

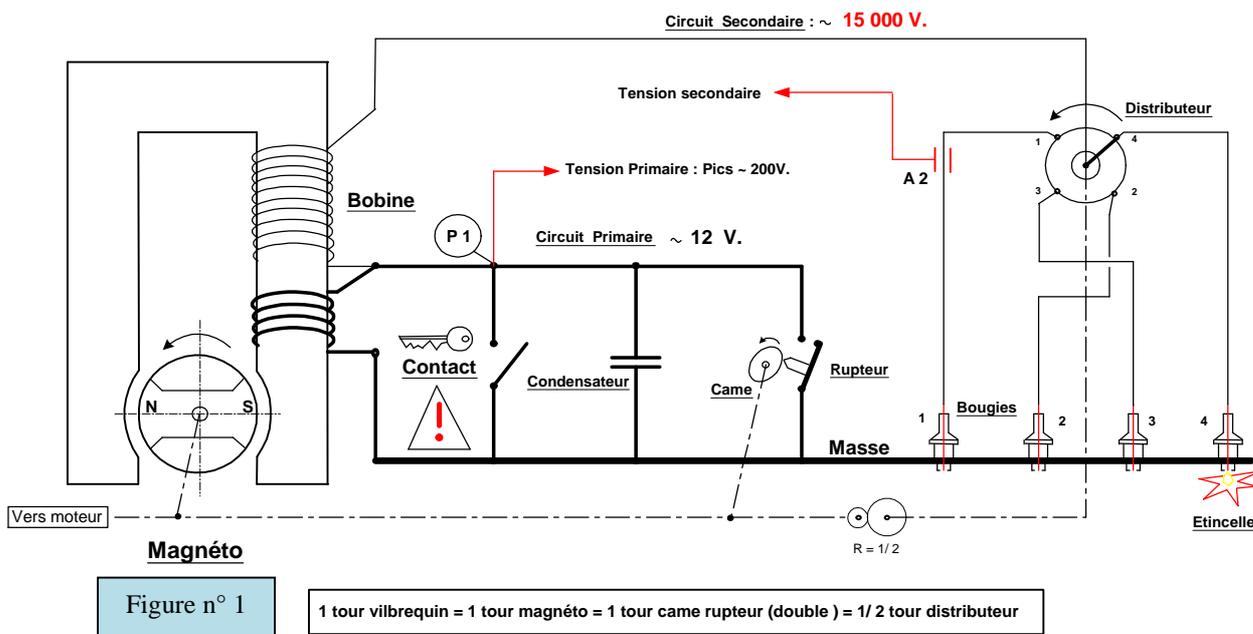
DIAGNOSTIC d'ALLUMAGE

- 1) **Préambule** : L'objet de cette notice est de proposer une méthode de diagnostic des principales pannes d'allumage des moteurs à explosion, ainsi qu'un moyen pratique de contrôle des principaux paramètres de réglage.
L'application est faite sur un moteur d'avion léger, mais elle peut être étendue aux moteurs d'automobile, bien que les modèles récents interdisent quelque peu une telle recherche, du fait de leur compacité et surtout de leur sophistication.

La méthode repose essentiellement sur l'observation des courbes d'allumages primaire et secondaire et nécessite l'usage d'un oscilloscope numérique, d'un micro-ordinateur portable ou non, et d'une imprimante, le tout d'entrée de gamme, et permettant l'impression de ces courbes.

L'analyse des variations de tension dans les circuits primaire et secondaire, donnera, par comparaison entre les cylindres et la courbe type, des indications sur les défauts et ainsi les réglages ou les remplacements à effectuer sur les organes constitutifs du circuit.

- 2) **Circuit d'allumage d'un moteur d'avion léger** : Avant d'observer en détail les divers cycles d'allumage en circuit primaire et secondaire, revenons sur le schéma classique d'allumage par magnéto d'un moteur d'avion léger.



Pour enflammer le mélange combustible d'essence et d'air comprimé, il faut une étincelle, mais il faut également que cette étincelle se produise au moment voulu, c'est-à-dire lorsque la compression des gaz est maximale (Point Mort Haut ou PMH).

Pratiquement, étant donné le temps non négligeable d'inflammation du mélange (2 ms), l'étincelle doit jaillir un peu avant la compression maximale, environ 25° avant le PMH (avance à l'allumage).

L'étincelle est provoquée par une très haute tension (15 000 V.) appliquée entre les les électrodes de la bougie.

Cette très haute tension (THT) est obtenue sur nos moteurs d'avion au moyen d'une magnéto (Figure n° 1) dont l'inducteur (rotor) n'est autre qu'un barreau aimanté qui induit dans le stator (bobine) une tension primaire amplifiée dans un second bobinage comportant beaucoup plus de spires.

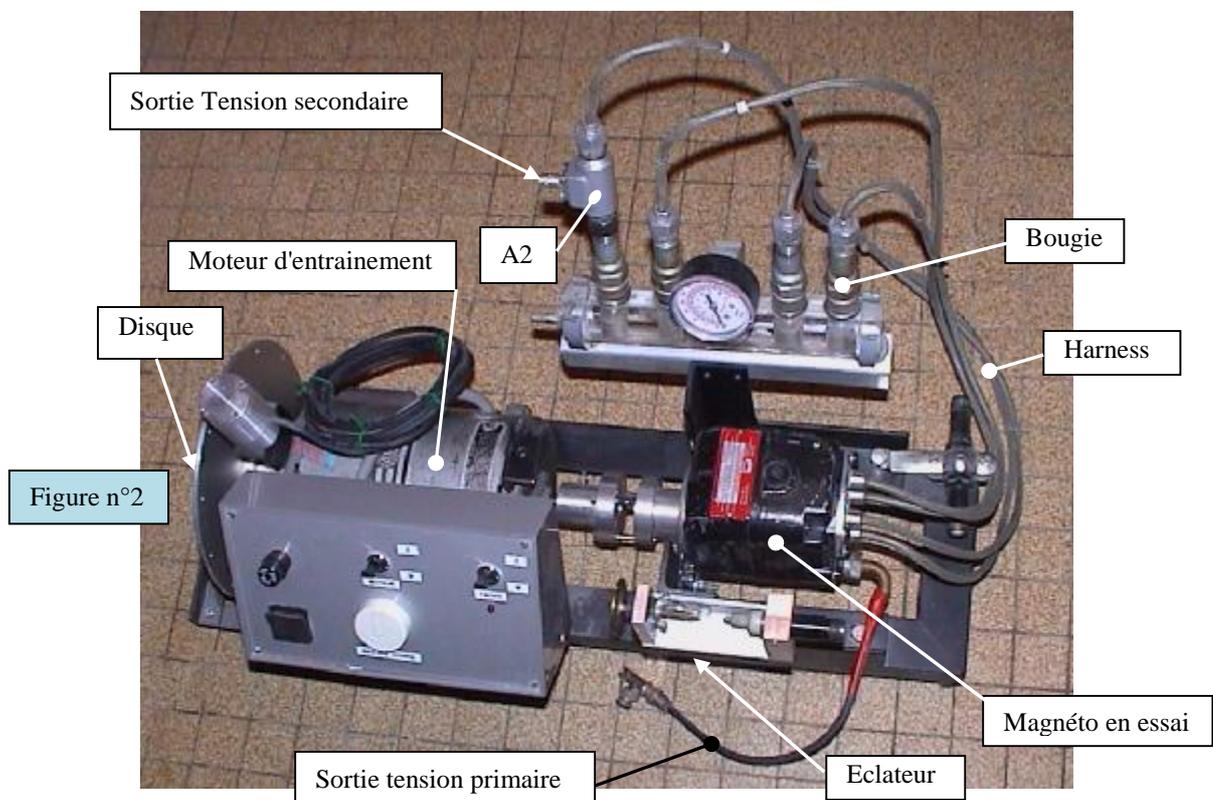
La tension primaire est en fait découpée en impulsions par le rupteur (vis platinees) qui les cadence au rythme de la came, elle-même liée à la rotation du moteur.

La répartition de la THT vers les bougies est assurée par le distributeur lié à la came du rupteur dans le rapport 1/2 :

- 1 tour vilebrequin = 1 tour came rupteur (avec 2 étincelles)
- 1 tour vilebrequin = 1/2 tour du distributeur.

Chaque ouverture du rupteur (étincelle) devra correspondre au passage du distributeur sur chacun des contacts.

3) **Essai au banc** : L'étude détaillée de l'allumage s'est effectué par l'analyse des courbes de tension primaire et secondaire, et ceci au moyen d'un banc d'essai (Voir figure n°2)



Ce banc est destiné ensuite à contrôler le fonctionnement de l'ensemble complet du système d'allumage, comprenant : la magnéto, les cables de bougies (harness) et les 4 bougies (pour une rampe d'allumage).

3.1 Description du Banc d'essai : Il comprend :

- un moteur électrique universel, à vitesse variable par potentiomètre (avec 2 sens de rotation), qui entraîne par coupleur la magnéto en essai.
- un éclateur à écartement réglable qui permet de contrôler le bon allumage de chaque bougie .
- un tachymètre, comprenant un disque munie d'un ergot,entraîné par le moteur. L'ergot passe à chaque tour, dans le champ d'une barrière photo-électrique qui donne une impulsion de comptage. Cette impulsion est ensuite envoyée sur l'oscilloscope pour mesurer la vitesse de rotation.
- Une chambre en plexiglas, sur laquelle sont vissées les 4 bougies, permet de visualiser les étincelles sous pression d'air comprimé,comme en fonctionnement réel.

3.2 Utilisation de l'oscilloscope numérique : Les tensions primaires (ou secondaires) de chaque bougie, sont analysées à l'aide de l'oscilloscope numérique, qui permet une visualisation plus aisée des courbes d'allumage, et l'impression de celles-ci.

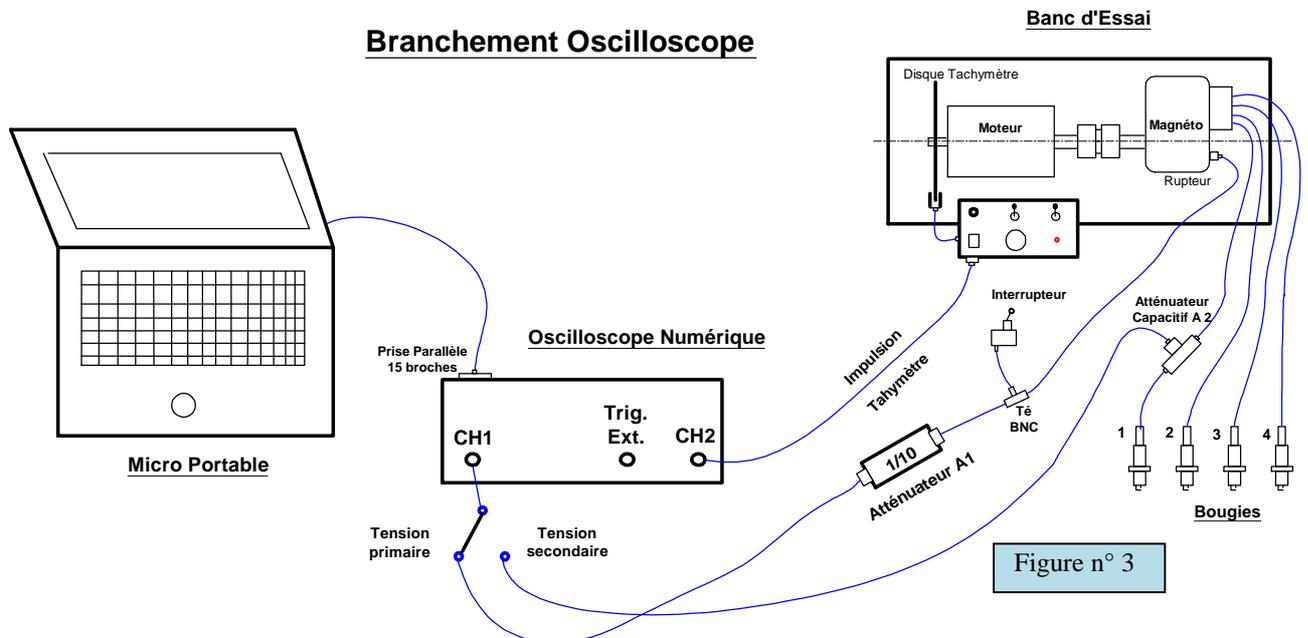
Les deux courbes à relever sont :

- La variation de **tension primaire** d'allumage en fonction du **temps** au point P1 (bornes du rupteur).
- La variation de **tension secondaire** d'allumage en fonction du **temps**, sur le circuit de l'une des bougies (en A2 par exemple) pour la bougie n°1.

Compte tenu des tensions élevées présentes, nous devons utiliser des atténuateurs :

- Pour le primaire, un atténuateur A1 de rapport 1/ 10 sur une tension primaire de plus de 200 V. (en impulsions)- Voir figure n° 3.
- Pour le secondaire, un atténuateur A2 utilisant l'effet capacitif : un cylindre entoure le fil actif de la bougie (tresse de blindage supprimée à cet endroit) et recueille par capacité l'impulsion secondaire (initialement 15 à 20 000 V.) atténuée.

Selon que l'on souhaite étudier la tension primaire ou secondaire, les branchements à l'oscilloscope seront différents (voir figure n° 3)



3-2-1 Tension primaire : La sonde P1 est à relier via l'atténuateur A1 à l'entrée verticale de l'oscilloscope, la sonde P2 est à relier à la prise trigger externe de l'oscillo pour permettre une bonne stabilité de la courbe. Tous ces branchements se feront à l'aide de prises BNC.

Remarque : Pour faciliter le branchement en P1 et dans le cas des moteurs d'avion, on pourra préparer un connecteur spécial qui viendra se visser à la place du fil de mise à la masse de la magnéto. Mais il faudra s'entourer de précautions particulières quant à la manipulations de l'hélice de l'avion, car la suppression du connecteur de mise à la masse de la magnéto rend possible un démarrage fortuit du moteur en cas de brassage de l'hélice.

Une précaution supplémentaire consiste à utiliser un Té BNC, pour ajouter un interrupteur en dérivation qui doit être fermé quand on n'effectue pas les mesures. Cet interrupteur remplace momentanément le contact débranché et réalise la mise à la masse du primaire de la bobine .

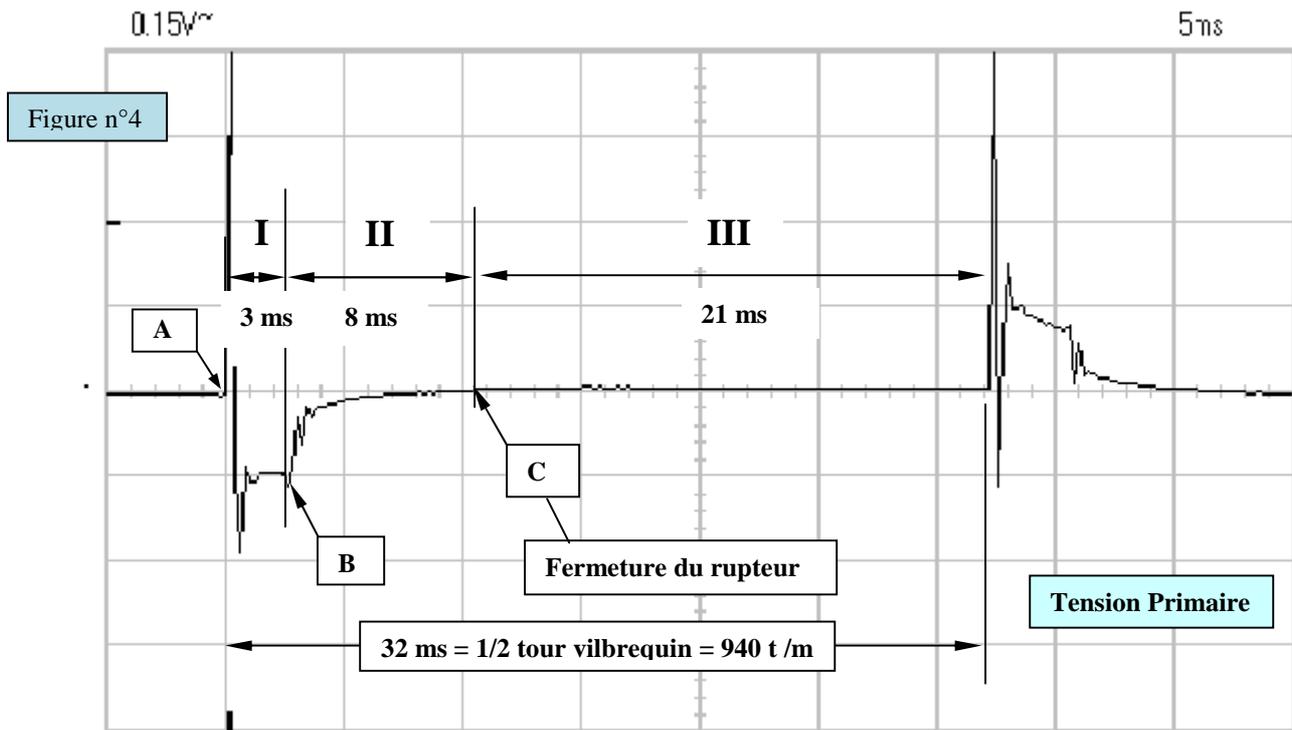
3-2-2 Tension secondaire : On inverse les branchements sur l'oscilloscope, c'est-à-dire que le signal provenant de A2 est appliqué à l'entrée verticale, et celui provenant de P1 à la prise trigger extérieur

4) Analyse des Courbes : La saisie se fait soit sur un banc d'essai, sur lequel est installé la magnéto, les fils de bougies (harness) et les bougies à tester ; soit directement sur le moteur de l'avion, en prenant les précautions décrites plus haut, et en éloignant les appareils de mesure d'environ 3 à 4 m. du moteur sur une table rigide.

Dans tous les cas, les mesures se feront moteur au ralenti (800 t/m. max.) et à vitesse stabilisée.

4-1 Tension primaire : Si nous analysons la forme de la tension primaire, nous observons la forme de courbe suivante : (Figure n°4)

En "A" l'ouverture des contacts du rupteur (vis platinées), la haute tension de la magnéto provoque l'étincelle, d'où l'impulsion négative suivie d'oscillations amorties tout le temps que dure l'étincelle (Zône I: ici 3 ms) . En "B" ,à la fin de l'étincelle, un nouveau train d'ondes apparaît, plus amortie , jusqu'à la fermeture du rupteur en "C" (Zône II: ici 8 ms).



Ce train d'ondes correspond à la décharge du condensateur, le niveau d'énergie dans la bobine est considérablement réduit. Le circuit oscillant est constitué du condensateur et de l'enroulement du rotor de la magnéto.

A partir de "C" le rupteur est fermé, la Zone III correspond à un repos pendant lequel le rupteur est fermé entre 2 étincelles (c'est l'Angle de came ou DWELL time) ici 21 ms.

En "D" on a le départ du cycle de la bougie suivante.

Remarque I : Contrairement aux oscillogrammes de l'allumage des moteurs d'automobile, où les impulsions d'étincelles sont toutes de même sens (allumage par batterie et bobine); l'oscillogramme de l'allumage par magnéto des moteurs d'avions comporte des impulsions de sens alterné. En effet, à chaque demi-tour du rotor, le sens du flux magnétique est inversé, ainsi donc que la polarité des impulsions haute tension.

Ainsi, d'une bougie à l'autre, le sens de l'étincelle est inversé: de l'électrode centrale vers les périphériques pour une bougie et en sens inverse pour la suivante.

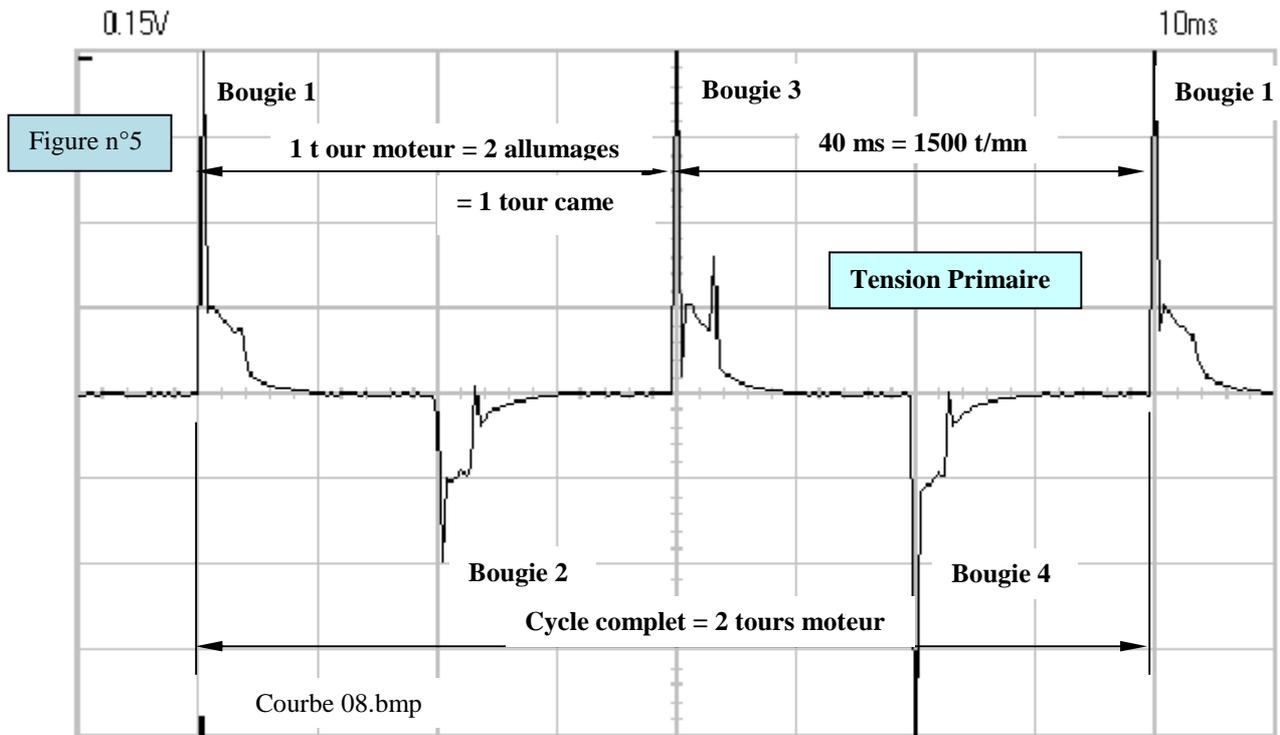
Remarque II : En ce qui concerne le courant dans le circuit primaire :

- En zone I + II nous n'avons pas de courant.
- En zone III : rétablissement du courant primaire.

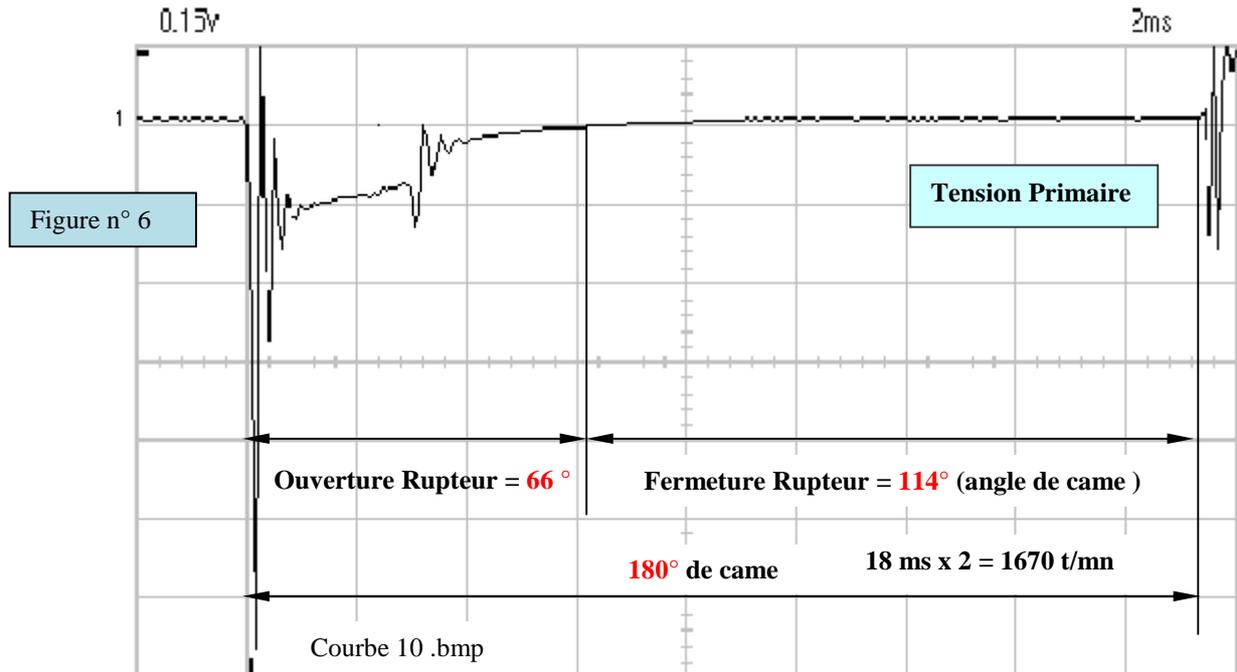
Remarque III : La durée de l'étincelle est liée entre autre, à l'écartement des électrodes des bougies. Plus l'écartement est faible, plus la durée est longue, car la tension nécessaire à l'entretien de l'étincelle est plus basse.

Remarque IV : Le nombre d'oscillations de la tension d'étincelle (zone I), est liée à la résistance du circuit primaire: Plus la résistance est faible (fuite du condensateur p. ex.), moins il y a d'oscillations

Si l'on utilise un balayage plus lent, on obtient les 4 courbes d'allumage des 4 bougies (Figure n° 5), ce qui permet de les comparer entre-elles. Les lancées positives pour un circuit en bon état doivent être de même amplitude soit environ 200 V. pour le primaire.

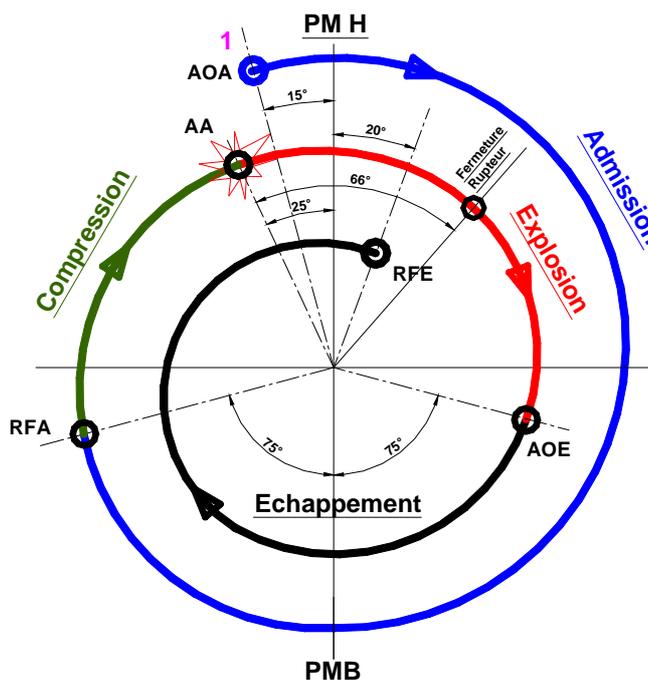


Une augmentation de la vitesse de balayage, conduit à l'oscillogramme de la figure n° 6. En fait, celui-ci résulte de la superposition des 4 courbes identiques, correspondant chacun à l'un des cylindres. On y distingue les 2 régimes d'oscillations, pendant et après l'étincelle, puis l'instant de fermeture du rupteur qui n'est pas très net sur le schéma du fait du retour à 0 de la tension primaire de la magnéto. Il n'y a pas de tension 12V. permanente fournie par la batterie, comme dans le cas du moteur automobile.



Nous pouvons lier ces paramètres au cycle complet du moteur qui s'effectue sur 2 tours selon la figure n° 7 , ci-dessous :

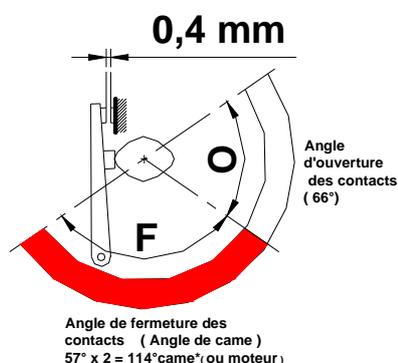
Figure n° 7



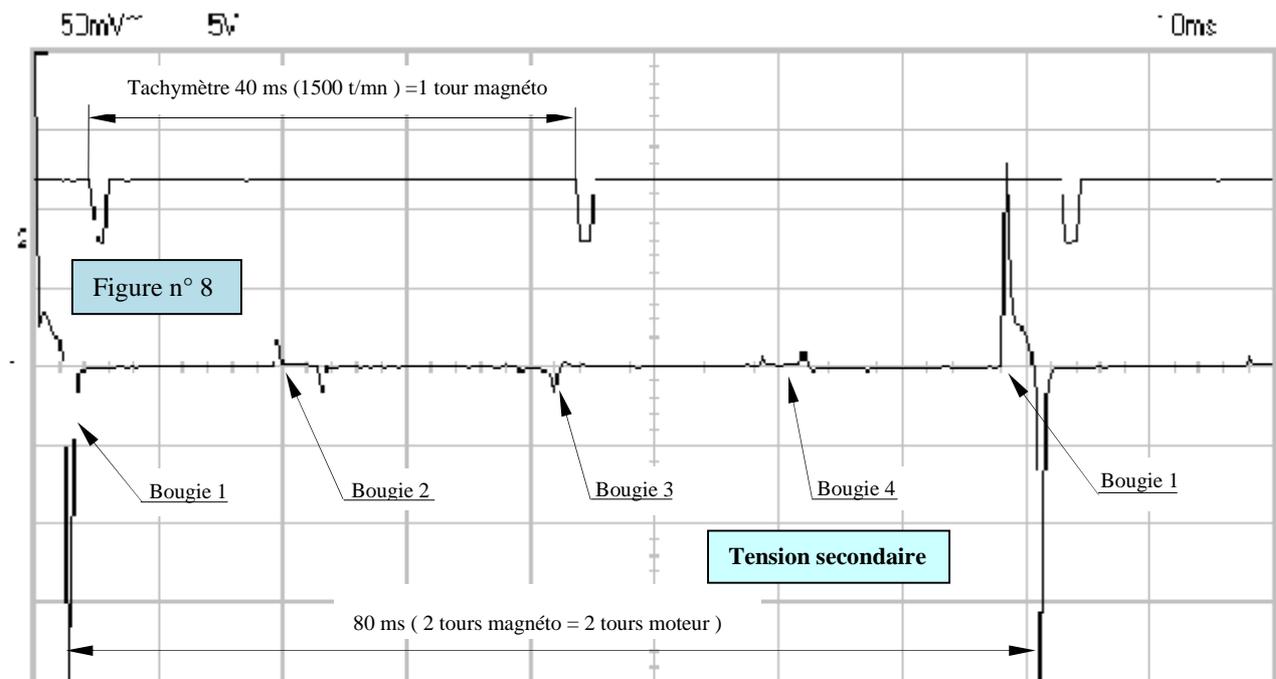
Légende

PMH : Point Mort Haut / **TDC** : Top Dead Centre
PMB : Point Mort Bas / **BDC** : Bottom Dead Centre

AOA : Avance à l'Ouverture soupape d'Admission
RFA : Retard à la Fermeture soupape d'Admission
AA : Avance à l'Allumage (Rupteur)
AOE : Avance à l'Ouverture soupape d'Echappement
RFE : Retard à la Fermeture soupape d'Echappement



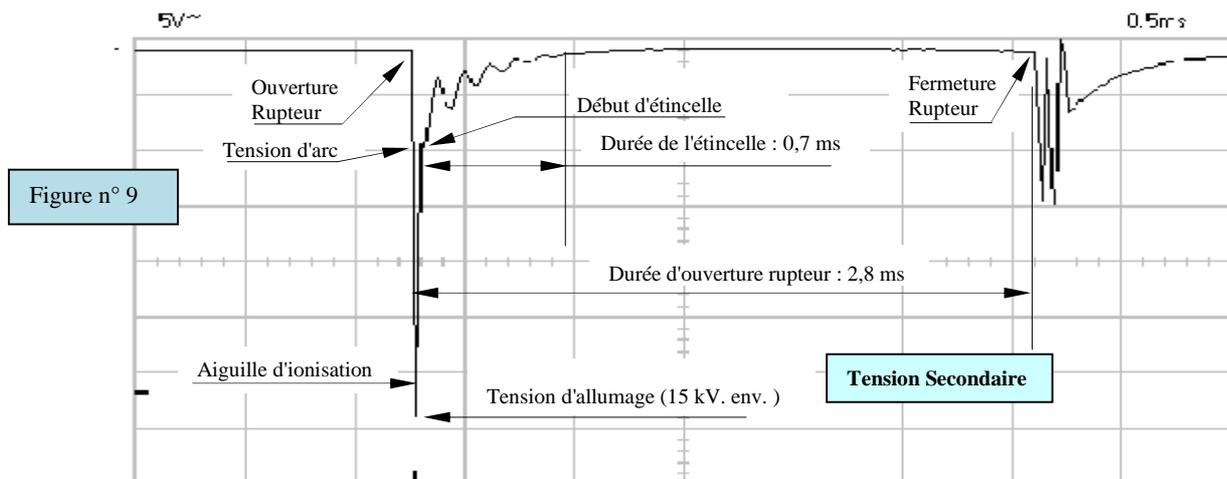
4-2 Tension Secondaire : La saisie des courbes de tension secondaire s'effectue comme nous l'avons vu, par le capteur capacitif A2. Nous observons la courbe correspondant à la bougie sur laquelle le capteur est fixé, mais aussi, par extension du balayage, l'ensemble des courbes secondaires des 4 bougies. Les 3 autres courbes sont fortement atténuées comme nous pouvons le voir sur la figure n°8 ci-dessous:



Sur le schéma, la courbe supérieure correspond aux impulsions du tachymètre de mesure de la vitesse de rotation:

$$\text{On a } \text{RPM (t/mn)} = \frac{60\,000}{T \text{ (ms)}} \quad \text{Ici } T = 40 \text{ ms d'où RPM} = 1500 \text{ t/mn}$$

En développant la courbe secondaire de la bougie n° 1 (par augmentation de la vitesse de balayage), nous obtenons la figure n°9, qui nous permet de faire l'analyse du processus d'allumage sur une bougie:



Après l'ouverture du rupteur correspondant à la bougie n° 1, l'étincelle jaillit pendant quelques centaines de micro-secondes (ici 700), puis le reste d'énergie se dissipe progressivement.

5) Mesure des temps :

5-1 Angle de came : Nous avons vu qu'il était facile de mesurer sur l'oscillogramme, les temps entre les différentes phases du cycle.

Cette propriété nous permet de vérifier l'angle de calage des magnétos et des vis platinées. En revenant sur la figure n°6, nous pouvons faire le ratio de l'angle d'ouverture à celui de fermeture du rupteur sachant que le total est de 180°. Nous trouvons respectivement 66° et 114°.

Remarquons que ces relevés sont plus précis sur les courbes secondaires (figure n°9). Sur un moteur, il y aurait lieu d'effectuer les mêmes mesures sur la seconde magnéto.

Remarque : En principe cet angle ne varie pas par construction de la magnéto, la came est fixée par une clavette, et seule, une erreur de 180° au montage de la came peut se produire.

Seule l'usure de la came ou de la butée de linguet peut faire varier l'angle de came dans le temps.

5-2 Angle de calage des magnétos : Si l'on revient sur la figure n°7, représentant le cycle complet du moteur, le calage de la magnéto par rapport au vilbrequin est l'angle défini entre le point mort haut (PMH) du vilbrequin et l'avance à l'allumage (AA) de la magnéto (ou début de l'explosion) soit - 25° dans l'exemple.

Pour déterminer cet angle par l'oscillogramme, il est nécessaire d'obtenir un top de positionnement du vilbrequin par capteur de proximité, comme indiqué sur la figure n°8. Ce capteur devra être fixé sur la couronne du démarreur qui comporte déjà les repères de calage des magnétos. (Voir la procédure n° 01 "Réglage des magnétos").

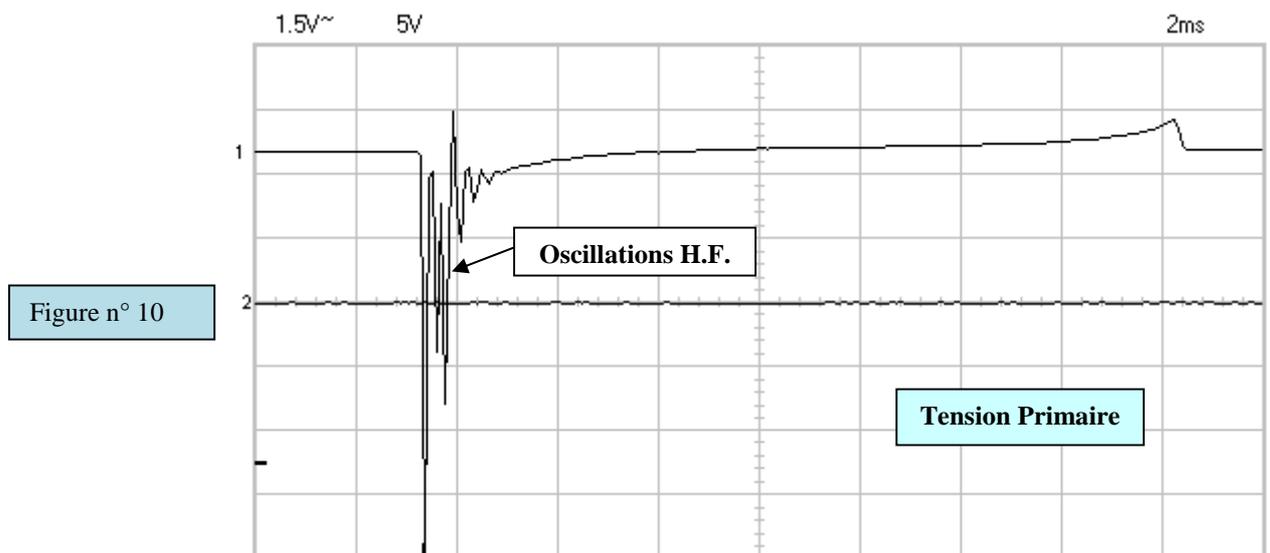
6) Anomalies de fonctionnement : L'observation des courbes d'allumage permet d'effectuer un diagnostic de fonctionnement du moteur. On ne peut reproduire ici toutes les courbes caractéristiques des défauts qui sont, on s'en doute, très nombreux et variés, voici, ci-dessous, les principaux:

- Absence d'étincelle : Celle-ci peut se produire pour plusieurs raisons (Fil de bougie coupé, défaut dans le distributeur de la magnéto...).

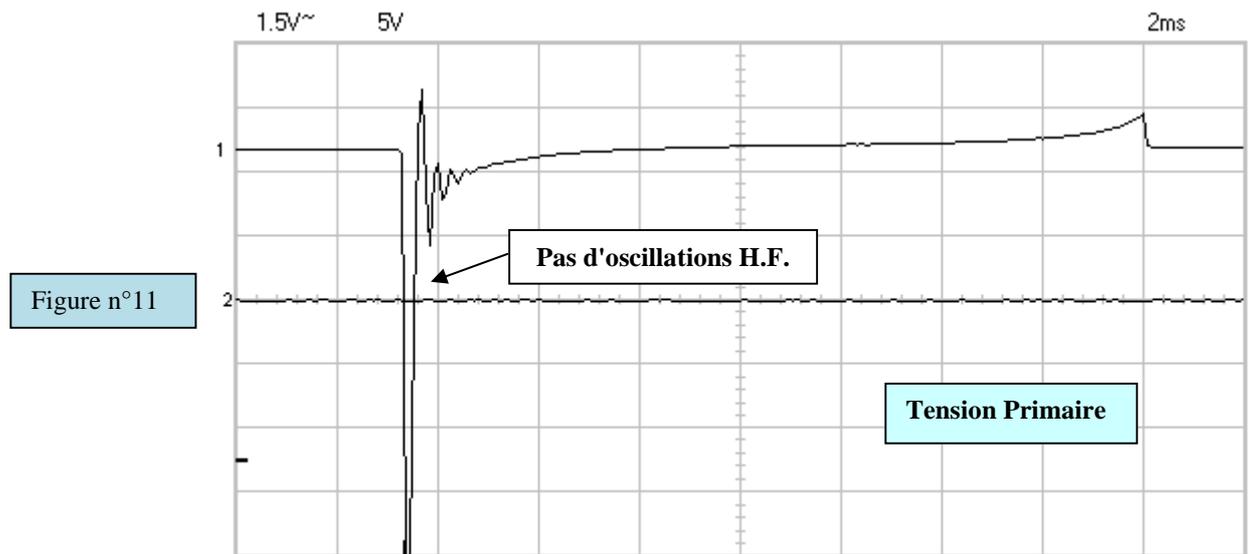
On peut simuler ce défaut sur le banc en démontant le câble d'une bougie et en le laissant " en l'air "

La haute tension est présente (23 kv env.) mais il ne se produit pas d'étincelle. On observe la différence sur les courbes des figures n°10 (avec bougie) et 11 (sans bougie), relevées sur le circuit primaire.

L'étincelle crée des oscillations haute fréquence qui n'apparaissent pas sur la figure n°11

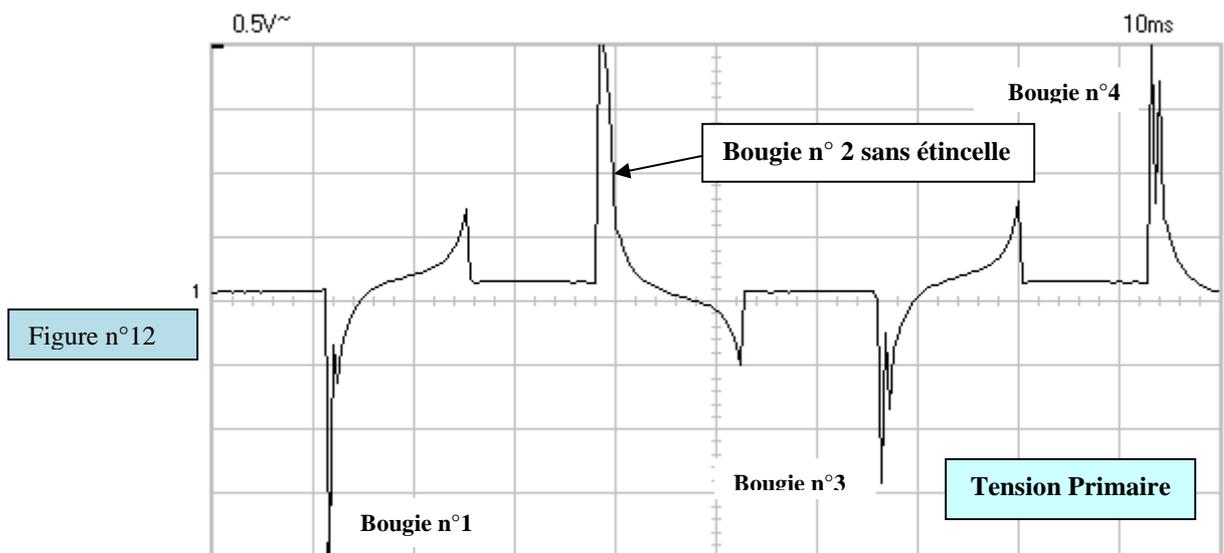


Fonctionnement normal (avec bougie)



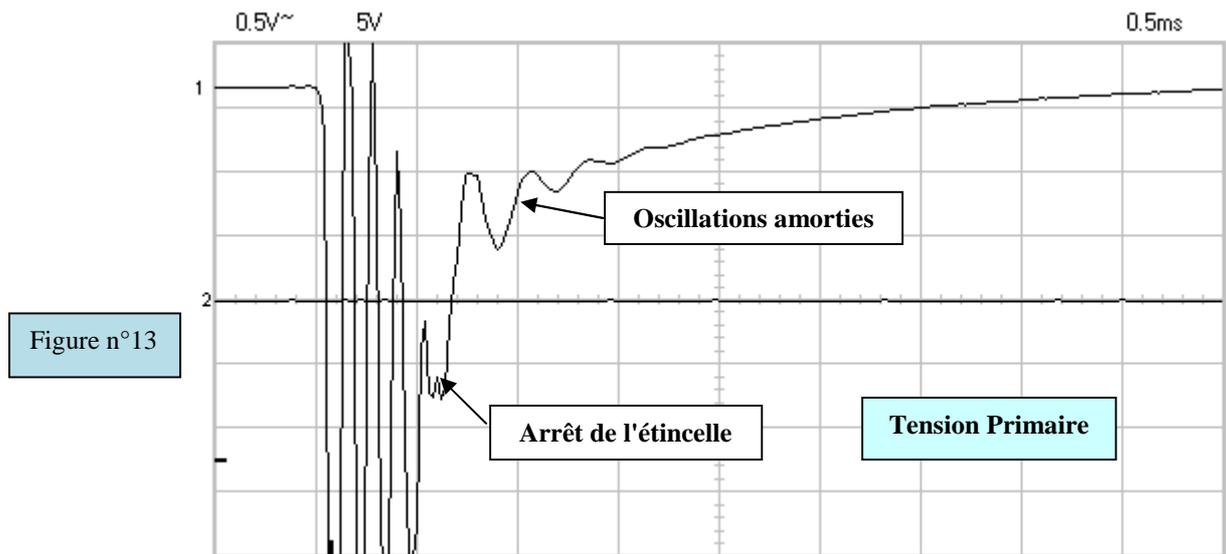
Anomalie de fonctionnement sans étincelle (sans bougie)

L'examen des 4 courbes simultanées (Figure n°12), permettra de déterminer quelle est le fil de bougies défectueux.



- Bougie ou fil de bougie en court –circuit : Ce défaut se traduit par un amortissement rapide des oscillations H.F, dont l'amplitude diminue d'autant plus vite que le court-circuit est important. L'anomalie peut se produire à cause de pertes de haute tension provenant d'un mauvais isolement des fils de bougies, d'une porcelaine de bougie cassée, ou d'une bougie fortement perlée.

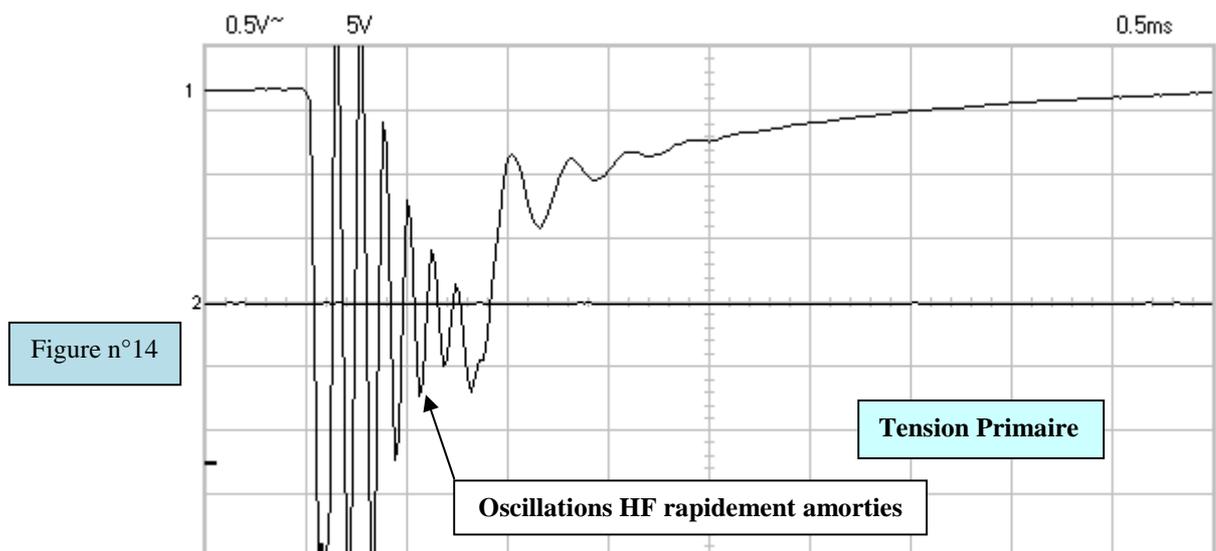
Les figures n°13 (fonctionnement normal) et 14 (court-circuit sur les électrodes) montrent la différence entre les deux courbes.



Fonctionnement normal

Remarque : L'analyse de ces défauts demande une certaine expérience et une bonne connaissance des matériels utilisés, en particulier l'oscilloscope, dont les réglages devront être adaptés au défaut recherché.

Après la fin de l'étincelle, on observe des oscillations amorties dans le circuit primaire dues à la dissipation de l'énergie accumulée dans le circuit oscillant constitué par le condensateur et la bobine.



Bougie ou fil de bougie en court-circuit

- Autres défauts détectables : L'observation des courbes permet de détecter d'autres défauts

autant électriques tels l'écartement irrégulier des électrodes de bougies , un condensateur défectueux, ou mécaniques tels que l'usure des cames , le rebond des vis platinées.

7) **Réglages** : L'oscilloscope bi-courbes permet de visualiser simultanément les courbes primaires des 2 systèmes d'allumage des moteurs d'avion et donc de comparer leur synchronisme. On peut donc vérifier ainsi le bon calage des magnétos entre elles et par rapport au point mort haut du premier cylindre. Cette étude fera l'objet d'un autre rapport.
Bon courage !

michel.suire2@wanadoo.fr

