

De la préservation en état de vol des Jodel-Potez

Table des matières

<u>1</u>	<u>Préambule</u>
<u>2</u>	<u>L'allumage Batterie-Bobine</u>
<u>3</u>	<u>L'allumeur type « Delco »</u>
<u>3-1</u>	<u>Analyses des défaillances et de leurs impacts sur le fonctionnement moteur avec allumage origine</u>
<u>4</u>	<u>Comparaison à l'allumage par Magnéto.</u>
<u>5</u>	<u>L'allumage électronique</u>
<u>6</u>	<u>La technologie implémentée</u>
<u>6-1</u>	<u>Batterie</u>
<u>6-2</u>	<u>Capteur a Effet Hall</u>
<u>6-2-2</u>	<u>Schema du nouveau circuit d'allumage</u>
<u>6-3</u>	<u>Analyse des défaillances et de leurs impacts du nouveau dispositif électronique</u>
<u>7</u>	<u>Conclusion : justification de l'emploi de l'allumage électronique</u>

1 Préambule

De longue date (depuis les années soixante), des avions Jodel, soit fabriqués par des sociétés et commercialisés sous le régime du CDN (devenus CDNR), soit construits par des amateurs et volant sous le régime du CNRA, sont équipés du fameux moteur Potez type 4 E-20.

Ce moteur a su à son époque se tailler une forte réputation pour ses performances, surtout sur le duo constitué avec les avions Jodel de type « Sicile » et « Sicile record », les DR1051 et DR1051M. Puis assez rapidement un certain nombre de problèmes d'exploitation de ces moteurs sont apparus, certains tout à fait explicables par un excès de confiance accordé au moteur et une mauvaise utilisation de celui-ci, d'autre part, par des défaillances insolubles à l'époque.

Ainsi, la plupart des cas de pannes purement mécaniques (rares selon les récits des « anciens »), sont la plupart du temps liées à la recherche de performances au-delà du domaine de vol normal. L'utilisation du moteur dans des plages de régimes dépassant les régimes maximum préconisés (et certifiés) par son constructeur, régime maximum de 2750 tr/min en utilisation continue étant déjà supérieur aux concurrents américains de puissance équivalente. C'est de ce fait grâce à ce régime maximum autorisé que la performance globale du moteur était meilleure, avec bien sûr des hélices adaptées.

Mais ultérieurement, la fiabilité même du moteur, fut critiquée, non par cause d'accidents nombreux, mais par la nécessité de faire face à de nombreux « incidents », obligeants à des interventions de réparations successives, voir à l'extrême, du choix de certains exploitants au changement de moteur ou de type d'avion (souvent à regrets).

Il s'avère, par écoute des pilotes de l'époque, comme par écoute de ceux qui aujourd'hui encore continuent à faire voler ces appareils, que le talon d'Achille de cette mécanique, est en fait un souci de conception « électromécanique ». Conception liée au choix fait à l'époque par les établissements Potez d'équiper ce moteur d'un système d'allumage directement repris de la technologie automobile de cette génération. Ceci avec ses avantages en terme de poids comme de puissance consommée, mais avec les mêmes inconvénients que ceux de l'automobile. Ce à quoi nous devons ajouter que l'automobile est un produit de grande diffusion, ce qui n'est pas le cas des moteurs d'avions, et plus particulièrement d'avions légers, dans un cas comme dans l'autre cela amène son lot d'avantages et d'inconvénients du point de vue « industriel » comme du côté « service après-vente ».

Dans un premier temps nous viendrons donc détailler le système qui équipe à l'origine ce type de moteur, que nous comparerons temporairement avec les systèmes employés auparavant. Puis dans un deuxième temps nous expliquerons en détail l'une des solutions les plus viables tant en terme de sécurité d'utilisation immédiate, comme en fiabilité à long terme, sans en oublier l'aspect économique et pratique de mise en œuvre dans un souci de sécurité optimale.

2 L'allumage Batterie-Bobine

2-1 Descriptif du principe d'origine (extrait du manuel Potez 4E20) :

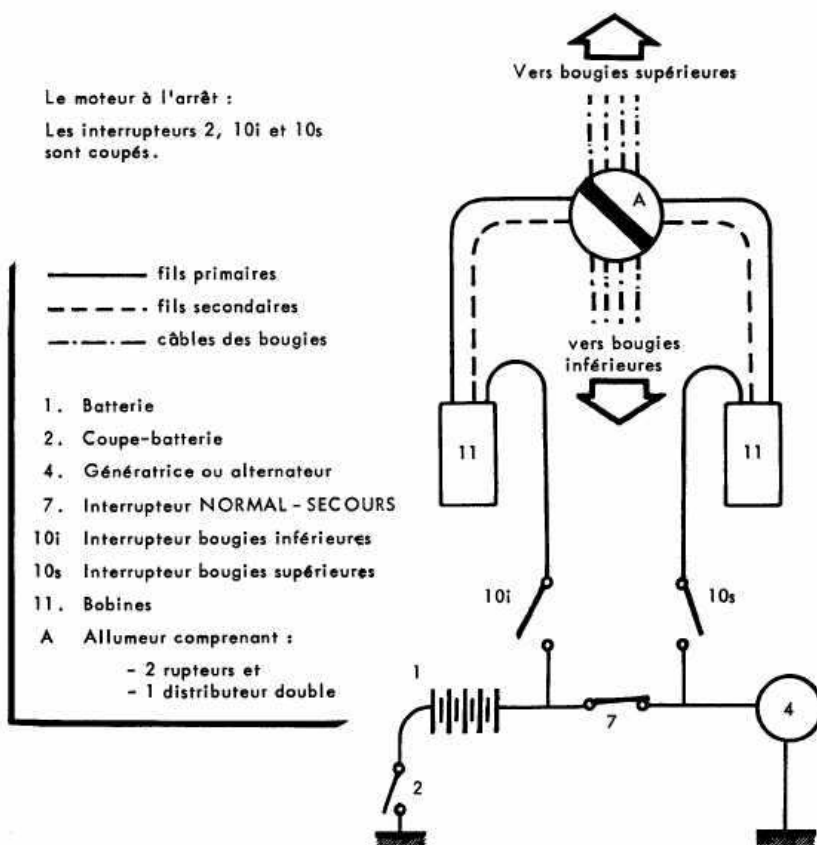
4.12 Rappel du principe

Le courant primaire est fourni soit par la batterie (démarrage du moteur), soit par la génératrice ou alternateur avec la batterie en tampon (moteur en fonctionnement).

Lorsque le rupteur est fermé, ce courant parcourt l'enroulement primaire et se perd à la masse. (Les résistances importantes existant dans l'enroulement secondaire et entre les électrodes des bougies ne permettent pas au courant primaire de faible tension de faire jaillir l'étincelle).

Lors de la rupture du circuit primaire provoquée par l'ouverture du rupteur, il se produit dans l'enroulement secondaire de la bobine, un courant induit de haute tension d'environ 16.000 volts. C'est ce courant secondaire qui, conduit aux bougies par l'intermédiaire du distributeur, provoque les étincelles entre les électrodes.

4.13 Schéma de fonctionnement de l'allumage double



Sur ce système d'allumage directement dérivé de celui de l'industrie automobile des années 50-60, nous retrouvons les composants suivants :

- Batterie traditionnelle acide et plomb
- Dynamo ou alternateur suivant séries de moteurs
- Bobines d'allumage en 12Volts (x2)
- Distributeur-Allumeur type « Delco », aux caractéristiques détaillées ci-après.
- Bougies d'allumage d'aviation traditionnelles (x8)
- Fils électriques basse tension sous 12Volts
- Fils électriques haute tension 16000Volts de connections des bougies

Chacun de ces éléments pouvant être défaillant à un instant ou à un autre (une étude des cas de défaillance est faite à la fin de ce chapitre).

3 L'allumeur type « Delco »

L'allumeur contient dans son boîtier :

- un mécanisme d'avance automatique centrifuge (à masselottes et ressorts) porté par un arbre central entraîné par le moteur au rapport de $\frac{1}{2}$ de la vitesse de rotation du moteur.
- un rotor est monté en extrémité d'arbre, son indexage étant réalisé par rainure et languette sur cette extrémité. Ce rotor est muni de deux touches métalliques radiales distinctes distribuant le courant sur les touches fixes du stator, et une zone de contact axial en tête de celui-ci.
- un stator constitué par le boîtier lui-même et portant radialement sur son pourtour la connexion des 8 fils le reliant aux bougies. Et en deux points opposés à 180 degrés porte les liaisons haute tension des bobines. De plus en partie interne il porte en son centre un charbon conducteur reliant le point central de contact du rotor.
- l'arbre central de l'allumeur porte aussi deux cames opposées commandant les rupteurs.
- deux rupteurs d'allumage (aussi appelés vis platinées), disposés à 180 degrés et commandés par les deux cames opposées de l'arbre d'allumeur. Ces rupteurs sont portés par une platine solidaire du boîtier de l'allumeur, ainsi la rotation du boîtier d'allumeur permet d'ajuster la position relative de ces rupteurs par rapport à la rotation de l'arbre. Cette rotation autorise ainsi le réglage fin du point d'allumage. Le débattement en rotation est cependant limité par les fixations du boîtier d'allumeur sur le carter moteur, fixation réalisée par deux vis disposées dans des lumières oblongues curvilignes (en « haricot »).
- deux condensateurs reliés aux rupteurs.

Le calage statique initial du point d'allumage se fait à 12 degrés d'avance sur le Point Mort Haut.

Par ailleurs, nous notons la double source électrique définie par l'utilisation de la batterie seule, ou par l'utilisation de la génératrice (ou de l'alternateur) délivrant son courant via la batterie qui joue un rôle de tampon, sur le courant délivré par le circuit de génération.

La fourniture d'énergie peut être considérée comme statique permanente par la batterie 12Volts, et par dynamique uniquement lorsque le moteur entraîne le générateur et que celui-ci est mis en service (interrupteur du circuit d'excitation enclenché).

Une position « Secours » existe, qui permet de n'utiliser que la batterie de bord, en isolant celle-ci du circuit de génération en cas de défaillance de celui-ci.

Il est important de noter que le circuit de génération seul –dépourvu de batterie tampon pour le filtrer- *est incapable d'assurer un courant continu utilisable par le dispositif d'allumage*, sur le long terme, ce courant trop irrégulier n'étant pas utilisable par les condensateurs de manière régulière.

La sélection des circuits d'allumage, ne permet que de sélectionner la portion de circuit haute tension animé par chacune des bobines, séparant ainsi le circuit des 4 bougies d'allumage inférieures de celui des 4 bougies d'allumage supérieures.

3-1 Analyses des défaillances et de leurs impacts sur le fonctionnement moteur avec allumage origine

composant	impact sur le fonctionnement								remarques
	en 1/8e d'utilisation (par bougie)								
batterie									défaillance totale de l'allumage si la batterie ne peut plus jouer son rôle de tampon, le fonctionnement sur circuit de génération électrique directement étant très irrégulier sans lissage du courant.
dynamo/alternateur									fonctionnement a 50% sur la batterie seule
bobine no1 ou 2									fonctionnement a 50% sur la batterie seule
bougie 1/2/3/4/5/6/7/8									défaillance d'une seule bougie entraînant une faible perte de puissance, détectable lors de la sélection des circuits en check-list essai moteur
circuit basse tension 1 ou 2									défaillance identique a celle d'une bobine
fils bougie 1/2/3/4/5/6/7/8									défaillance identique a celle d'une bougie
liée au distributeur :									
avance mécanique									défaillance globale entraînant une perte ou un excès de puissance global du moteur, sans pour autant perturber le cycle de fonctionnement du moteur
rotor									défaillance totale de l'allumage sauf si détérioration unique d'une seule touche de distribution
stator									défaillance 1/8 si défaillance unique d'une touche fixe de distribution, défaillance totale possible si détérioration du charbon axial central
rupteur 1 ou 2									fonctionnement à 50%
condensateur 1 ou 2									fonctionnement à 50%

On remarquera que le composant le plus critique est l'allumeur, et plus particulièrement son assemblage rotor-stator, son entraînement mécanique étant aussi critique, mais largement dimensionné celui-ci est des plus fiable. Vient ensuite la batterie qui en cas de défaillance majeure prive le circuit d'allumage de toutes sources d'énergie électrique.

4 Comparaison à l'allumage par Magnéto.

Par comparaison avec un dispositif traditionnel à deux Magnétos, la défaillance d'une magnéto est assimilable à celle d'un circuit (une bobine, un rupteur, un condensateur).

Les défaillances partielles d'une seule magnéto sont assimilables à des défaillances partielles de toute autre panne que celles-ci.

Seule la défaillance mécanique pure du pignon principal d'entraînement des magnétos peut entraîner la défaillance totale des deux magnétos en comparaison d'un moteur américain.(Continental ou Lycoming).

Les défaillances fils de bougie, ou bougie demeurant identiques dans tous les cas.

5 L'allumage électronique

3-1- Choix de l'allumage électronique. *Pourquoi ?*

Ainsi, nous observons clairement les risques encourus par tous les utilisateurs de systèmes batterie-bobines, tendant à engendrer des pannes identiques à celles qui furent pendant longtemps à l'origine de nombreuses pannes aussi dans l'automobile où l'on disait traditionnellement « c'est les vis platinées » ou « c'est le Delco », laissant de nombreux automobilistes sur le bord des routes.

C'est par ailleurs ce « talon d'Achille » qui a conduit nombre de propriétaires d'avions équipés de moteurs Potez à modifier leurs appareils avec une conversion en moteurs américains, même si les performances étaient tout juste dupliquées par les meilleures conversions.

Par ailleurs, le système qui équipe les moteurs POTEZ 4 E-20, n'a pas été reconduit sur d'autres moteurs entrés en production à la suite de celui-ci. Il en découle une rupture totale d'approvisionnement en pièces de rechange neuves. Mis à part quelques vieux stocks qui finissent de s'épuiser, avec des pièces dont la qualité ne cesse de se dégrader dans le temps (les matériaux isolants, d'origine se dessèchent, deviennent friables voir cassant et ne permettent plus d'assurer la même durabilité et se faisant n'assume plus leur fonction dans le temps), amenant un risque majeur de pannes consécutives à l'emploi de ces pièces hors d'âge.

Enfin, ces moteurs dont le constructeur a cessé le suivi de navigabilité ne peuvent plus être entretenus de manière convenable dans des ateliers certifiés et à la réputation établie.

Parallèlement, et fort heureusement, grâce au travail fourni par des institutions représentatives des utilisateurs en pleine collaboration avec l'administration de tutelle du domaine aéronautique français, les avions équipés de ces moteurs, dont les fabricants ont eux aussi disparus et/ou n'étaient plus en mesure d'assurer le suivi de navigabilité de ces aéronefs bénéficient aujourd'hui d'un nouveau régime de navigabilité dénommé CDNR.

L'usage de ces aéronefs s'est donc vu « Restreint », mais en concordance logique avec les écarts mesurables sur le suivi d'appareils normalement soumis au CDN et par comparaison avec les appareils soumis à l'attention unique de leurs propriétaires tels les CNRA/CNRAC, continue de permettre leur utilisation dans ce nouveau cadre réglementaire.

Le problème du remplacement des pièces détachées n'en n'est pas de même selon qu'il s'agit de pièces mécaniques, de menuiserie, ou électriques.

Si il est relativement simple par la refabrication de pièces identiques ou remplissant exactement la même fonction de remplacer un pignon, une bielle, un piston ou des segments ; la mise en œuvre de refabrication de pièces électromécaniques de précision nécessite des moyens de fabrication lourds et une maîtrise des processus extrêmement fine. Ceci afin de garantir naturellement non seulement la fonctionnalité mais aussi la durabilité et par la même occasion la fiabilité et la sécurité.

Le point critique du système d'allumage présenté ci avant se situant au niveau de la tête d'allumeur, pièce complexe faisant intervenir la maîtrise de procédés de moulages de matières plastiques contenant plusieurs inserts apparaît hors de portée de tous propriétaires assurant l'entretien de sa propre machine, que ce soit techniquement ou financièrement, quelque soit le cadre de suivi CDNR, CNRA ou CNRAC.

Hélas, le manque de pièces détachées valables, condamne la plupart de ces appareils à un stockage au sol, voir à une mise au rebut ou à une conversion avec un moteur d'autre origine, faisant alors sortir du cadre du CDNR ces machines.

Mais en étudiant l'histoire des techniques et en étudiant l'évolution des technologies de cette époque jusqu'à nos jours, il apparaît encore possible de sauver de l'extinction pure et simple ce type de moteur. Ceci consiste à se substituer momentanément au constructeur du moteur et en entrant dans une démarche identique à celle qui l'a conduit initialement à concevoir son moteur 4 E-20 ainsi équipé de ce système d'allumage identique à ceux des automobiles de son époque.

En effet, depuis, l'industrie automobile n'a eut de cesse d'améliorer ses propres systèmes d'allumages, avec toujours pour objectif dissimulé d'espacer les visites d'entretien afin de rendre les véhicules davantage disponibles entre les mains de leurs clients, sans avoir pour autant de nécessité de « certification ».

Les progrès réalisés sur les lubrifiant permettaient désormais d'espacer les intervalles de vidanges, de 3000km après guerre sur une 2cv Citroën ou un 4cv Renault, à des intervalles actuels qui vont jusqu'à 30000km, soit dix fois plus.

Ce rythme étant aussi imposé par l'entretien du reste du véhicule, dont : le circuit d'allumage avec des remplacement de « vis platinées » à 10000, puis 15000, puis encore 20000km, etc.

Le bond en avant fut franchit avec l'apparition de systèmes permettant un fonctionnement plus « propre » atténuant les étincelles produites au niveau des rupteurs, par l'usage de quelques composants électroniques simples. L'électronique évoluant à grand pas, ce sont bientôt des systèmes permettant d'utiliser des hautes tensions plus importantes qui furent utilisés. Puis enfin des systèmes permettant de remplacer l'électromécanique du système à rupteurs, jusqu'aux très modernes systèmes d'allumages pilotés par calculateur grâce à l'apport des technologies informatiques et de la programmation.

Il semble donc judicieux d'étudier une solution issue des technologies les plus robustes, récente et ayant fait ses preuves en matière de fiabilité et de simplicité.

La solution consistant à employer un allumage commandé de dernière génération, directement issu de l'automobile apparaît rapidement impropre à un usage simple, fiable et robuste. Nécessité de connaissances solides en informatique, programmation de calculateurs, et d'être en possession du matériel nécessaire, sans parler des possibles erreurs de manipulation du matériel comme des erreurs de programmation, qui peuvent engendrer de graves dysfonctionnements sur le moteur lui-même. Si cette technologie est adaptée aux mécaniques les plus pointues de l'industrie automobile actuelle, faisant face chaque année à des normes de dépollution de plus en plus draconiennes, elle n'est pas nécessaire sur une mécanique basique d'aviation légère qui ne peut pas évoluer dans sa conception.

La solution, consistant à renforcer le fonctionnement initial de l'allumeur par l'ajout d'artifices électroniques simples n'apparaît pas plus convenable, ces solutions n'ayant été au final que très peu utilisées dans l'industrie automobile suite à des difficultés de mise en œuvre et au faible gain en durabilité apporté en regard du coût relativement important ajouté à la fonction « allumage ». L'intérêt de cette solution s'est rapidement vu totalement supplanté par une technologie « tout électronique » plus légère et plus fiable à la fois, même si certains choix technologiques ont nécessité d'assez longues mises au point en leur temps.

6 La technologie implémentée

Nous pouvons donc, en regardant l'histoire de l'industrie automobile, extraire une solution qui perdure aujourd'hui, c'est-à-dire le plus basique des allumages électroniques : les systèmes transistorisés, commandés par capteurs optiques ou capteurs à effet Hall (magnétique). Les systèmes optiques nécessitant des conditions de fonctionnement particulières et la fourniture d'une source lumineuse, sont vite apparus impropres à une utilisation simple et fiable en toutes circonstances.

La solution magnétique par **capteur à effet Hall**, accouplé à un aimant permanent est donc de loin la plus fiable et la plus adaptée, restant par ailleurs simple à mettre en œuvre.

C'est sur cette base de réflexion que le système qui vous est décrit dans les chapitres suivants a été conçu.

Ce dispositif d'allumage à donc uniquement pour fonction :

- remplacer l'équipement électromécanique de l'allumeur originel
- améliorer la fiabilité et la sécurité des vols
- augmenter le niveau de sécurité par l'adjonction d'équipement redondant sur les points critiques.

Note1 : Ce dispositif n'a pas pour but d'améliorer les performances mais de conserver les performances d'origine à leur niveau initial.

Note 2 : Ce dispositif utilise le mécanisme de correction d'avance à l'allumage d'origine constitué des deux masselottes et ne nécessite donc pas de programmation des boîtiers électroniques, boîtiers dont le rôle est uniquement la commande des bobines électroniques.

6-1 Batterie

le premier niveau de renforcement de la sécurité consiste à ajouter une petite batterie de secours, permettant de palier à une défaillance totale de la batterie de bord. Cette batterie de secours n'a pour seule et unique fonction que d'être un « tampon » dans le circuit de génération de courant issu de la génératrice ou de l'alternateur ceci afin d'alimenter le système d'allumage.

Aucune autre servitude n'est reliée à cette batterie.

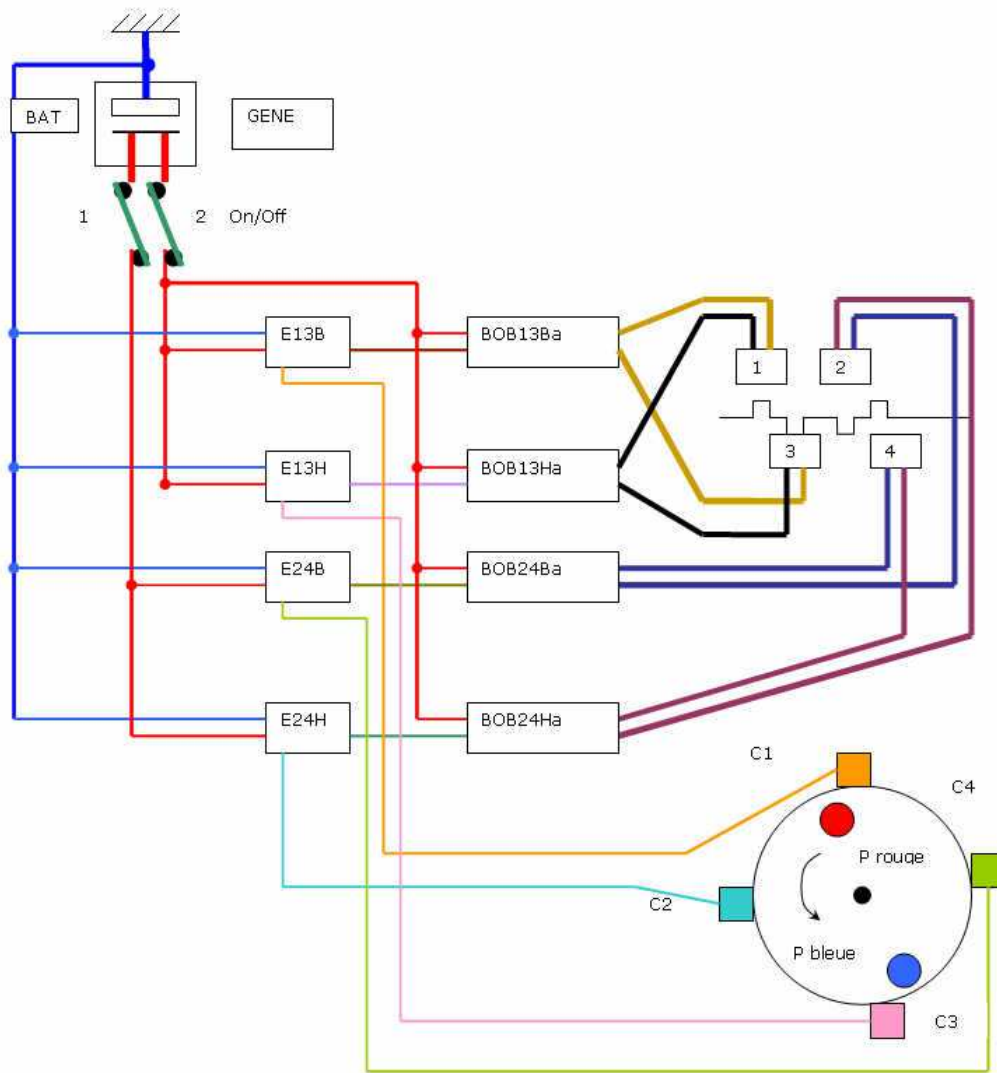
Cette batterie, est surveillée par l'observation d'un voltmètre qui lui est destiné a son usage unique, ceci afin de la contrôler avant toute mise en route de l'avion, cet item étant ajoute a la « check-list avant mise en route ».

Cette batterie peut être rechargée par le dispositif de génération électrique originel, uniquement sur commande du pilote, et est mise en ou hors circuit au moindre dysfonctionnement du dispositif de génération électrique de bord par un contacteur sur le tableau de bord.

6-2 Capteur a Effet Hall

le second niveau de renforcement est effectuée par le remplacement du dispositif électromécanique de l'allumeur par un système électronique transistorisé simple à fonctionnement par effet Hall, voir schéma 6-2-2 ci dessous ; comme décrit plus haut, ce dispositif utilise le mécanisme d'avance automatique centrifuge constitué des deux masselottes et ressort, ce qui évite l'utilisation de boîtiers électroniques programmables, le rôle des boîtiers choisis est uniquement la commande des bobines électroniques. Ainsi, aucun risque de modification de la courbe d'origine n'est à craindre.

6-2-2 Schema du nouveau circuit d'allumage



Ce système mets en œuvre :

- 4 capteurs à effet Hall
- 4 modules transistorisés de commande d'allumage
- 4 bobines à double sortie, d'impédance adaptée à la commande électronique par les modules.
- 1 plateau muni de deux pastilles magnétiques (aimants), servant de « cible » pour activer les capteurs à effet Hall.

6-3 Analyse des défaillances et de leurs impacts du nouveau dispositif électronique

composant	impact sur le fonctionnement en 1/8e d'utilisation (par bougie)								remarques
Batterie(s)									défaillance totale de l'allumage si la batterie ne peut plus jouer son rôle d'alimentation, le fonctionnement sur circuit batterie-secours permet le déroutement ou l'achèvement du vol.
dynamo/alternateur									fonctionnement a 100% sur la batterie seule
bobine no1, 2, 3 ou 4									fonctionnement a 75%
bougie 1/2/3/4/5/6/7/8									défaillance d'une seule bougie entraînant une faible perte de puissance, détectable lors de la sélection des circuits en check-list essai moteur
circuit basse tension 1, 2, 3 ou 4									fonctionnement a 75%
fil bougie 1/2/3/4/5/6/7/8									défaillance identique a celle d'une bougie
Liée au distributeur :									
avance mécanique									défaillance globale entraînant une perte ou un excès de puissance global du moteur, sans pour autant perturber le cycle de fonctionnement du moteur
rotor									Pas de frottements, pas d'usure, pas d'efforts mécaniques.
stator									Pas de frottements, pas d'usure, pas d'efforts mécaniques.
Capteur effet Hall 1, 2, 3 ou 4									fonctionnement à 75%
Module transistorisé 1, 2, 3 ou 4.									fonctionnement à 75%

7 Conclusion : justification de l'emploi de l'allumage électronique

-A égalité entre les deux moteurs l'emploi d'une batterie pour assurer la continuité du bon fonctionnement de l'allumage reste un point commun.

Toutefois, conjugué à l'allumage électronique, une batterie de capacité suffisante assurera une autonomie de vol supérieure à celle des réservoirs de carburant.

-A égalité les deux dispositifs fonctionnent en suivant la même courbe d'avance à l'allumage, ceci permettant de conserver la fiabilité connue des organes mécaniques du moteur.

-L'absence de pièces de rechanges de qualité suffisante pour les pièces d'usure, remplacée par des éléments sans usure mécanique, est évident.

-La redondance deux fois plus importante assure un niveau de sécurité supérieur à l'origine et aux normes habituelles.

-A l'avenir, tant que le fournisseur « MULTIC » existe des composants électroniques de rechange restent disponibles, et peuvent éventuellement être remplacés par des composants équivalents ou supérieurs en fiabilité et efficacité.

-La maintenance est simplifiée, en réduisant le nombre de dépose/repose des éléments d'allumage (plus d'usure donc plus de remplacement), ce qui réduit le risque d'endommagements des pièces lors des manipulations liées à l'entretien.

-Du point de vue pilote, une « batterie-secours » est un plus, les essais moteurs demeurent les mêmes et peuvent être répétés si nécessaires indépendamment sur la batterie principale ou sur la batterie secours.

Tous ces éléments assortis au recul sur l'utilisation de cette technologie dans l'automobile permet d'envisager un avenir au vol des moteurs Potez 4 E 20 munis de tels dispositifs d'allumage électronique, avec une sécurité accrue par rapport au dispositif d'origine.

.