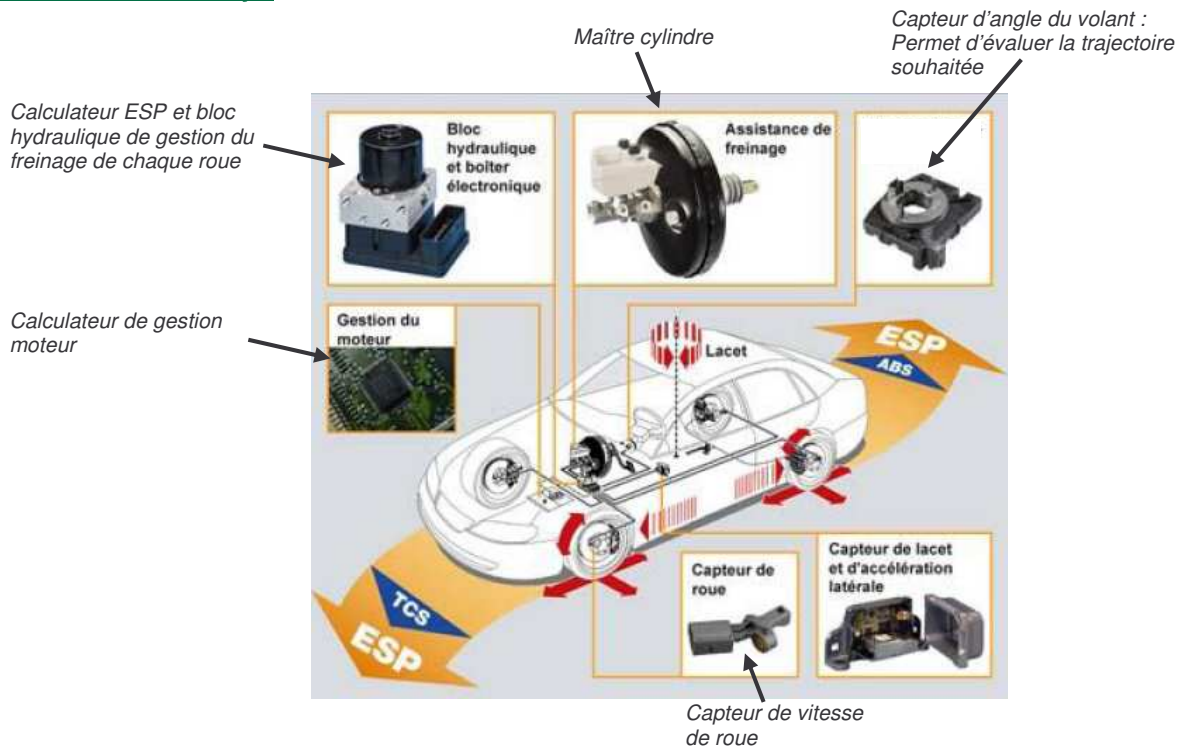
(ex : gravier sur le bas côté, plaques humides sur la chaussée ou problème technique sur un frein ou un pneumatique).



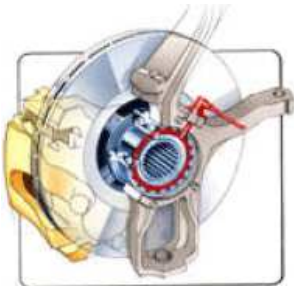
Il est ainsi possible d'éviter sous-virage et survirage, pour que la voiture suive la trajectoire souhaitée par le conducteur.

Par contre, l'ESP ne peut corriger la défaillance d'adhérence d'une roue ou d'un essieu qu'en puisant dans celle des autres. Autrement dit, l'ESP améliore le comportement, mais la valeur totale d'adhérence de la voiture n'est pas augmentée !

### Les éléments constitutifs.



Les capteurs de roue. Il en existe de 2 sortes :



- Le capteur passif : Aussi appelé inductif, il est composé d'un aimant permanent et d'une bobine. Placé face à une roue dentée en rotation, il reçoit une variation de champ magnétique.

Ce dernier est transformé en courant alternatif dont la fréquence varie avec la vitesse de rotation. En raison de ses caractéristiques, il ne peut mesurer des faibles vitesses de rotation (< 3km/h environ).



- Le capteur actif : Il est placé face à un disque multipolaire, remplaçant la couronne dentée. Ce type de capteur peut mesurer des régimes très faibles, voire proches de l'arrêt du véhicule.  
(Cette caractéristique est très utile pour d'autres fonctions comme le système de navigation ou l'aide au démarrage en côte.)

Le capteur d'angle du volant : Il donne l'information du braquage des roues directrices, et donc de la trajectoire voulue par le conducteur.

Plusieurs technologies sont utilisées : potentiomètre, capteur optique ou magnétique à effet hall.

Le capteur de lacet : Il mesure la vitesse de rotation du véhicule autour de l'axe vertical passant en son centre d'inertie. Il est donc généralement situé idéalement dans cet axe, souvent entre la console centrale et le passage entre les deux sièges avant.

Les capteurs des premiers systèmes ESP étaient mécaniques à vibrations. Ils sont aujourd'hui supplantés par la micromécanique. (Éléments piézorésistifs, détectant un couple de torsion) Ils ont ainsi gagné en précision de mesure et en encombrement.

Le capteur d'accélération latérale : Il est complémentaire du capteur de lacet.

Il est composé d'une masse placée en bout de ressort. (Aimant se comportant comme une masse sismique) Cette masse se déplace sous l'action de la force centrifuge (accélération latérale) créée par la vitesse dans un virage. Le déplacement de cette masse, est mesuré par un capteur à effet Hall ; on en déduit ainsi l'accélération latérale.

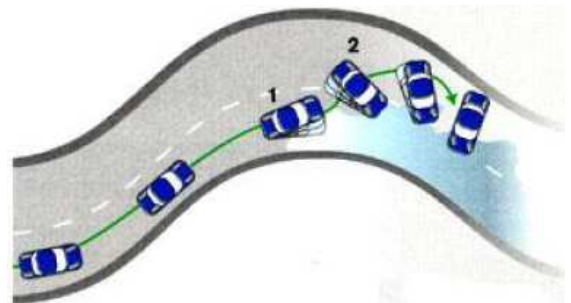
(Sur certains véhicules, capteur d'accélération transversale et capteur de lacet sont intégrés dans le même composant, constituant un véritable gyromètre)

#### Exemple d'action de l'ESP : Virage avec flaque d'eau.

Sans ESP :

Le véhicule rencontre un sol humide inattendu au milieu du virage.

- 1) : Le train avant perd son adhérence, le véhicule sous-vire et sort de la trajectoire.
- 2) : En retrouvant le sol sec, le train avant reprend l'adhérence et fait survirer le véhicule.

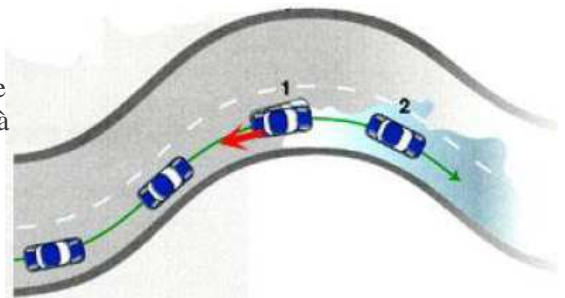


Avec ESP :

- 1) : L'ESP détecte un début de sous-virage (début de perte d'adhérence du train avant).

L'ESP freine immédiatement la roue arrière droite, créant ainsi un couple de rotation au châssis dans le sens des aiguilles d'une montre. Cette action aide le véhicule à tourner vers la droite et à rester sur la trajectoire souhaitée.

- 2) : Le véhicule est sur la trajectoire souhaitée.



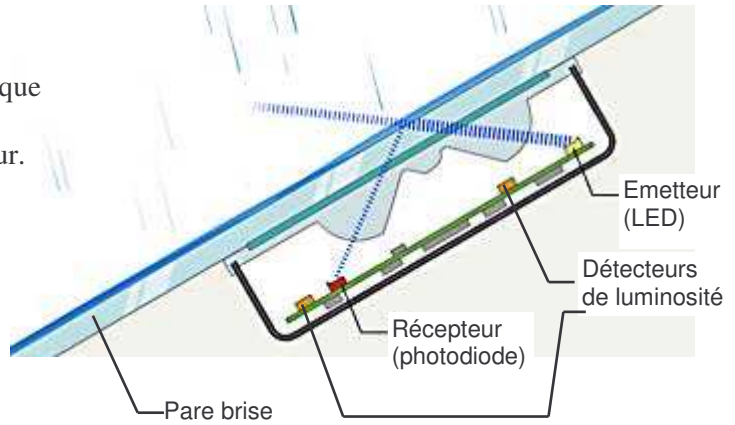
## Exemple 4 : Autres systèmes. (pêlé-mêlé)

### Le capteur de pluie

Le capteur de pluie permet le cadencement automatique des essuie-glace.

Il est placé en haut du pare brise, plaqué côté intérieur.

Il est généralement associé à des détecteurs de luminosité, chargés de piloter l'allumage automatique des feux de croisement.



Le fonctionnement de ce capteur est basé sur la réflexion totale de la lumière dans l'épaisseur du pare brise. Une diode émettrice envoie un signal lumineux vers le pare-brise en traversant d'abord un guide de lumière (prisme de plexiglas) puis une fenêtre silicone. Le signal subit une ou plusieurs réflexions dans le pare-brise avant d'être mesuré par la diode réceptrice (photodiode).

Dès qu'une goutte d'eau tombe devant le capteur, une partie des rayons lumineux est diffractée et peut sortir vers l'extérieur du pare brise. La quantité de lumière reçue par la photodiode décroît. L'électronique, derrière la diode de réception, commande alors le cadencement de l'essuie-vitre.

Le capteur de pluie est capable de réguler un temps d'intermittence variable entre 2 balayages successifs.

En deçà d'une certaine durée, il commandera la première vitesse, puis la deuxième vitesse d'essuie glace, en fonction de la quantité de pluie détectée.

Petit détail qui a son importance, un chauffage intégré supprime tout risque de buée devant la fenêtre, pouvant perturber le système.

### Les capteurs de pression des pneumatiques.

Les systèmes de contrôle permanent de la pression des pneumatiques équipent actuellement les seuls véhicules de moyenne et haute gamme. Ils seront obligatoires sur tous les véhicules à compter de 2011. (Considérés comme élément de sécurité)

Comment cela fonctionne-t-il ?

A l'intérieur de chaque pneumatique, un capteur fournit les informations pression et température à un microcalculateur, associé à un émetteur RF et une antenne imprimée (Cf. ci-contre)

Ce système est autoalimenté par une pile lithium-ion de durée de vie estimée à 10 ans.

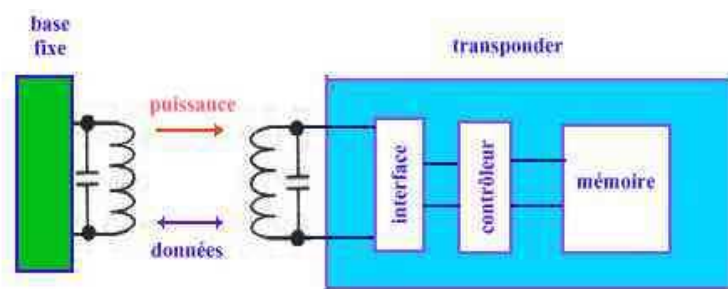


L'information numérique est transmise à la fréquence de 315 ou 432 MHz (code Manchester ou NRZ, modulation OOK), soit à un récepteur placé au voisinage de chaque roue (donc 4 au total, reliés à un calculateur central par bus CAN), soit à un récepteur unique qui doit identifier chaque roue (système moins coûteux, mais qui posera problème en cas de permutation de roues par un propriétaire qui souhaite homogénéiser l'usure de ses pneumatiques !!)

## L'antidémarrage codé

Le démarrage du véhicule ne peut être réalisé qu'après identification d'un code contenu dans une mémoire interne à la clé ou à une carte (solution Renault).  
(chez BMW, l'identification nécessite la reconnaissance de 2 codes, un fixe et un changeant à chaque démarrage...)

Le principe de base est celui du transpondeur (ou émetteur sans fil autoalimenté) :  
Il repose sur un couplage de bobines ;  
l'une est liée au véhicule et permet d'alimenter le transpondeur proprement dit ; l'autre est liée au transpondeur et permet de renvoyer le code à la base fixe. (Cf. à droite)



L'insertion de la clé dans le dispositif de contact déclenche l'alimentation du transpondeur, puis la lecture du code.

Sur quelques véhicules innovants, le conducteur porte la carte comportant le transpondeur sur lui : Le fait de s'approcher suffisamment près du véhicule va déclencher l'ouverture des portières et activer la possibilité de démarrer.

Remarque : Ouverture-fermeture des portières par « plip » sur la clé de contact : Il s'agit de l'émission infrarouge d'un code d'ouverture ou de fermeture ; l'émetteur est alimenté par une pile bouton qui confère une autonomie moyenne de 2 à 3 ans et une portée d'une dizaine de mètres.

## Le radar anticollisions.

C'est un dispositif d'aide à la conduite qui permet d'identifier les obstacles sur la route, et permet de respecter les règles sur les distances de sécurité entre les véhicules.

On l'appelle **RADAR ACC (Automatic Cruise Control)**.

Ce dispositif fonctionne sur la bande 77 GHz. (Il est prévu d'autoriser le fonctionnement dans la bande 24GHz après 2013)

L'antenne d'un ACC se présente extérieurement sous forme d'une lentille (Cf. ci-contre), intégrée le plus souvent au pare chocs du véhicule.

Le faisceau d'émission est assez peu ouvert : 10à 20° tout au plus.



Exemple de possibilité :

Sur la figure de droite, le véhicule vert roule à 140km/h ; il est précédé par le véhicule bleu qui se déplace dans le même sens, mais à 120km/h.

Lorsque la voiture rapide rattrape la voiture lente, son radar l'informe de cet obstacle et peut automatiquement réduire la vitesse de la voiture suiveuse.

Quand l'obstacle (la voiture lente) sort du faisceau de détection radar, le système autorise la reprise de vitesse du véhicule vert.

