

Chapitre 6. Systèmes d'allumage pour les moteurs à essence

6.1 Introduction

6.1.1- Définition

L'allumage pour un moteur à explosion est impératif, il consiste à déclencher la combustion du mélange carburé dans la chambre de combustion. L'inflammation du mélange est réalisée grâce à une étincelle générée entre les électrodes de la bougie d'allumage.

6.1.2- Principe et fonction de l'allumage par batterie

L'allumage électrique permet de réaliser la rapidité et la précision du point d'inflammation. Il assure une puissance calorifique élevée dans un instant très court.

- L'arc électrique peut être obtenu en un instant précis
- Et il est facile à déplacer dans le temps.

L'arc électrique jaillit entre les deux électrodes de la bougie dans la chambre de combustion où règne une pression élevée (pression de fin de compression). La tension d'amorçage de l'arc électrique est de l'ordre de 10 à 20 Kv.

Le dispositif d'allumage est donc composé des éléments suivants : le générateur à haute tension (bobine), le déclencheur, le distributeur, la bougie et la source d'alimentation (batterie).

L'allumage comprend principalement quatre fonctions :

- Le déclenchement de l'étincelle, réalisé par rupture du courant primaire de la bobine
- La préparation de la haute tension (HT)
- L'avance en fonction du régime moteur et des corrections
- La distribution de la haute tension aux bougies

Les conditions que doit remplir un système d'allumage sont :

- permettre une puissance calorifique instantanée importante.
- Etre d'une grande fiabilité.
- Déterminer avec précision l'instant "t" de l'allumage. L'instant "t" correspond à une position précise des éléments du système de transformation du mouvement piston-vilebrequin : c'est le point d'allumage.

6.1.3- Classification des systèmes d'allumage

Les systèmes d'allumage par batterie sont classés en quatre groupes :

- Allumage classique à rupteur mécanique
- Allumage à rupteur transistorisé
- Allumage à déclenchement statique (sans rupteur mécanique)
- Allumage électronique intégral (AEI)

6.2- Allumage classique à rupteur

Les éléments constituant le système d'allumage classique par bobine sont représentés sur la figure 1.

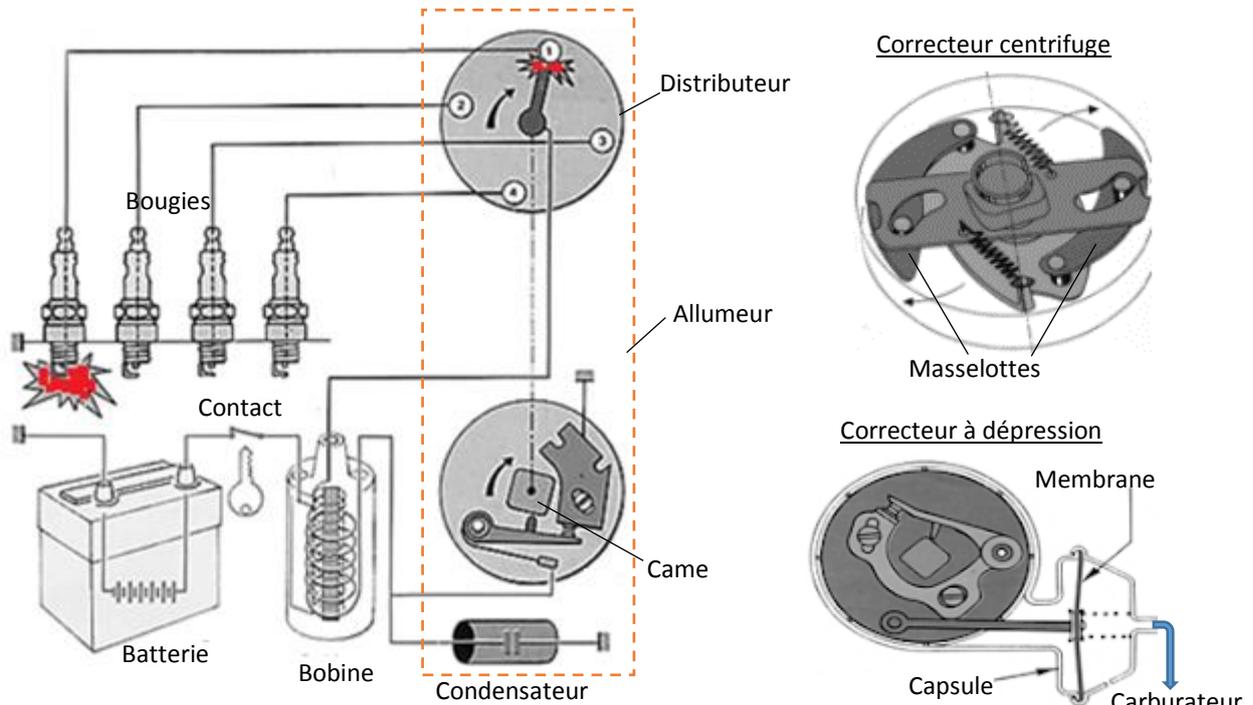


Figure1. Allumage classique par bobine

Le système d'allumage classique comporte :

- L'allumeur constitué par le rupteur, la came de commande, le condensateur, le distributeur de la HT et le système d'avance (centrifuge et à dépression)
- La bobine (génératrice de la HT) constituée de deux enroulements (primaire et secondaire) et d'un noyau en fer doux
- Des fils de HT et des bougies d'allumage
- La source d'alimentation basse tension (batterie)

6.2.1- Principe de fonctionnement

Le schéma du circuit électrique correspondant à la figure 1, est présenté sur la figure 2. L'arc électrique est obtenu au moyen de la bobine d'induction, le principe de création de l'arc électrique est basé sur les lois d'électrotechnique.

A partir de l'énergie électrique continue (basse tension 12 V) de la batterie et au moment où le contact est fermé, une forte aimantation est obtenue dans le circuit primaire de la bobine. Au moment de l'ouverture du circuit (rupteur ouvert), le courant est rapidement interrompu provoquant une variation du flux, ce qui permet la création d'un courant induit dans le circuit secondaire et l'obtention d'une force électromotrice (tension au secondaire) de valeur :

$$E = k \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} \cdot \frac{N2}{N1}$$

La tension au secondaire (f.e.m) est fonction :

- De l'importance et la rapidité des variations du courant ($\Delta i / \Delta t$) obtenu par ouverture du circuit primaire au moyen du rupteur (profil de la came)
- Du rapport des nombres de spires de la bobine d'induction ($N2 / N1$)
- De la capacité du condensateur (les étincelles au rupteur produites par l'effet d'auto-induction et qui prolongent la rupture, sont absorbées par le condensateur)

La f.e.m (H T au secondaire) est maximale à l'instant de l'ouverture du circuit primaire, elle peut atteindre jusqu'à 20 kV. La distribution de la tension du secondaire sur les bougies des différents cylindres, est assurée au moyen d'un doigt rotatif suivant l'ordre d'allumage précisé dans la figure 2.

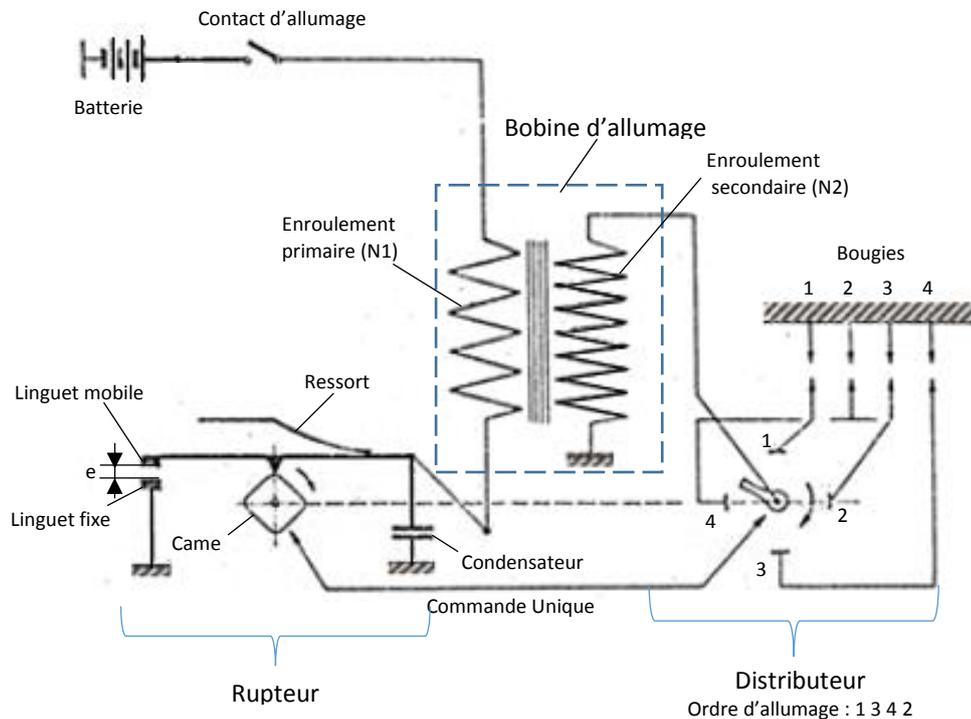


Figure 2. Circuit d'allumage par bobine et rupteur

La puissance optimale de l'arc électrique à la bougie, est obtenue par le réglage de l'écartement des électrodes selon le diagramme de la figure 3.

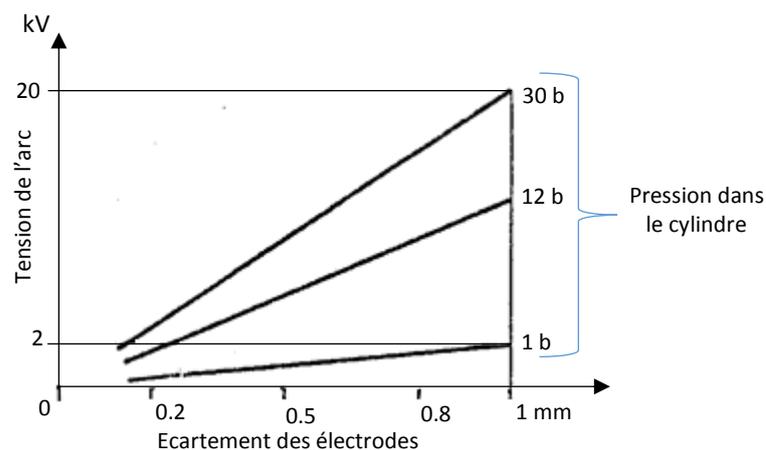


Figure 3. Ajustement de l'écartement des électrodes de bougie d'allumage

6.2.2- Variation du point d'allumage

Le mélange s'enflamme par couches, la combustion n'est pas instantanée et il est indispensable de prévoir une avance à l'allumage tenant compte de la durée de la combustion afin d'obtenir la pression maximale sur le piston lorsque le maneton du vilebrequin et la bielle forment un angle de 90°. L'avance à l'allumage "AA" dépend de plusieurs facteurs : la vitesse de rotation du moteur, le remplissage des cylindres, le combustible et le dosage du mélange, la température

du moteur, le taux de compression,...etc. La position du point d'allumage peut être modifiée au moyen d'un ou de deux correcteurs d'avance qui font varier l'instant d'ouverture du circuit primaire en fonctionnement. Les correcteurs d'avance sont à commande mécanique ou à dépression.

i) Correcteur mécanique :

Le correcteur mécanique permet de modifier la position du point d'allumage en fonction de la vitesse de rotation du moteur (accroissement de l'avance à l'allumage avec la vitesse de rotation). Ce résultat est obtenu grâce à la force centrifuge qui provoque le décalage de la came par rapport à son entraînement sous l'action des masselottes au moyen d'un système de leviers (voir figure 4).

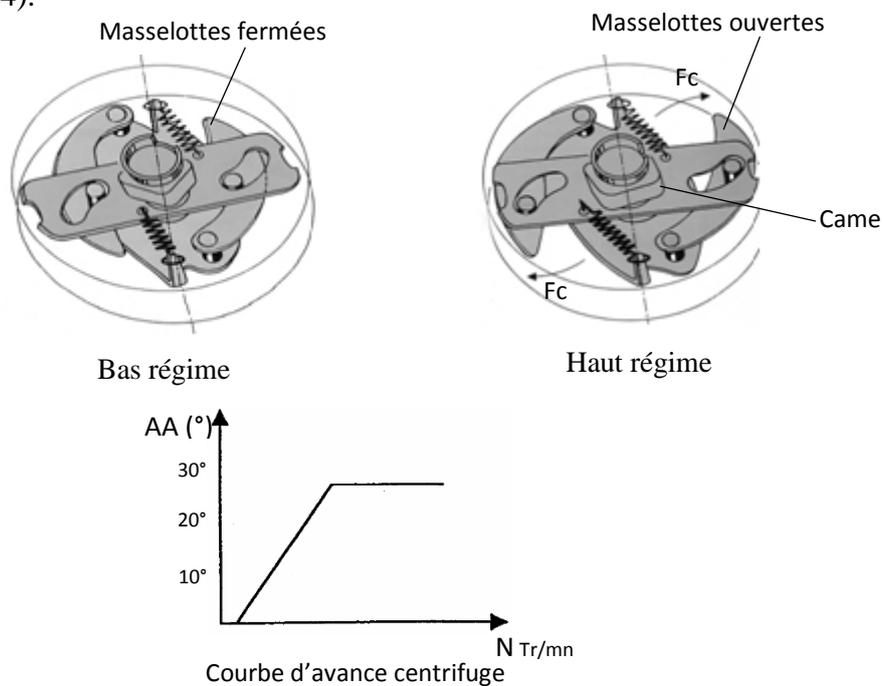


Figure 4. Correcteur centrifuge

La force centrifuge s'exprime par l'expression :

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot R = m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot N^2 \cdot R = k \cdot N$$

Où :

m- masse de masselotte

ω - vitesse angulaire

R- distance du centre de gravité de la masse à l'axe de rotation

N- vitesse de rotation

ii) Correcteur à dépression :

Le correcteur à dépression (voir figure 5), agit sur le rupteur en provoquant une décroissance de l'avance d'allumage lorsque la pression d'admission augmente. La pression d'admission prise au carburateur agit sur une membrane qui par un système de levier déplace le plateau en rotation par rapport à celui de la came :

- Sens inverse pour accroître l'avance (a)

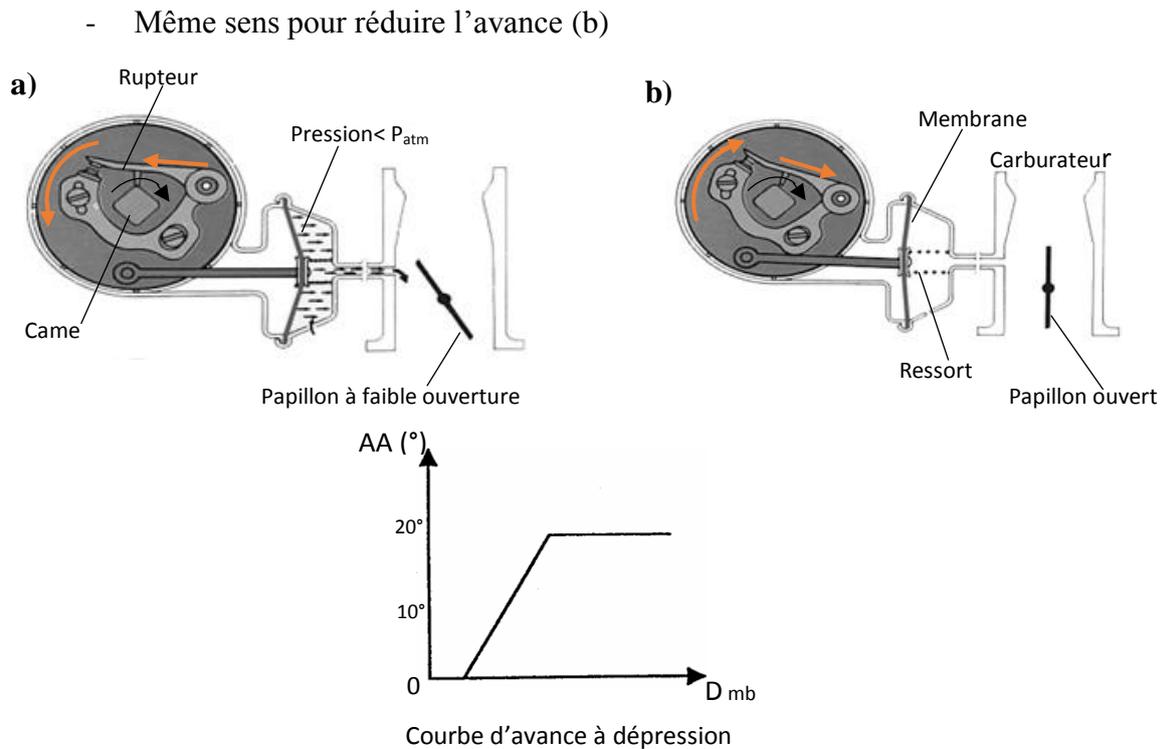


Figure 5. Correcteur à dépression ; a- Charge du moteur minimale ; b- Charge du moteur importante

6.2.3- Calage et réglage de l'allumeur

Pour obtenir une combustion optimale, l'allumeur doit être calé correctement dans le cycle de chaque cylindre. Le calage de l'allumeur consiste en ce que l'allumeur soit au point de rupture du courant primaire, le moteur au point d'allumage donné par le constructeur.

Le point d'allumage est repéré de différentes façons :

- distance entre le piston en ce point et le P.M.H
- sur le volant ou la poulie motrice par rapport au P.M.H

Le réglage de l'allumeur en cette position (position de la came offrant l'ouverture maximale du rupteur), consiste essentiellement à donner au grain de contact l'écartement "e" (figure 2) qui permet le bon fonctionnement du moteur.

Une fois le calage réalisé sur un cylindre, il convient de relier les autres cylindres dans l'ordre d'allumage préconisé (voir exemples) ci-dessous.

- Moteur à 4 cylindres 1 3 4 2
- Moteur à 6 cylindres 1 5 3 6 2 4
- Moteur à 8 cylindres 1 3 6 5 4 8 7 2

L'allumage classique à rupteur présente plusieurs inconvénients à savoir :

- Usure du rupteur occasionnant une perte de performance ;
- Nécessité des interventions régulières (réglage, voire remplacement du rupteur) ;
- Déficience relative de la haute tension ;
- Angle de came constant ;
- Usure et dérèglement, imprécisions des composants mécaniques.

6.3- Allumage électronique

6.3.1- Allumage à rupteur transistorisé

C'est l'allumage classique assisté par l'électronique utilisant un transistor de puissance incorporé dans le circuit primaire de la bobine, comme présenté sur la figure 6. Cette solution a pour but de réduire le courant coupé par le rupteur (~ 6 A), ce qui permet de préserver les contacts contre les dégradations provoquées par l'arc électrique.

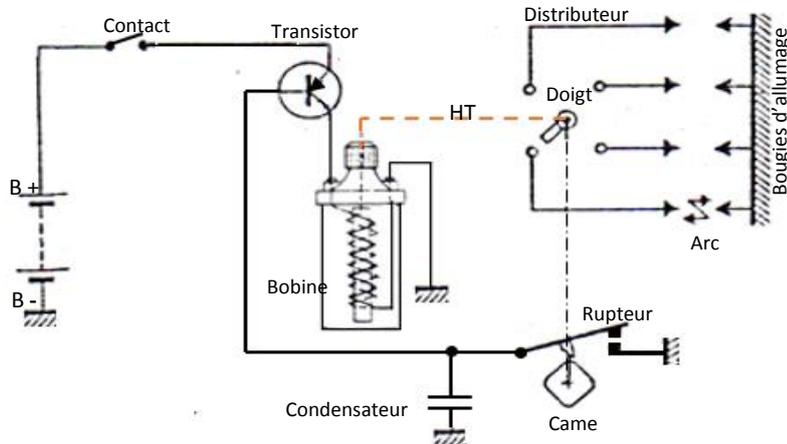


Figure 6. Système d'allumage assisté par transistor

A la fermeture des contacts du rupteur, un courant faible (~ 0.5 A) parcourt le circuit base-émetteur du transistor et permet le passage d'un courant plus intense (6 A environ) à travers le circuit collecteur-émetteur du transistor. A la coupure, le courant émetteur-base est interrompu et le transistor n'est plus conducteur. Le courant qui traverse le rupteur commande un courant de plus forte intensité qui circule dans l'enroulement primaire de la bobine d'allumage.

Les principaux avantages offerts par l'allumage à transistor sont les suivants :

- démarrage à froid plus facile, grâce à l'absence d'arcs électriques entre les contacts ;
- meilleur rendement aux vitesses élevées, le transistor permet de fournir aux bougies d'allumage un courant d'intensité constante, même à un régime de rotation très élevé ;
- durée de vie plus longue des grains de contacts du rupteur, car le courant qui passe est plus faible.

6.3.2- Allumage à décharge capacitive

L'allumage par décharge de condensateur est un système plus élaboré que le précédent. Il utilise la décharge d'un condensateur dans le primaire de la bobine. Le schéma du circuit est illustré sur la figure 7.

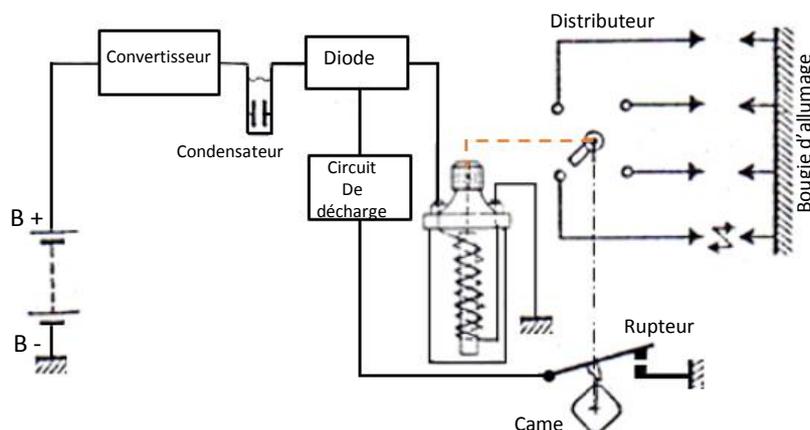


Figure 7. Système d'allumage par décharge du condensateur

Lors de la fermeture des contacts du rupteur, le condensateur se charge par l'intermédiaire du convertisseur. A la coupure, le condensateur se décharge à travers une diode branchée sur l'enroulement primaire de la bobine d'allumage, ce qui permet la création du courant induit HT dans l'enroulement secondaire de la bobine. La Haute Tension donnant lieu à l'étincelle est acheminé vers les bougies au moyen du distributeur mécanique. La décharge du condensateur est très rapide et évite toute dispersion d'énergie, ce qui permet l'allumage même avec des bougies encrassées.

Ce système d'allumage offre les avantages suivants :

- Les étincelles sont régulières même avec une tension de batterie réduite (au démarrage, basse température - 30°) ;
- La tension aux bougies reste constante dans toutes les conditions d'emploi ;
- Réduction du courant dans le rupteur ;
- Absorption de courant correspondant à la production de courant du générateur.

L'inconvénient de cette technique réside dans sa complexité en raison de la présence d'un convertisseur capable de charger, très rapidement, le condensateur à une tension de 300 à 400 V.

Par ailleurs, malgré les avantages acquis, l'élément le plus délicat des systèmes d'allumage est le rupteur mécanique, qui a pour rôle d'assurer le calage de l'allumage et interrompre le courant à une fréquence de plus en plus élevée. Le calage se modifie dans le temps à cause de l'usure du marteau en fibre du rupteur, et, d'autre part, la fréquence est limitée à 300 coupures par seconde, ce qui reste insuffisant.

6.3.3- Allumage électronique intégral (AEI) à distribution mécanique

Ce système consiste à remplacer les rupteurs par un module d'allumage (dispositif électronique statique). L'allumage est réalisé à partir des informations relevées par des capteurs, l'un de position et l'autre de régime (figure 8).

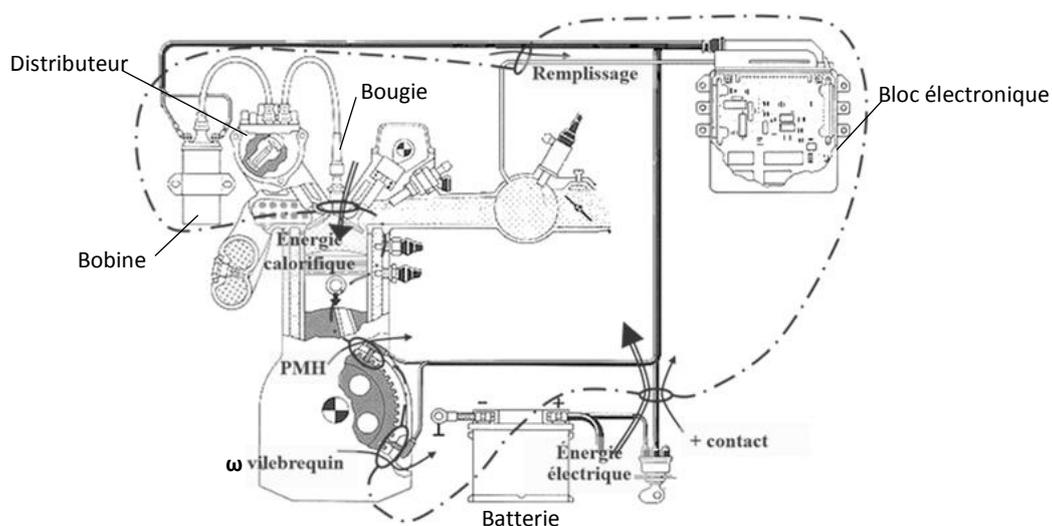


Figure 8. Moteur à allumage électronique

Les informations ainsi reçues sont transmises au bloc électronique, qui après traitement, délivre des ordres de commande de la bobine pour la délivrance de la haute tension. Cette dernière sera acheminée vers les bougies d'allumage par un distributeur mécanique (voir figure 9).

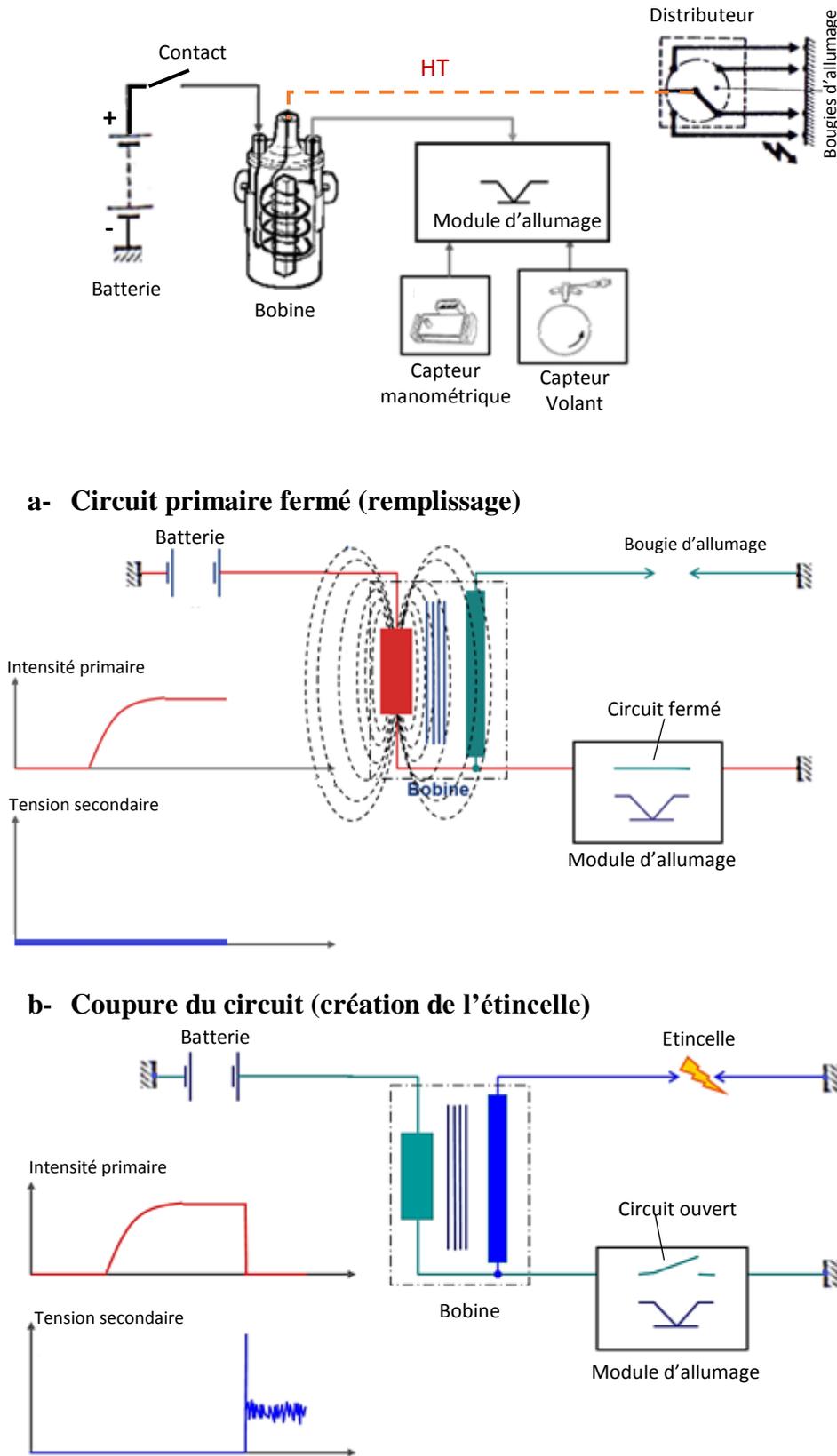


Figure 9. Schéma de commande de l'allumage

La variation du champ magnétique dans le primaire de la bobine générant le courant induit dans le secondaire, est réalisé par coupures intermittentes du courant primaire au moyen du calculateur d'allumage (module d'allumage).

6.3.4- réglage du point d'allumage et gestion des avances

Connaissant que la combustion n'est pas instantanée (~ 0.002 s), l'avance initiale doit permettre d'amorcer la combustion de façon à obtenir une pression maximale sur le piston lorsque la bielle et le maneton du vilebrequin forment un angle de 90° , comme montré sur le schéma de la figure 10.

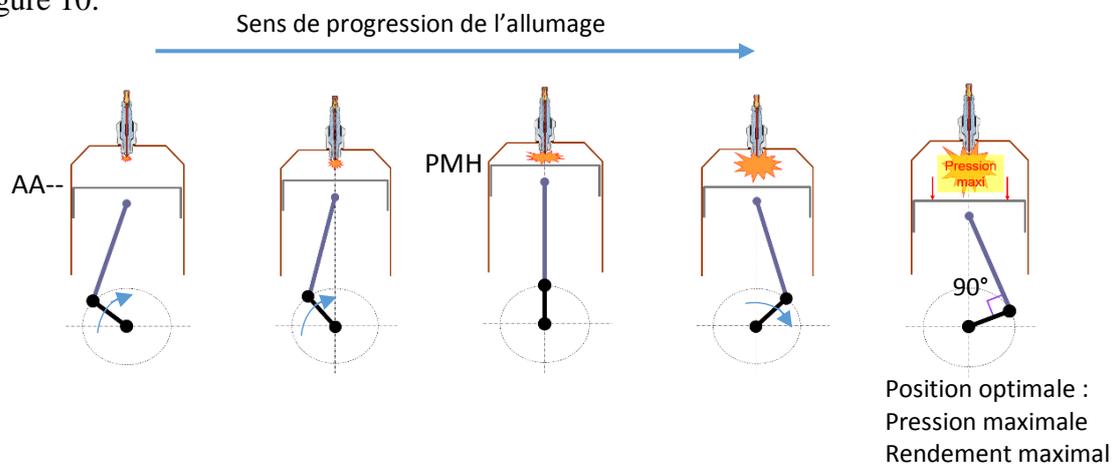
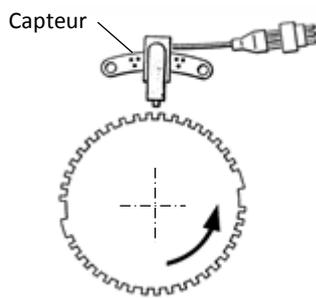


Figure 10. Evolution de l'allumage du mélange carburé

Le module électronique disposant d'un microprocesseur ayant en mémoire des informations d'avance, se charge d'optimiser l'avance à l'allumage en fonction du régime et de la charge du moteur contrôlés par les capteurs (voir figure 11).

a- Capteur vitesse et PMH



- Le capteur est placé sur la cloche de l'embrayage face au volant moteur
- La vitesse de défilement de la cible devant le capteur permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur
- A chaque demi-tour deux dents ont été supprimées pour le repérage des points morts

b- Capteur de charge



- Capsule manométrique reliée à la tubulure d'admission
- fournit une image électrique conformément au remplissage du moteur

Figure 11. Dispositifs de correction de l'avance à l'allumage

Le graphe fonctionnel du module d'allumage est représenté sur la figure 12.

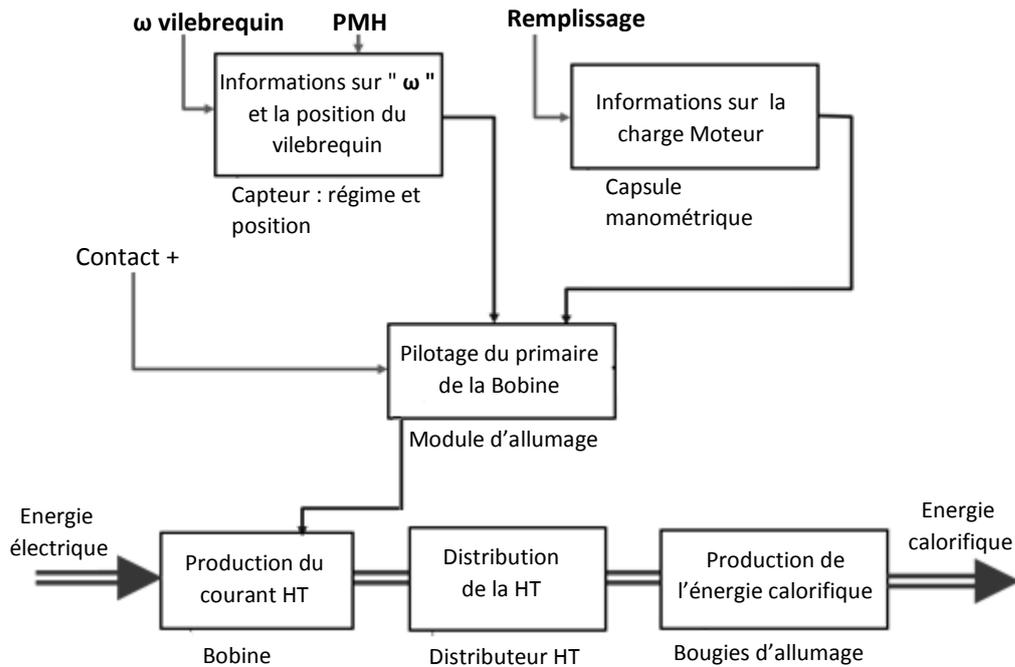


Figure 12. Graphe fonctionnel du module d'allumage

6.3.5- Allumage électronique intégrale (AEI) à distribution statique

Après avoir écarté la plus grande partie de l'allumeur, l'avance centrifuge les correcteurs à dépression en les remplaçant par des éléments statiques à base d'électronique dans les cas précédents. Dans ce cas, la fonction distribution mécanique de la HT est aussi éliminée. Cependant, l'ensemble des fonctions de l'allumage est entièrement statique, ce qui permet de fournir aux bougies une énergie plus importante et d'éviter les risques de vieillissement et d'usure liés au distributeur.

a- Allumage électronique intégrale (AEI) à deux bobines doubles (figure 13)

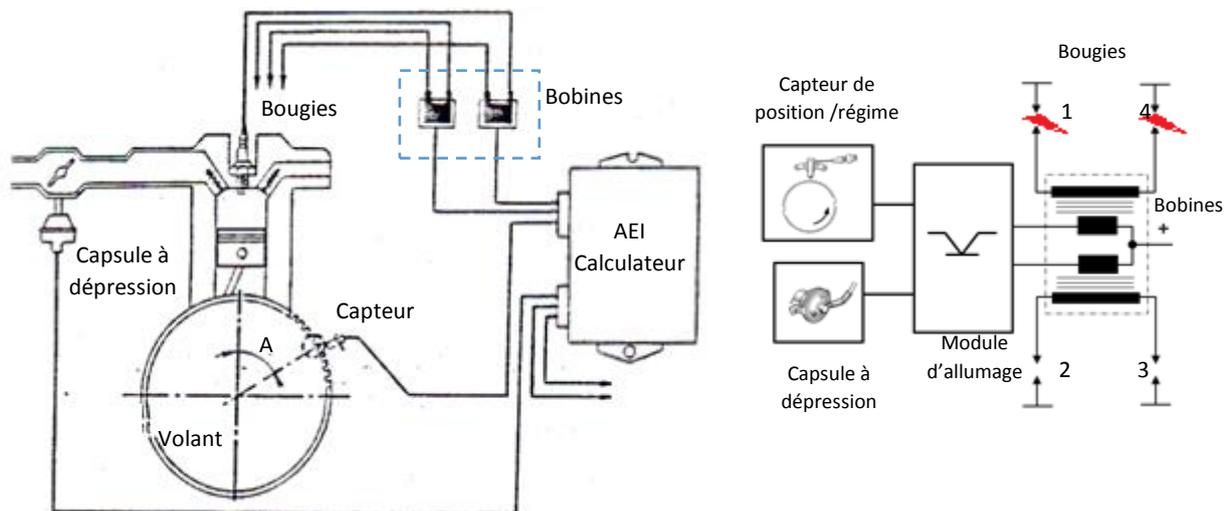


Figure 13. Allumage statique à deux bobines doubles (pour moteur 4 cylindres)

Le distributeur est remplacé par une bobine à double sorties actionnées alternativement par le calculateur. Il commande deux étincelles doubles (deux cylindres simultanément : 1-4 et 2-3).

A partir des informations fournies par le capteur de vilebrequin et la capsule à dépression, le calculateur d'allumage détermine la durée de remplissage de la bobine et le point d'allumage.

b- Allumage statique Multibobines

Dans ce cas, le distributeur est remplacé par des bobines individuelles où chacune est placée sur son cylindre correspondant (il y'a autant de bobines que de cylindres), comme le montre la figure 14.

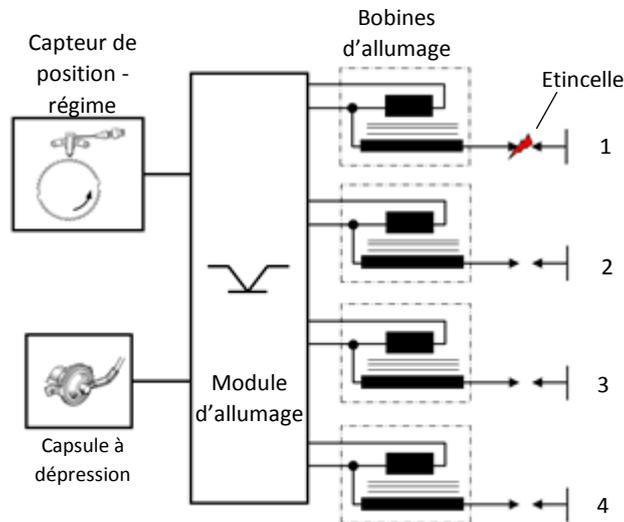


Figure 14. Allumage statique multibobines

Le calculateur pilote les bobines individuellement selon l'ordre d'allumage. Ce type d'allumage convient bien pour les moteurs 3 et 5 cylindres.

6.4- Bougies d'allumage

La bougie électrique est l'élément terminal de la chaîne du système d'allumage. Elle a pour rôle de conduire la haute tension (HT) et de provoquer une étincelle (arc électrique) entre deux électrodes avec une énergie calorifique suffisante, au sein du mélange carburé, comprimé dans la chambre de combustion. La bougie est composée essentiellement de trois parties (électrode centrale, électrode de masse et l'isolateur), comme montré sur la figure 15.

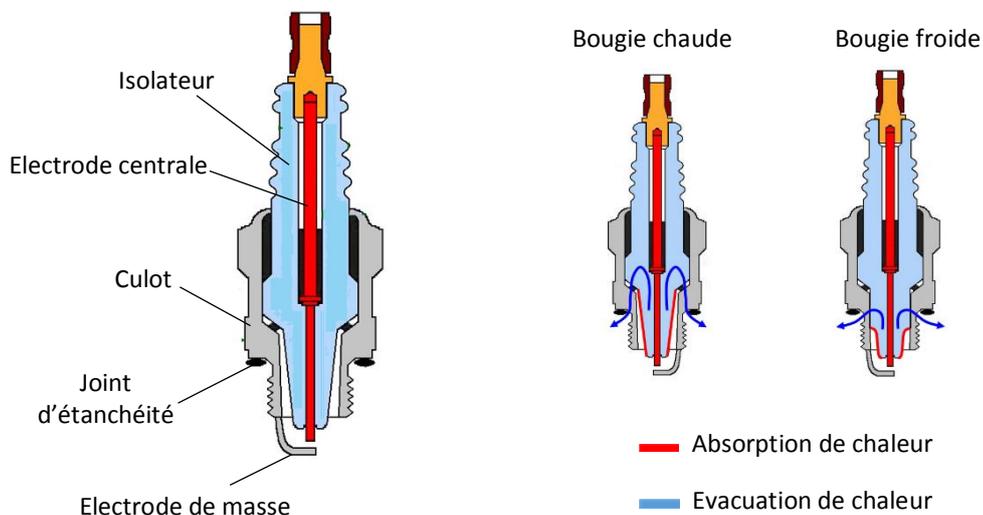


Figure 15. Éléments d'une bougie d'allumage

L'électrode centrale et l'électrode de masse (soudée au culot), doivent résister à la chaleur, à la corrosion provoquée par la combustion et à l'érosion électrique due à l'arc. Les électrodes sont en nickel ou en acier au chrome ou au tungstène.

L'isolateur est en matériaux réfractaires tels que : Al_2SiO_5 , le corindon, la stéatite,...etc. L'isolateur doit empêcher les fuites du courant HT (jusqu'à 30kV) à $-50^{\circ}C$ et $1000^{\circ}C$. Il doit être bon conducteur de chaleur en ayant un coefficient de dilatation en concordance avec les autres composants de la bougie. En plus, il doit résister à la pression d'explosion, aux vibrations du moteur et aux attaques chimiques.

Le culot en acier permet la fixation de la bougie dans la culasse du moteur, il joue le rôle de la masse en assurant un bon contact électrique.

La température de fonctionnement d'une bougie doit rester dans la plage de $400^{\circ}C$ minimum pour éviter l'encrassement et à $800^{\circ}C$ maximum pour éviter les risques d'auto-allumage.

On rencontre les bougies chaudes et les bougies, elles se distinguent par le degré d'évacuation des calories dégagées, comme présentées sur la figure 15.