

## Utilisation de la bobine d'allumage

La bobine d'allumage est un des organes principaux de l'allumage pour moteur à essence. Ces organes sont :

- **rupteur** ou électronique, pour la création du courant et la synchronisation
- **bobine d'allumage** (parfois comprise dans la volant magnétique ou la magnéto) création de haute tension
- **bougie** utilisation pour la création de l'étincelle

Tous les allumages pour moteur à essence (moteurs à allumage commandé), du Solex à la Rolls, doivent envoyer une énergie identique dans un espace d'environ 1 mm. Cette énergie varie seulement selon la qualité du mélange (stoechiométrie = richesse), la température dans le cylindre, la pression dans le cylindre (altitude et ralenti/plein gaz), et le point d'allumage (qui agit en fait indirectement sur la pression cylindre). L'énergie minimale se situe dans la gamme de 0,2 mJ à 30 mJ (1 millijoule =  $1V \cdot 1A \cdot 1ms$  ce qui équivaut à  $1000V \cdot 1mA \cdot 1ms$ ,  $30mJ = 1000V \cdot 30mA \cdot 1ms$ ) et exige une haute tension d'au moins 10 à 15 kV (1 kilovolt = 1000V) pour amorcer l'arc.

Tout comme les bougies qui sont très voisines, et souvent les mêmes pour les moteurs à essence, les bobines sont identiques voire remplaçables, mais moins facilement.

Deux principes de base sont utilisés pour la création de la haute tension

- **stockage** de l'énergie dans l'inductance du primaire de la bobine par la commande du rupteur, puis restitution de l'énergie dans un circuit à condensateur (qui crée le temps de restitution) puis, comme la bobine est un transformateur, la tension apparaissant dans le circuit bobine-condensateur (de 200V à 300V, même pour une bobine dite 6 ou 12V) est transformée par le rapport de transformation (rapport du nombre de spires secondaire/nombre de spires primaire) en haute tension transmise à la bougie. C'est le montage batterie-bobine, ou Kettering ignition, ou fly-back.
- stockage de l'énergie dans un condensateur à moyenne tension (300V) qui se décharge lors de la synchronisation dans la bobine qui ne sert alors que comme **transformateur**. C'est l'**Allumage à décharge de condensateur** = CDI capacitive discharge ignition, puisqu'on charge à la même valeur que celle atteinte sur le condensateur de l'allumage classique, on peut utiliser des bobines existantes.

Historiquement, il y eut auparavant l'allumage à bobine de Ruhmkorff, allumage à pile (oui, et pas des piles alcalines à haute capacité!) qui s'apparente à l'allumage batterie-bobine mais sans un rupteur précis et à rupture brusque, et à étincelles multiples à la fréquence du trembleur et qui réussissait parfois à allumer, parfois non, ou au mauvais moment.

Les caractéristiques des bobines trouvées sur Internet sont totalement fantaisistes et les fabricants ne publient pas de valeur, seulement des arguments commerciaux de bas étage du genre « super bobine » « extra energy », je me suis décidé, dans le cadre de création d'un allumage pour une antiquité (1906) à vérifier quelques valeurs.

## Consommation de l'allumage

Le type d'allumage influe sur la consommation électrique

- batterie-bobine la vieille bobine Ducellier consomme 42W pendant que le rupteur reste fermé, à diviser par le rapport de Dwell en fonctionnement, donc 27W pour un Dwell correctement réglé (écartement vis platinées), et ce, quel que soit le régime moteur pour moins de 30mJ.
- bobine + calculateur : la bobine n'est alimentée que le temps nécessaire au stockage de l'énergie, juste avant le déclenchement de l'étincelle, en estimant à 4ms le temps de stockage à chaque étincelle et à 4A le courant choisi, cela fait 7,5W à 1000rpm et 45W à 6000rpm pour près de 40mJ et 2 étincelles/tour
- CDI : un proto que j'ai réalisé, consomme 0,4W pour 30mJ à 1200rpm 1 étincelle/tour

En fait, un besoin moderne oblige à avoir enfin un allumage de qualité : la « toxicité » des gaz imbrûlés vis-à-vis du pot catalytique. On a finalement décidé de garantir un allumage correct dans tous les cas, températures, carburation, (qui est maintenant indéréglable pendant toute la vie du moteur, comme l'allumage) bougies (comme la tension allume dans tous les cas, même bougies très usées, les arguments des fabricants de bougies que telle super-bougie (super-chère bien sûr) marcherait mieux, en fait c'est par rapport à un allumage de puissance limite, où tout devient sensible). En bref tous les anciens défauts sont gommés par un allumage suffisamment énergétique.

La tension maximale ne peut normalement pas être mesurée : dès que la bougie atteint sa tension d'amorçage, au lieu de continuer jusqu'à la tension max, la tension s'écroule en 1 nanoseconde (millième de milliardième de seconde) et l'arc s'établit. Sans bougie, on risque un claquage interne (un arc passe peut-être, après plusieurs arcs, la matière se carbonise et la bobine se court-circuite), les magnétos possèdent un « parafoudre » interne qui s'amorce dès que la tension est trop forte. On peut estimer la tension max en mesurant à l'oscilloscope la tension obtenue au primaire (200 à 300V), et la multiplier par le rapport de transformation.

## Mesures de bobines d'allumage « classique »

L'allumage par batterie-bobine existe depuis la Cadillac 1910, inventé par Charles Kettering, fondateur de la Dayton Electric Labs Co, autrement dit Delco). Dans l'immense variété de moteurs existants ou ayant existé, on peut trouver un élément (relativement) constant et interchangeable : la bougie qui doit créer une étincelle dans un jeu entre deux électrodes écartées d'environ 1mm dans le mélange carburé. La bobine d'allumage est aussi souvent interchangeable par un autre modèle.

C'est l'allumage batterie-bobine (Kettering Ignition aux USA) qui a assuré la majorité des sources d'étincelles. Cet allumage est appelé allumage ZS (Zünd Spule) chez Bosch.

Le principe fondamental est le stockage d'énergie magnétique par circulation de courant dans une bobine et la restitution de l'énergie sous forme de tension lors de l'arrêt du courant (mode flyback). La restitution de courant se fait par une surtension au primaire qui se retrouve transformée par le rapport de transformation en très haute tension au secondaire. La source de courant peut être une source de courant continu (pile, batterie) ou un générateur alternatif (magnéto, volant magnétique, pourquoi pas dynamo), les générateurs alternatifs comme leur nom l'indique fournissent un courant alternativement positif ou négatif, il y a évidemment des passages par zéro et des valeurs intermédiaires, une source alternative doit donc être synchronisée avec l'allumage pour fournir du courant à l'instant nécessaire. L'autre principe d'allumage utilise pratiquement la même bobine mais en transformateur seulement et on décharge brutalement un condensateur (chargé auparavant comme par hasard, à la tension atteinte par le condensateur du montage Kettering) via un thyristor dans le primaire de la bobine.

Comme on trouve sur la Toile des valeurs totalement fantaisistes des caractéristiques des bobines d'allumage : par exemple l'impédance varie de 10 $\mu$ H à 10mH soit 100 000 % d'écart, un rapport 1000 dans les valeurs annoncées. La vérité pourrait se situer entre les deux (peut-être).

## Ducellier 12V

Pour en avoir le coeur net, j'ai utilisé une vieille bobine : bobine noire Ducellier 12V probablement isolée à l'huile ou à l'asphalte (qui s'appelait brai autrefois), et l'ai testée. Le montage de test n'est pas là pour faire de la belle métrologie, je me contenterai d'un 20 % (c'est déjà beaucoup mieux que ce qu'on lit sur le web).

La bobine Ducellier  
c'est un très ancien modèle (qui n'a pas encore  
de cosses plates « AMP »)  
on voit le transistor BU2508 noir qui joue  
le rôle de rupteur,  
les 2 résistances vertes de puissance, de mesure  
du courant 0,33 $\Omega$  5W 10%  
l'atténuateur THT : 22 résistances de 2,2M $\Omega$   
et une de 100k $\Omega$



## Moyens utilisés

- oscilloscope numérique OWON (Lilliput aux US) PDS6042S (40MHz) sondes 10M $\Omega$  60MHz
- pont diviseur à résistances 10 x 2.2M $\Omega$  / 100k $\Omega$  sans capas de compensation, donc probablement avec un amortissement du signal aux hautes fréquences
- milliohmètre personnel lit les dizaines de milli $\Omega$  (les centièmes d'ohm), voir papier dédié
- générateur sinus 150Hz PWM, voir papier dédié
- Alimentation par une batterie 12V au plomb
- Un générateur d'impulsion vite fait, pour la mesure (un microcontrôleur Atmel AT Tiny13, une vingtaine de lignes de code), un émetteur suiveur pour attaquer le transistor « d'allumage » un BU2508 de déflexion horizontale TV, parfaitement adapté à cette utilisation allumage (1500V, 8A)

La haute tension max qu'on peut obtenir est la tension au primaire multipliée par le rapport de transformation, tension jamais atteinte car un arcage se produit, soit en interne, soit plus normalement dans le circuit bougie. La tension max obtenue au primaire est liée à l'énergie magnétique stockée dans l'inductance primaire divisée par le temps mis à annuler cette énergie ( $d\Phi/dt$ ). Plus le temps est bref, plus haute sera la tension.

L'essai a été fait avec condensateur (pour faire comme avec un rupteur) et une fois sans (pour voir), sa valeur est de  $0,22\mu/400V$ .

Calculatrice : Pour rester KISS (keep it simple stupid) on évitera les calculs plus compliqués que le carré ou la racine, qu'on trouve sur toute calculatrice à 1€ ou sur tout PC .

**Mesure de l'inductance** par mesure de la constante de temps  $t=L/r$  d'où  $L=tr$

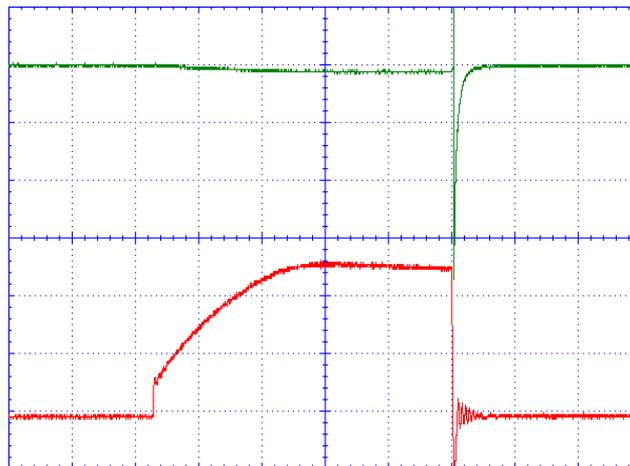


Fig 01  
rouge= courant sur résistance  $0,165 \Omega$   
soit  $y=200mV/div \rightarrow 1,212A/division$   
vert=tension batterie  $y=2V/div$   
 $x=2ms/div$

La mesure de la constante de temps par la pente à l'origine est impossible ici : quelle est la pente ? Le point de départ est au moment de la petite montée brutale de la tension rouge.

La mesure par le passage à 63% de l'asymptote est plus facile (l'erreur de détermination de l'origine est moins dimensionnante) La batterie (et le câblage) ayant une résistance interne non nulle, la tension baisse un peu en fin d'impulsion et donne l'allure tombante de l'asymptote, en plus de la baisse de courant par échauffement interne dû à l'effet Joule.

Le temps à 63% de l'asymptote (prise à  $12,6V$ ) est de  $1,7 ms$ , la valeur instantanée de la tension batterie est alors de  $12,4 V$  .

La résistance est ( $R=U/I$  selon ce bon Georg) où  $U$  est la tension finale, après 5 fois la constante de temps (asymptote à 99.3%) ici  $12,4V$ , le courant est alors de **3A**. La résistance totale est de  $12,4/2,26 = 4,1 \Omega$ . Cette résistance n'est pratiquement pas mesurable avec une précision suffisante par les moyens courants multimètres analogiques ou numériques, ces appareils sont totalement imprécis dans ces gammes de résistances. On peut mesurer par calcul, en connaissant la valeur d'une résistance placée en série et en mesurant la tension sur la résistance et sur la bobine, par cette mesure (indépendante des résistances de câblage), la bobine fait  $3,35 \Omega$ . La résistance secondaire est de  $5,37k\Omega$ .

La résistance mesurée au milliohmètre est de **3,28  $\Omega$**

On peut en déduire que l'inductance est de  $L=rt$  soit **7 mH**, mais avec l'incertitude du point de départ.

La valeur de l'inductance mesurée par la fréquence des oscillations sur les impulsions du milliohmètre avec un condensateur de  $46\mu F$  (capacité mesurée à 1%, c'est plus précis que la mesure précédente) donne **10mH**

L'énergie qui va être transformée en étincelle est de  $\frac{1}{2} L \times I^2$  soit **66 mJ**, c'est cohérent avec la valeur attendue qui fait l'objet de beaucoup moins de variation sur le Net que l'inductance.

La fréquence de résonance du circuit LC constitué avec le condensateur est de  $234Hz$ .

Le courant de  $3,6A$  donne une consommation moyenne sur la batterie de  $2,3A$  (avec un Dwell de 63%)

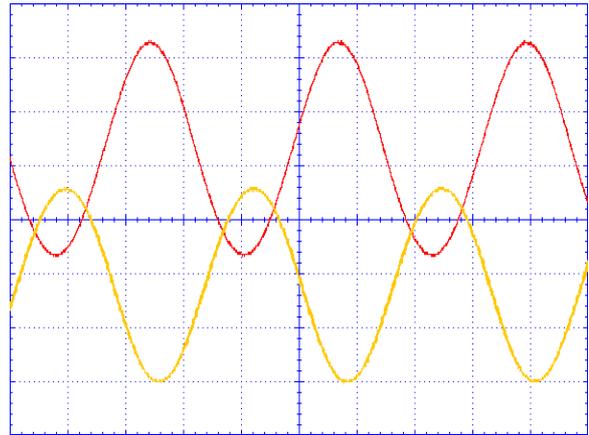
soit une puissance permanente dissipée en chaleur dans la bobine, de **27W (40W)** avec un alternateur en pleine charge à  $14,4V$

La couleur noire est alors appropriée à un meilleur échange thermique avec l'ambiante.

## Rapport de transformation

Pour le mesurer, j'ai utilisé un générateur BF fait avec un microcontrôleur at tiny13 en générateur PWM (modulation par largeur d'impulsion), fréquence sinus de  $153 Hz$  (pour une fréquence PWM de  $256 \times 153 = 39,16 kHz$ ), fréquence bien entendu située dans la gamme de fonctionnement normal de la bobine, la synthèse en PWM 8 bits crée au mieux  $0,4\%$  de distorsion, le filtrage du PWM est assuré par un réseau RC  $4700\Omega/0,1\mu F$  ( fréquence de coupure  $340Hz$  ) et un LM386 en ampli « de puissance »

Fig 02  
rouge  $y=50\text{V/div}$   
jaune  $y=1\text{V/div}$   
temps  $x=2\text{ms/div}$



résultats de mesure

$V_{\text{prim}}=3,64\text{Vcc}$   $V_{\text{sec}}=200\text{Vcc}$   $\rightarrow$  ratio=55

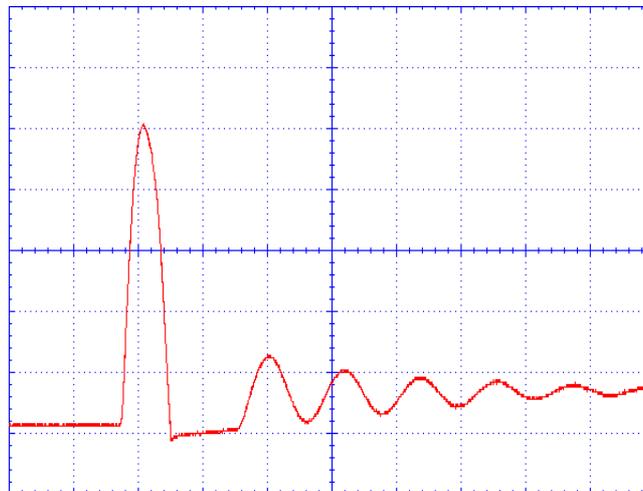
C'est sans doute la mesure la plus précise avec mes instruments, compte tenu des forts effets parasitogènes des étincelles et des sensibilités des sondes à ces parasites (surtout l'atténuateur très haute tension fait avec des simples résistances sans aucun blindage ni compensation). Comme le dit bien Wikipedia dans l'article français : allumage :

« de nombreuses informations incorrectes sont communément répandues, essentiellement en raison de la grande difficulté technique à obtenir des oscillogrammes correct. » Mais je ne prétends pas que mes mesures soient sans erreurs !

## comportement en situation d'allumage

pour générer l'étincelle, le générateur d'impulsion déjà cité va commander le transistor interrupteur (joue le rôle du rupteur) va créer le courant primaire

Fig 03 V primaire  
rouge  $y=50\text{V/div}$   
 $x=100\mu\text{s/div}$   
condensateur de  $0,33\mu\text{F}$   
gap 12 mm



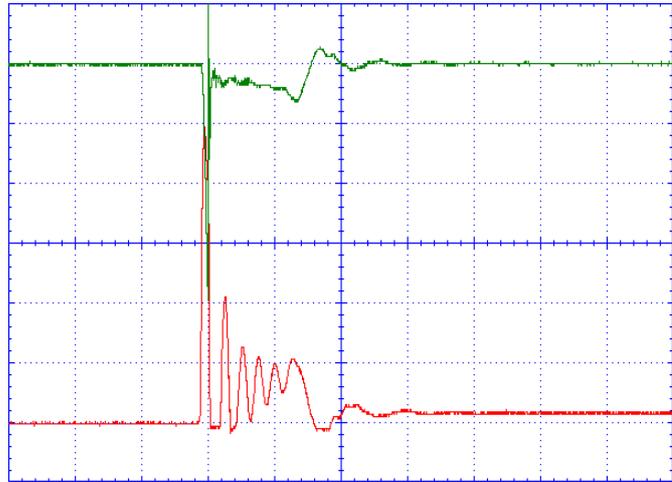
La bobine a largement eu le temps de se saturer (asymptote bien visible sur la figure 1, donc équivalent du « dwell » correctement assuré). Au moment de l'ouverture du rupteur, la tension du primaire monte à 260V. Compte tenu du rapport de transformation de la bobine la tension secondaire montera à  $260 \times 55 = 14.3\text{kV}$ .

Avec une « bougie » à électrodes plus rapprochées, en fait un espace de 2 mm, on constate que la durée d'étincelle augmente, la tension crête au primaire n'est pratiquement pas affectée.

## Étincelles multiples

Sur Internet, on parle souvent d'étincelles multiples

Fig 04  
 vert  $y = 20\text{V}/\text{div}(x220)$   
 rouge  $y = 50\text{V}/\text{div}$   
 $x = 500\mu\text{s}$   
 gap environ 10mm



on constate que :

- l'étincelle dure  $580\mu\text{s}$
- l'amorçage de l'étincelle se fait quand la tension atteint  $17600\text{V}$
- la tension d'arc commence à  $1250\text{V}$
- pendant l'arc on voit une oscillation à  $7,8\text{kHz}$  au primaire mais qui correspond simplement à de petites variations de la tension d'arc, il s'agit de modulations du courant **MAIS PAS d'étincelles multiples** comme on peut le lire. Il n'y a pas d'extinction **ET** réamorçage de l'arc.
- Le fonctionnement du transformateur n'est pas parfait et la tension primaire n'est PAS l'image de la tension secondaire.
- l'étincelle s'éteint lorsque la tension d'arc est à  $1750\text{V}$ , valeur moyenne  $1,5\text{kV}$
- la tension augmente à l'extinction de l'arc lorsque l'énergie devient insuffisante pour entretenir l'arc
- une oscillation résiduelle à  $2,5\text{kHz}$  (clairement le LC primaire) achève la dissipation d'énergie

Il existe cependant un cas d'étincelles multiples :

la montée de tension pendant l'arc peut s'expliquer par la variation de résistance de l'étincelle lorsque sa température interne augmente

## Conditions normalisées

La littérature (par exemple le Mémento de technologie automobile Bosch) montre une durée d'étincelle de  $1,5\text{ms}$ , c'est donc ce que je vais utiliser en estimant que ce sont les conditions « normales ». Pour faire marcher la bobine dans les mêmes conditions, il suffit de régler le gap à  $6\text{mm}$ . Le problème de la représentativité du gap est que la bougie ne travaille pas dans l'air (comme mon gap) mais dans un mélange stoechiométrique de vapeur d'essence et d'air, qui a un comportement notablement différent. C'est une des raisons de la différence avec la courbe donnée par Bosch (à moins que celle-ci ne soit une courbe trop idéalisée).

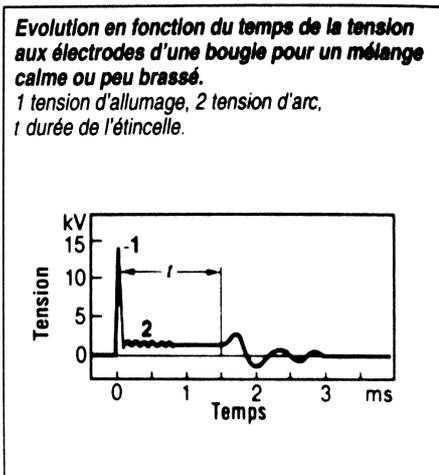


Fig 05  
Bosch : amorçage 14kV, arc 1kV durée 1.5ms  
tension inversée

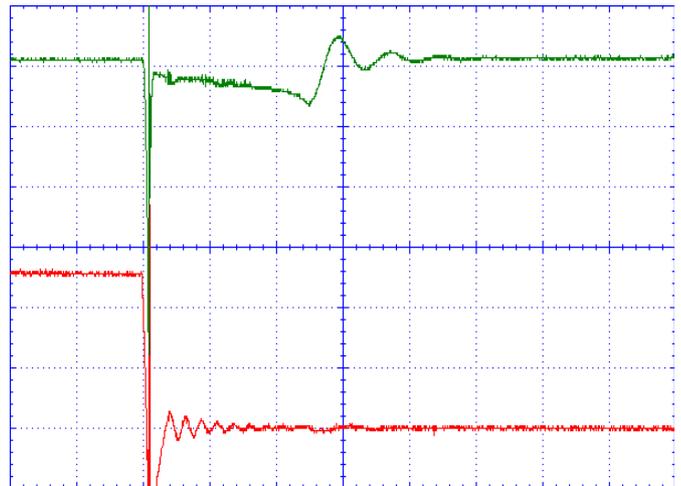


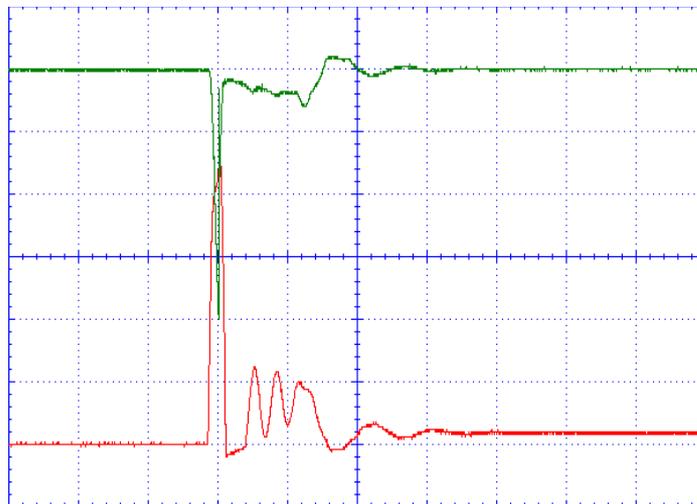
Fig 06  
Ducellier : amorçage 12kV arc 950V moyen pour une durée de 1.3ms

C'est la meilleure comparaison obtenue avec la figure Bosch, si je fais durer l'étincelle plus longtemps (en rapprochant les électrodes), la tension d'amorçage baisse, la tension d'arc baisse, et réciproquement si je fais durer moins longtemps, les tensions d'amorçage et d'arc augmentent. Ma difficulté est certainement que je ne crée pas l'étincelle dans un mélange air-essence (ce qui est quand même nettement plus compliqué pour mon labo domestique).

## Effet de la valeur du condensateur

En remplacement le condensateur de  $0,22\mu$  par un condensateur de  $0,33\mu$ F, on obtient

Fig 07  
vert  $y = 20\text{V}/\text{div}(\times 220)$   
rouge  $y = 50\text{V}/\text{div}$   
 $x = 500\mu\text{s}$   
gap environ 10mm

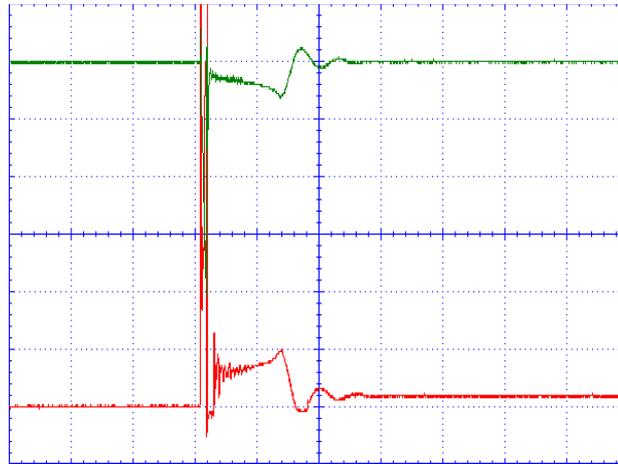


- l'étincelle dure  $540\mu\text{s}$
- la tension d'amorçage et la tension d'arc ne doivent pas changer, puisque liées à des paramètres externes à la bobine, leur légère variation montre que ce gap a légèrement varié
- l'oscillation du primaire pendant l'arc est à  $6,25\text{ kHz}$  et après l'arc est à  $2,08\text{ kHz}$  soit un rapport 1,23 qui correspond à l'attendu, dû au changement de valeur de capacité. Ce qui implique que le condensateur influence sur les deux fréquences d'oscillation, pendant et après l'arc
- la tension de montée et la durée de l'impulsion au primaire avant amorçage ont légèrement changé : tension un peu plus faible

## Sans condensateur

Fig 08

rouge y=50V/div  
x=500 $\mu$ s/div



Il ne reste que les capacités parasites du montage (très dépendantes donc du câblage). Vu les courbes, je n'affinerais pas la mesure. On note :

- durée de l'arc 540 $\mu$ s, sa durée dépend donc peu du condensateur
- paramètres d'arc inchangés (tension d'amorçage, tension d'arc initiale et finale, dépendants du gap)
- oscillations à haute fréquence (pratiquement non mesurable) pendant l'arc, oscillation à 3,1 kHz après
- la tension primaire monte très haut et sort du cadre de l'oscilloscope soit plus de 350V. Il y a donc très certainement dégradation partielle du condensateur (donné pour 400V) et le reste de l'énergie a dû se dissiper en détruisant une partie des électrodes internes du condensateur. Je n'ai pas continué, au risque de tuer le transistor, donné pour 1500V et de dégrader la sonde de mesure, donnée pour 600V. Ils ont été en fait protégés par la dégradation du condensateur

Ce cas ne se produit pas dans l'allumage normal, puisque sans condensateur, une étincelle se forme entre les points du rupteur, absorbe l'énergie et empêche ce comportement. Dans les allumages électroniques, on utilise un écrêtage par diode Zener ou bien les paramètres tension/courant/durée sont étroitement contrôlés.

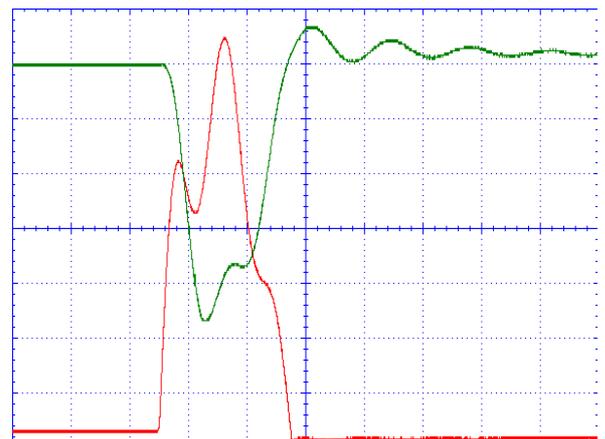
## Essai sans bougie

Sans « bougie » (gap infini) le début de la courbe est identique, il semble y avoir un début d'amorçage (probablement interne et correspond sans doute au « tic » entendu dans la bobine) et la tension monte ensuite bien plus haut, à 370V. Il semble de plus y avoir d'arcage interne à la nouvelle crête de tension. Cela pourrait être dû à la vaporisation de l'huile contenue dans la bobine et la bulle chaude ainsi créée entre les points conducteurs les plus proches serait plus isolante que l'huile. Si la bobine est remplie d'asphalte (on parlait de brai ou de goudron il y a quelques dizaines d'années), cet amorçage va créer des traces charbonneuses, et après un certain nombre d'arcages internes, le secondaire finira par un court-circuit. La tension crête atteint 20,5kV la tension d'arc interne est de 16,3 kV. On n'est pas entré dans la zone de claquage du condensateur (utilisable à 400V) ce qui aurait conduit à sa dégradation partielle, l'énergie étant ici limitée. Pour éviter ce problème dans les magnétos, quand la protection par immersion dans l'huile est impossible, on place un éclateur interne qui va décharger la bobine si la sortie bougie est déconnectée.

Fig 09

primaire rouge y=50V/div  
secondaire vert y=20V/div (x220)  
x=100 $\mu$ s/div

condensateur de 0,22 $\mu$ F  
gap « infini »

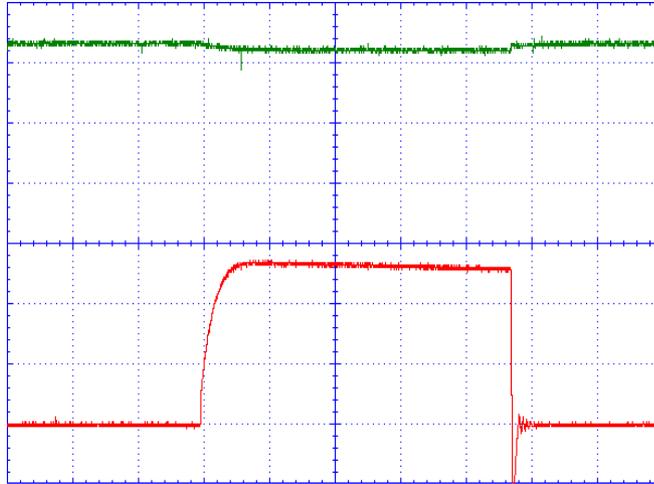


## Mesure de l'inductance secondaire

### Mesure par l'effet au primaire

La fréquence plus élevée des oscillations pendant l'étincelle fait penser à une diminution de l'inductance pendant l'arc. En effet un arc se comporte comme un court-circuit à décalage de tension ( en fait une résistance dynamique faible).

Fig 10  
secondaire en court-circuit  
Vert = tension batterie  $y=2V/div$   
rouge= courant primaire  $y=1,212A/div$   
 $x=2ms/div$



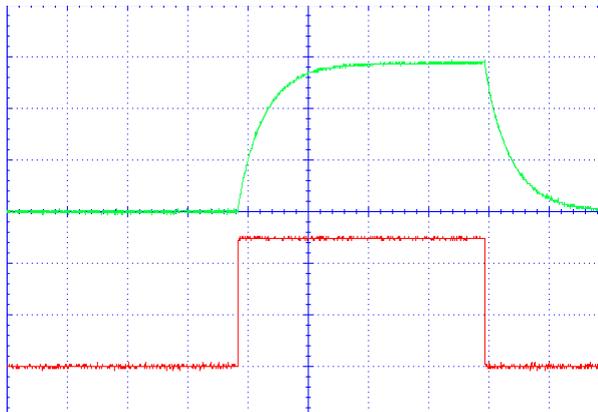
L'estimation de l'inductance secondaire se fait par l'observation de son influence sur le primaire : en court-circuitant le secondaire, on ramène ainsi au primaire les effets du secondaire dans leur ensemble: inductance, inductance de fuite, résistances, capacités.

La pente du courant est beaucoup plus raide. La constante de temps est atteinte en  $280\mu s$  l'inductance au primaire (inductance secondaire vue du primaire, de valeur  $1,7mH$ , et mise en parallèle avec l'inductance primaire) devient  $1,4mH$ .

La fréquence de résonance est maintenant de  $9\text{ kHz}$ , ce qu'on retrouve, comme par hasard dans la fréquence d'oscillation du courant primaire, pendant l'étincelle.

### Mesure directe

Fig 11  
vert secondaire  $y=1V/div$   
rouge générateur  $y= 2V/div$   
 $x=5ms/div$   
 $LR=2,16ms$



La résistance du secondaire est de  $5,5k\Omega$ , l'asymptote du signal se trouve à  $3V$ , la constante de temps (passage à 63% de  $V_{max}$ ) est de  $2,16ms$ , ce qui donne une valeur d'inductance de  $32\text{ Henrys}$

## Estimation des courants de bougie

Ne disposant pas de moyens de mesure du courant dans la gamme de tension d'isolement, fréquence, ni de transformateur de courant, je me satisferais de l'estimation du courant.

Les  $30\text{ mJ}$  disponibles se dissipent en environ  $1300\mu s$  à une tension d'arc de  $0,95kV$  moyens

$P=E/t$  soit  $30mJ/1300\mu s$  soit  $23W$ , attention, ces  $23W$  de puissance instantanée n'existent que pendant  $1300\mu s$

$i=P/U$  soit **24mA**

Ce courant change avec le gap, comme les tensions d'amorçage et d'arc. Pour un gap de 12mm la tension moyenne est de 1,5kV la puissance moyenne passe à 30/220 soit 136W, et le courant à 90mA

#### Remarques sur les chutes de tension

Si le circuit de bougie comporte une résistance antiparasite de 5000  $\Omega$  couramment utilisée dans le câble haute tension ou intégrée à la bougie, la chute de tension apportée par cette résistance sera de **120V** ( $U=R \times I$ , ce n'est pas négligeable par rapport aux 950V, et c'est aussi de l'ordre de grandeur de la chute de tension, relativement indépendante du courant, apportée par un petit tube à décharge qu'on insère parfois dans le fil de bougie de mobyettes (tubes au néon ou argon selon la couleur) pour le fun. La chute de tension apportée par le jeu entre le doigt de Delco et la tête de Delco est aussi notable. Comme que le courant qui traverse la bougie est le même que celui du Delco il y a un rapport entre la tension et la distance, mais dans le cylindre la compression augmente la tension par mm (loi de Paschen pour les pressions supérieures à 30mbar,  $V=k * PD$ ) mais la présence de vapeur d'essence la diminue. Dans le cas « normalisé » d'étincelle à 1.3ms / 6mm/950V, un gap de 0,5mm va prendre sur la totalité de longueur d'étincelle dans l'air disponible de 6mm et aura besoin de 80V. Il ne faudrait pas trop cumuler les chutes de tension (résistances, distributeur et tube néon, gaps involontaires (par exemple des fils HT à résistance incorporée au carbone après multiples pliages, cyclages thermiques, ...) dans les fils haute tension et anti-parasites) si on veut conserver un allumage fiable, car selon cette même loi de Paschen, on peut allumer correctement à « basses » pressions et ne plus allumer aux hautes.

Dans un allumage multi-cylindres à étincelle perdue, les deux bougies ont le même écartement et le rapport des tensions bougie active/bougie inactive est directement proportionnelle à la compression au point d'allumage (à 15% près à cause de la polarité incorrecte d'une des bougies).

Rappel : la pression au point d'allumage dépend fortement du papillon (et il est très difficile d'avoir des données sur la pression papillon au ralenti on trouve un peu plus facilement des données sur cette pression plein gaz) : au ralenti ou en descente le papillon ferme l'arrivée d'air et l'admission aspire « du vide » alors qu'en plein gaz, le papillon est à pleine ouverture et l'admission aspire du mélange carburé à un bar.

Sur les foires : l'**Eclator** (à rédiger)

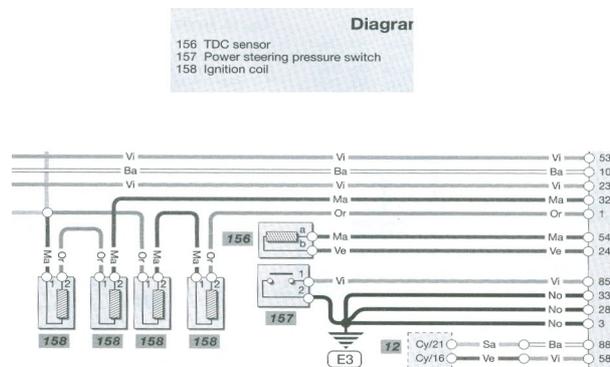
## Bobines crayon

Ces bobines, d'utilisation courante aujourd'hui représenteraient un progrès, sauf chez un constructeur où la longévité a été fortement diminuée, voir les nombreux problèmes de « bobines Sagem ». Ces bobines faites sur spécifications constructeur ou choisies par lui (ce n'est pas par hasard, puisque ce constructeur remplace les bobines défectueuses par des neuves, toujours les mêmes, même plus de dix ans après la fin de fabrication de bobines par Sagem alors que les fabricants en sont au « zéro stock »), depuis le temps, à moins d'être autiste, ce constructeur sait parfaitement ce qu'il en est. Ces bobines ne baignent pas dans un bain d'huile mais dans de l'époxy et les couches sont sans film isolant entre couches. Avec le temps, les cyclages thermiques permanents et les vibrations, il y a destruction partielle de l'émail isolant, et l'isolement entre les couches disparaît. Un arc finit par se créer entre couches puisque la tension est de 2 kV entre les extrémités de deux couches consécutives et que le fil émaillé résiste habituellement à moins d'un kV (si bobinage en boustrophédon), amenant à un court-circuit entre celles-ci. Le constructeur est inattaquable sur le plan de la sécurité, puisque qu'il suffit de 0,2 mJ pour une bougie moteur chaud et mélange bien réglé, alors qu'au démarrage à froid il faut parfois plus de 30mJ pour partir. L'énergie bougie sera simplement plus faible et le moteur ne tombera pas en panne en accélérant pour doubler un poids lourd une fois la panne survenue, mais simplement il tournera « sur trois pattes » au prochain démarrage à froid et ne sera donc pas enclin à rouler puisqu'il sait qu'il va abîmer son pot catalytique.

Tout cela ne doit rien au hasard<sup>1</sup> (sinon le constructeur remplacerait immédiatement toute bobine Sagem par une autre identique) et c'est pourquoi j'ai perdu toute confiance en ce constructeur (qui licencie aussi ses directeurs sur fausse calomnie) et n'achète plus ses voitures, puisque je suis naturellement tenté de penser maintenant que ce constructeur invente tout moyen de créer des pièces d'usure là où il n'y en avait pas. En plus, cerise sur le gâteau, le « professionnel » (concessionnaire quand même), s'étonne et « voit cette panne pour la première fois » (j'ai découvert par la suite sur internet, que des dizaines de milliers d'utilisateurs pestent contre ces bobines, mais sans doute sans prévenir mon professionnel) et a conduit la voiture à une quinzaine de km, où se trouve la « valise » ce qui use prématurément le catalyseur, faut bien se générer du boulot pour la suite, alors que le diagnostic d'une panne si courante est immédiat, pour un bon mécano.

En plus, il suffit de monter des bobines plus sérieuses, par exemple des Beru, pourtant à moitié prix des « pièces d'origine », en Angleterre, et qui dureront la vie de la voiture, comme d'ailleurs la plupart des bobines d'allumage d'il y a 40 ans.

Les bobines crayon, une par bougie, sont montées sans distributeur, et souvent en série, il s'agit donc en fait de **bobines 6V** (au moins dans le montage dont je reproduis un extrait du schéma, montage qui doit être relativement courant). Il n'y a alors que deux commandes d'allumage (deux transistors) dans le calculateur, et une étincelle « perdue » par bougie.



Noter qu'on respecte la polarité des étincelles, les points 1 et 2 des bobines sont dans le même sens électrique. Le secondaire haute tension n'est pas représenté ici.

Ce montage en série entraîne que le « RUPT »

d'une bobine et que le point « +BAT » de l'autre sont reliés ensemble et que ce point se promène de 0 à 6V et à 260V, ce qui, considérant les kV en jeu, est sans influence notable, c'est juste la compréhension fine qui est un peu plus difficile.

1 C'est clairement de l'« **obsolescence programmée** » terme impropre, mais utilisée par tous les journalistes, il s'agit ici de durée de vie diminuée (plus ou moins) intentionnellement. Ce même constructeur a aussi monté sur des monospaces, pendant des années, un tableau de bord consommable (prix relevés entre 800 et 1200€) où la panne est due à une pièce que l'amateur peut se procurer à 8€ (que dire alors du prix constructeur!) mais là, la durée de vie n'est pas aussi bien prévisible que les bobines, car cette durée de vie dépend des conditions d'utilisation : affichage jour/nuit, nombre de chiffres allumés. Il semblerait même que de légères modifications thermiques pourraient pérenniser la réparation. Les mêmes journalistes appellent aussi obsolescence programmée la durée de vie des lampes, qui me semble beaucoup plus le résultat d'un compromis industriel entre rendement, durée de vie et survolage, le changement d'un paramètre influe énormément sur les autres, il a bien fallu uniformiser, par exemple une surtension de 5 % diminue la durée de vie de 60 %. L'exemple ressassé d'obsolescence programmée d'une fameuse lampe de caserne de pompiers californienne est de plus très mal interprété : on ne connaît pas la nature du filament, sa température de fonctionnement actuelle et sa température prévue par le constructeur ni sa tension de fonctionnement prévue, (un sous-voltage important augmente énormément la durée de vie) et l'histoire de cette lampe n'est connue que depuis les fifties. (papier en préparation sur le sujet)

## Analyse de construction de la bobine Sagem

### Ouverture de la bobine



bobine Sagem et Beru la différence de longueur du plan de pose à l'extrémité de bougie est compensée par le ressort interne de contact THT



ouverture bobine Sagem en haut à droite ressort acier qui pince le cylindre de blindage magnétique (fer cadmié bichromaté jaune) on voit le bobinage primaire par la fente

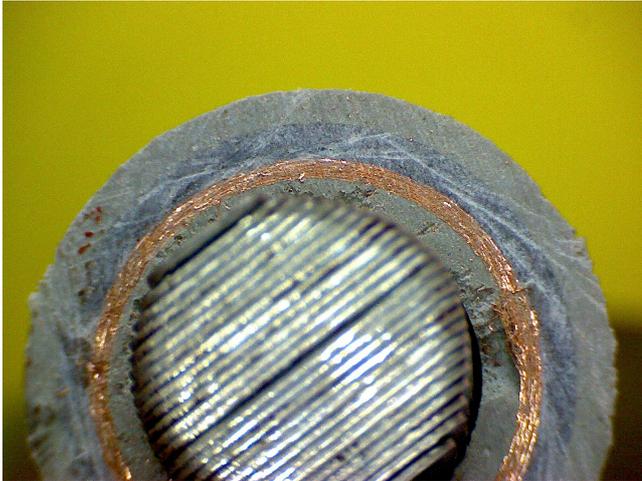


Extrémité de la bobine : en haut les extrémités du fil du primaire qui sont pincées dans des clips qui dénudent le fil à l'insertion et qui pincement les cosses de sortie, en bas le point froid du secondaire relié à la cosse colorée en vert par le chapeau. Ce point n'est pas relié en « dur » à la cosse ce qui permet facilement de placer une broche supplémentaire en changeant simplement le chapeau, ce n'est pas pour avoir la sortie THT isolée (l'isolement serait alors très beaucoup insuffisant) mais pour avoir, par exemple, une mesure d'ionisation et détecter les « misfires » (ratés d'allumage, obligatoire depuis OBD-2)

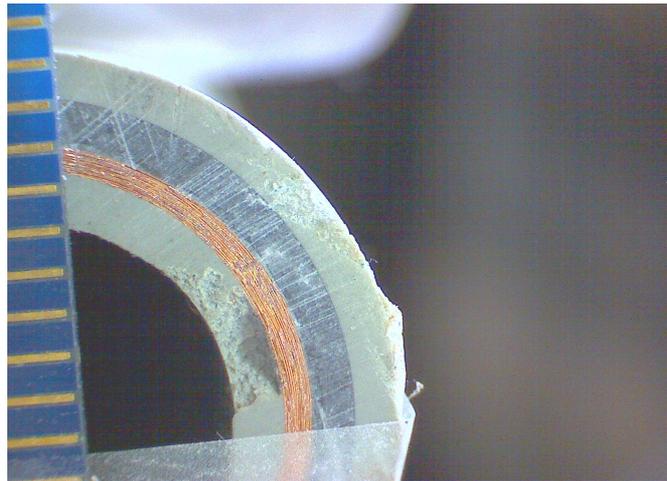
On voit le jeu d'environ 0,5mm entre le bobinage et la carcasse magnétique



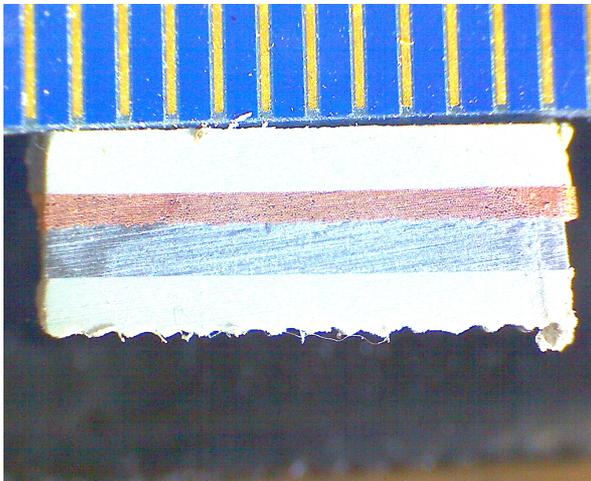
Chapeau de contact : il relie la bobine au connecteur externe. Les doigts s'insèrent dans les clips photo de gauche. Il y a 3 doigts pour 2 broches, deux broches sont reliées dans ce chapeau



coupe transverse avec noyau magnétique en place  
le secondaire est bien isolé du primaire et du noyau



détail après premier polissage, coupe transverse (le long des fils)



coupe sagittale (perpendiculaire aux fils)

les deux coupes confirment l'absence de film isolant entre couches

ouverture de la partie haute tension couches concentriques successives

- noyau en tôles de fer empilées (le contrepiéteur clame qu'on empile son vieux fer) formant un cylindre de 10mm
- tube plastique
- bobinage environ 18 couches dans 0,6mm, **PAS** de film isolant entre couches. La place est pourtant disponible
- remplissage (sans doute époxy. Les couches pourraient être séparées par un isolant, il y a la place, puisque le bobinage remplit un tiers de la place disponible) qui apparaît à l'extrémité de la bobine
- tube plastique, diamètre ext 18mm autour duquel sont bobinées les deux couches du primaire

Il y aurait largement la place de mettre du fil plus gros au secondaire (meilleure impédance de sortie et donc moins de pertes résistives dans la bobine, mais c'est plus cher). En général dans les transformateurs, on cherche à remplir de cuivre toute la place disponible et à bien assurer les isollements.

résistance primaire **0,45  $\Omega$**  mesurée au milli-ohmmètre

résistance secondaire **9,76 k $\Omega$**  (là, le multimètre numérique est OK) le double de la bobine Beru, le fil est donc estimé à la moitié de la section du fil Beru, pour coûter moins cher sans doute, on voit bien que cela ne remplit pas l'espace disponible.

rapport de transformation **100**

primaire fil 0,73mm 187 spires soit 11,6m de fil sans doute fil de gauge 21 (0,724mm résistance des 11m = 0,49  $\Omega$  auxquels il faut ajouter les résistances de contact des clips et des broches de connecteur) Il n'est donc pas question de brancher cette bobine en permanence sur une batterie (le courant serait de 24A avec un câblage parfait) ou de la commander par un rupteur classique, moteur arrêté. Son fonctionnement normal est évidemment assuré par une commande en courant/temps du calculateur.

secondaire (estimé) 18700 spires soit 1 km environ de fil, le fil fait environ 4/100 de mm, isolant compris Il est probable qu'il s'agit de fil de gauge 45 (diamètre 4,4 /100 de mm résistance 11000  $\Omega$ /km) si le fil passe à la gauge 44, la résistivité passe à 8700  $\Omega$ /km et le même nombre de spires donnera une résistance secondaire de 7,7 k $\Omega$  (ceci pour ceux qui décrètent qu'une bobine, qui n'a pas exactement la résistance connue, est mauvaise, le fabricant de bobines, ou de voitures réduit parfois ses

coûts et change la taille de son fil, par incrément d'un point de gauge, ce n'est pas une dérive ni une dégradation).

inductance primaire 4,2mH mesuré par fréquence d'oscillation après l'étincelle, avec capa de 0,22 $\mu$ F

énergie de l'étincelle 37mJ

pas de résistance série interne (elle est incluse dans la bougie, ou bien on compte sur la forte résistance du secondaire pour la remplacer)

tension d'amorçage 17kV

tension d'arc 1,5kV

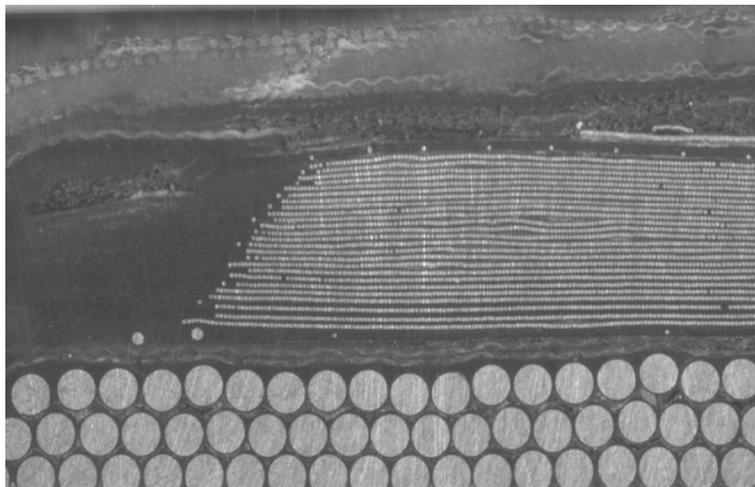
durée d'arc 320 $\mu$ s (gap 9mm)

La THT produite culmine à 18kV à l'amorçage ce qui fait 2000V entre couches et l'isolation doit tenir !

Or la construction du noyau THT montre des matériaux bien différents :

- fer doux
- tube plastique
- fil de cuivre
- epoxy (à confirmer) de remplissage
- tube plastique

## ***Comparaison avec la construction d'une bobine de volant magnétique des sixties***



Les spires du secondaire sont bien rangées, l'isolement est soigné, et on distingue nettement la présence d'un film d'isolation entre couches secondaires. La bobine Sagem montre, elle, des bobinages secondaires imbriqués couche dans couche, on n'y voit ni l'emplacement ni l'épaisseur d'un film isolant, alors que la place est disponible !

## ***Analyse de quelques causes de panne probables***

L'accumulation de matériaux différents, avec la différence consécutive des coefficients de dilatation cuivre (CTE=17x10E-6, celui de l'epoxy de 20 à 100, et variable en fonction de la température et du degré de polymérisation) conduit inmanquablement à des effets thermiques et l'isolation entre les couches de cuivre se détruit à la longue. Serait-ce un hasard? et il y a alors charbonnage ou court-circuit entre couches. Perdre 2000 ou 4000V est sans conséquence pour un moteur chaud mais très important pour un moteur froid.

Un autre effet moins probable est la fatigue thermique du contact fil primaire-clip de contact. Il faudrait mesurer ou connaître le CTE (coefficient de dilatation thermique) du métal du clip, celui du cuivre est bien connu. Ce défaut devrait être évité car il conduit à la perte de conduction primaire et donc, comme les bobines sont en série par deux, à la perte d'allumage de deux cylindres à la fois.

Le point froid du secondaire est relié au clip par un métal qui semble moins rouge que le cuivre, à confirmer, car la pince coupante peut entraîner du métal blanc de la couche externe dans la section de coupe. Les effets thermiques du point froid pourraient conduire à la perte de contact du secondaire, ce qui est « plus » admissible (puisque cela conduirait à la perte d'un cylindre seulement quand les bobines sont en série deux par deux), mais compte tenu du faible courant et d'un gap admissible, c'est peu probable.

Tout cela ressemble bien à un élément à **durée de vie programmée** (appelée improprement « **obsolescence programmée** »), la moyenne des utilisateurs constatent une durée de 20 000 km selon le buzz internet, et mon expérience personnelle où, cerise sur le gâteau le garagiste, sous prétexte que la « valise » se trouvait dans un autre établissement à 15km (il est donc incapable de diagnostiquer une panne classique sans valise?), et sur trois cylindres, conduite normalement interdite, vu les risques de détérioration du catalyseur ! Je n'ose croire que c'est fait exprès.

## Autres bobines

### ***Bobine à circuit fermé Magneti Marelli***

sur Clio 1,2

Magneti Marelli SAE 504 L 5H

rapport de transformation 90

résistance secondaire 4,7 k $\Omega$

résistance primaire 0,43  $\Omega$  (mesure au milliohmètre)

inductance primaire (mesure par fréquence résonance) = 10,2mH

courant primaire 4.24A (limité par le montage)

freq 1 = 17,9 kHz

freq 2 = 2,8kHz

énergie allumage **90 mJoules** dans les conditions de mesure (courant limité à 4.2A)

De par sa résistance interne, cette bobine ne peut fonctionner que commandée par une électronique (calculateur), si on la commande par un rupteur, elle partira très rapidement en fumée au démarrage, ou détruira le câblage/fusible.

Le pic de haute tension théorique serait de 24,6kV (tension pointe de 300V au primaire, multipliée par le rapport de transformation) qui ne peut être atteint, car l'étincelle s'amorce avant (à 18,4kV pour 10mm de gap)



### ***Magneto aviation Bosch 1929***

une magnéto comprend une vraie bobine d'allumage, comparable fonctionnellement aux autres bobines étudiées

extrait de : Report 58, National Bureau of Standards USA, 1929, F Silsbee, pour évaluer l'allumage des avions

résistance primaire 0,5  $\Omega$

résistance secondaire 2,5 k $\Omega$

inductance primaire 15 mH

courant 4A ( ce qui, combiné avec la résistance primaire et un dwell de 63%, fait penser à une bobine 4 V, si ce courant est le courant max, la tension serait de 2 V, pas important, puisque la tension est la tension générée par le champ magnétique tournant, à l'intérieur même du primaire, juste pour comprendre)

rapport de transformation 50

tension d'arc bougie 600V, tension d'amorçage bougie 6kV(avec les taux de compression, et l'écartement des électrodes de l'époque)

énergie à 1000rpm : 90mJ

Throughout this report frequent reference will be made to numerical values of the various quantities which may be expected in a typical case. For this purpose a magneto having the constants in the following Table I has been chosen. These constants do not precisely fit any individual magneto but are representative of values measured on a number of different types recently tested.

TABLE I.—*Constants of Typical Magneto.*

Primary turns ( $N_1$ ).....	160.
Secondary turns ( $N_2$ ).....	8,000.
Ratio of turns ( $n$ ).....	50 : 1.
Primary resistance ( $R_1$ ).....	0.5 ohm.
Secondary resistance ( $R_2$ ).....	2,500 ohms.
Primary inductance ( $L_1$ ).....	0.015 henry.
Mutual inductance ( $M$ ).....	0.74 henry.
Secondary inductance ( $L_2$ ).....	36 henrys.
Primary condenser ( $C_1$ ).....	0.2 microfarad.
Secondary (distrib.) capacity ( $C_2$ ).....	50 micro-microfarads.
Normal speed of operation.....	2,000 r. p. m.
Primary current at break ( $I_b$ ).....	4 amperes.
Maximum current in spark.....	0.075 ampere.
Breakdown voltage of gap.....	5,000 volts.
Sustaining voltage of gap.....	600 volts.

#### OUTLINE OF OPERATION.

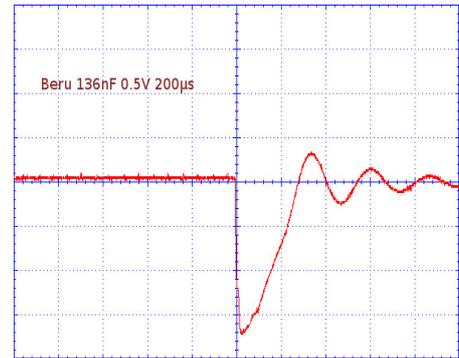
The high tension magneto combines in a single machine the functions of an electric generator and of an induction coil, and these two functions are to a considerable extent independent of one another.

**Beru**R primaire 0,51  $\Omega$ R secondaire 6,7 k $\Omega$ f(316nF) 3,788 kHz d'où L primaire = **5,5mH**

rapport = 60

énergie  $\frac{1}{2} LI^2 =$  **49 mJ**

(si I=4,2A pilotés par le calculateur)

**bobine moto japonaise Kawasaki (ZXR750)**secondaire 15k $\Omega$ 

primaire 2,73

rapport 90

**Bobines Lucas****bobine Lucas 17M12 date code 26/71**R primaire 3,7  $\Omega$ R secondaire 5,24 k $\Omega$ 

rapport 56

inductance 13mH

énergie 65mJ

**bobine Lucas 17M12 date code 17/74**R primaire 3,67  $\Omega$ R secondaire 4,95 k $\Omega$ 

rapport 54

inductance 13mH

énergie 70mJ

### ***bobine Klitz ACQU1 #1***

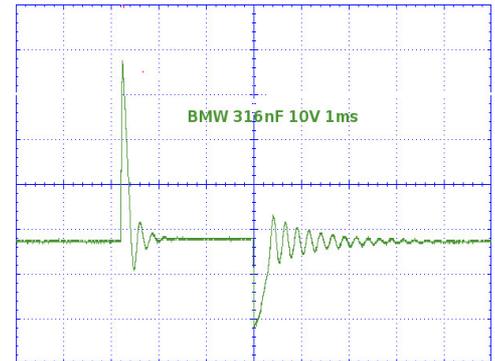
R primaire 2,89  $\Omega$   
 R secondaire 4,35 k $\Omega$   
 rapport 62  
 inductance 10mH  
 énergie 89mJ

### ***bobine Klitz ACQU1 #2***

R primaire 2,85  $\Omega$   
 R secondaire 4,35 k $\Omega$   
 rapport 60  
 inductance 10mH  
 énergie 91mJ

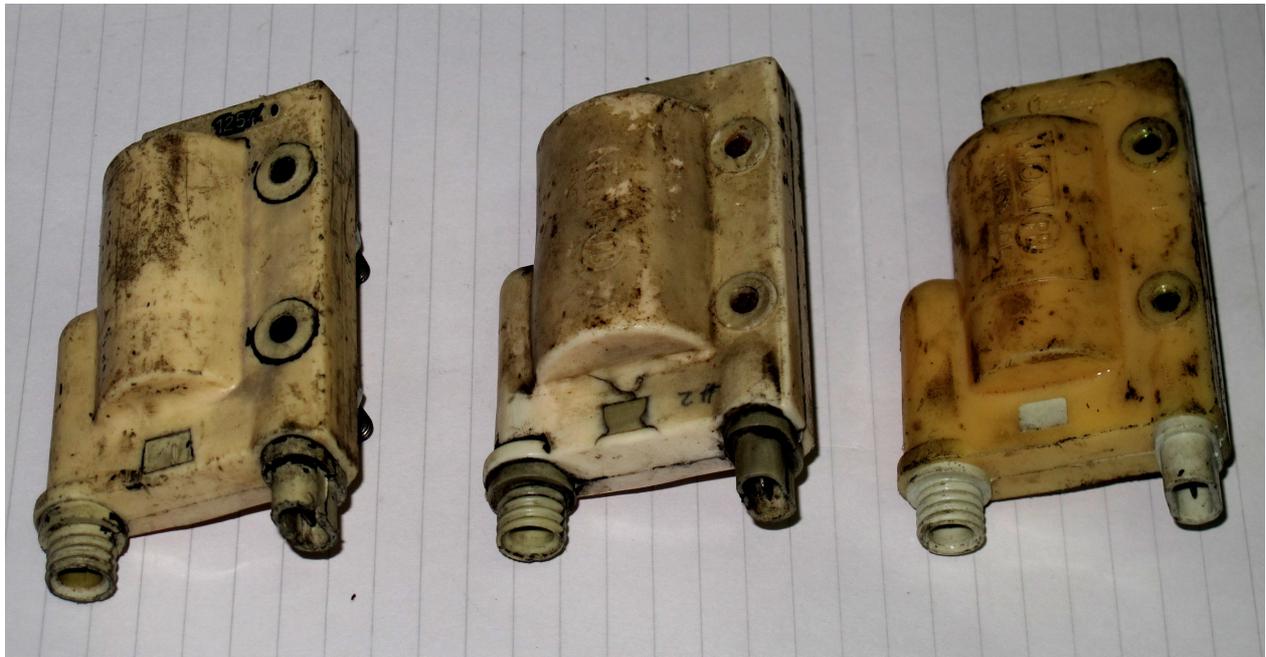
### ***Bobine BMW R1100***

Ref 1 341 978 – 0 040 100 224  
 r primaire 0,49  $\Omega$   
 R secondaire 7,45 k $\Omega$   
 rapport 85  
 f(316nF) 3,906 kHz d'où L= 5,26mH  
 énergie  $\frac{1}{2} LI^2 = \underline{53 \text{ mJ}}$  (si I=4,5A pilotés par le calculateur)



### ***Bobines Mobylette et scooter (volant magnétique)***

Les bobines de volant magnétique prennent l'énergie stockée dans la bobine primaire du volant magnétique (au choix : volant magnifique ou maléfique) Cette énergie, amortie par un condensateur, cause une impulsion plus faible qu'un allumage batterie-bobine d'environ 150-200V, ce qui permet un écartement plus faible des contacts du rupteur, et qui est simplement transformée par la bobine extérieure. Le paramètre primordial est alors le rapport de transformation. La tension est souvent inférieure, pour un moteur deux temps, à écartement bougie inférieur, et taux de compression effectif plus faible ( à cause de la présence des lumières lors de la course du piston ) qu'un 4-temps.



Bobines Novi et Wovi

**Bobine Novi 125440**

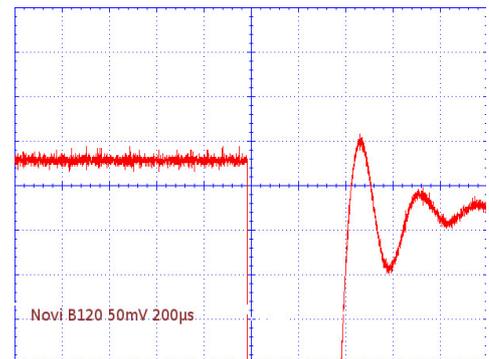
R primaire 88m $\Omega$   
 R secondaire 3,21k $\Omega$   
 Inductance 12mH  
 rapport 70  
 diamètre corps 31mm  
 masse 207g

**Bobine Novi 25440**

R primaire 1,05 $\Omega$   
 R secondaire 3,13k $\Omega$   
 Inductance 15mH  
 rapport 30  
 diamètre corps 35mm  
 masse 210g

**Bobine Novi B120**

R primaire 0,51  $\Omega$   
 R secondaire 2300 $\Omega$   
 rapport 85  
 f(316nF) 3,788kHz d'où L=5,6mH

**Bobine Wovi 125440 (copie de Novi)**

R primaire 66m $\Omega$   
 R secondaire 5,5k $\Omega$   
 Inductance 5,7mH  
 rapport 70  
 diamètre corps 31mm  
 masse 190g

Cette bobine a des caractéristiques voisines de la Novi 125440 et B120, sauf la résistance secondaire (peut-être du fil plus fin, d'où une masse inférieure) Elle peut peut-être se dispenser d'une résistance dans l'antiparasite, la résistance interne jouant partiellement ce rôle.

**scooter**

epoxy noir  
 résistance secondaire 3035  $\Omega$   
 résistance primaire 0,26  $\Omega$   
 rapport 150  
 f=31,2kHz (l@316nF) L=80nH

epoxy blanc  
 rapport 130 . Ces bobines travaillent donc à une tension primaire plus faible.

## Valeurs typiques

Voici les valeurs typiques relevées sur quelques cas (tension primaire typique, rapport de transformation, inductance L, résistance primaire, résistance secondaire, énergie max disponible sous 12V, sans pertes dans le circuit)

- Bobine classique (Ducellier) 12V rapp=80 L=10mH, Rprim=3,28 $\Omega$  Rsec=5,3k $\Omega$  E=66mJ
- bobine moto Lucas 17M12 12V rapp=54 L=13mH Rprim= 3,67 $\Omega$  Rsec=4,95k $\Omega$  E=70mJ
- bobine Sagem 6V rapp=100 L=4,2mH Rprim=0,5  $\Omega$  Rsec=9,8k $\Omega$  E=37mJ
- bobine Clio carcasse fermée 12V rapp=90 L=14mH Rprim=0,5  $\Omega$  Rsec=4,7k $\Omega$  E=126mJ
- bobine magneto aviation 1929 2 V rapp=50 L=15mH Rprim=0,5 $\Omega$  Rsec=2,5k $\Omega$  E=90mJ (moteur basse compression = relativement basse tension à la bougie)

## Conclusions

A faire :

## Table des matières

Utilisation de la bobine d'allumage.....	1
Consommation de l'allumage.....	1
Mesures de bobines d'allumage « classique » .....	2
Ducellier 12V.....	2
Moyens utilisés.....	2
Rapport de transformation .....	3
comportement en situation d'allumage.....	4
Etincelles multiples.....	4
Conditions normalisées.....	5
Effet de la valeur du condensateur.....	6
Sans condensateur.....	7
Essai sans bougie.....	7
Mesure de l'inductance secondaire.....	8
Estimation des courants de bougie.....	8
Bobines crayon.....	10
Analyse de construction de la bobine Sagem.....	11
Comparaison avec la construction d'une bobine de volant magnétique des sixties.....	13
Analyse de quelques causes de panne probables.....	13
Autres bobines.....	14
Bobine à circuit fermé Magneti Marelli.....	14
Magneto aviation Bosch 1929.....	14
Beru.....	16
bobine moto japonaise Kawasaki (ZXR750).....	16
Bobines Lucas.....	16
bobine Lucas 17M12 date code 26/71.....	16
bobine Lucas 17M12 date code 17/74.....	16
bobine Klitz ACQU1 #1.....	17
bobine Klitz ACQU1 #2.....	17
Bobine BMW R1100.....	17
Bobines Mobylette et scooter (volant magnétique).....	17
Bobine Novi 125440.....	18
Bobine Novi 25440.....	18
Bobine Novi B120 .....	18
Bobine Wovi 125440 (copie de Novi).....	18
scooter .....	18
.....	18
Valeurs typiques.....	19
Conclusions.....	19