



Association Aéronautique  
Astronautique de France

**LA SOCIÉTÉ SAVANTE DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE**

**EXTRAIT THÉMATIQUE IdF N°6**

**→ Instrumentation scientifique**

**- OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS :  
LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »**

**18 juin 2021**

**Article paru dans La Lettre 3AF n° 41**

## SOMMAIRE

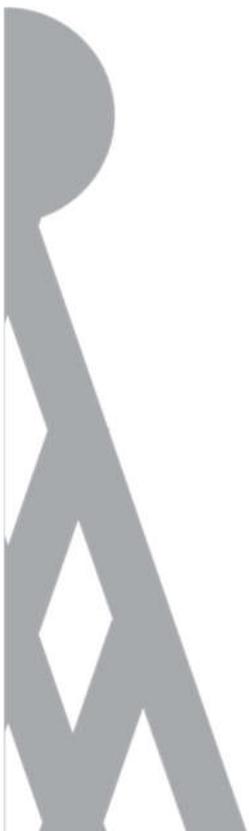
**1. OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES » & Note de lecture**  par *Denis Beaudouin* auteur d'un livre sur Charles Beaudouin, constructeur d'instruments scientifiques.

**2. PROCHAINE CONFÉRENCE du Groupe Ile-de-France**  
**Mardi 21 septembre 2021 de 18h 30 à 20h.**

→ **BALLONS DIRIGEABLES**

par *Philippe Tixier*, ex-FRAMATOME et Giat-Industries, président de Dirisolar, de l'Association Centre Européen des Ballons et Dirigeables.

-  Tout public
-  Averti
-  Expert ou Spécialiste



## HISTOIRE

# OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »

par Denis Beaudouin

*L'enregistrement des paramètres de vol est une histoire plus que séculaire que nous conte Denis Beaudouin auteur d'un livre sur Charles Beaudouin, son grand-oncle.*

## EMBARQUER UN LABORATOIRE

Un an après le début de l'aérostation en 1783, on a l'idée de mesurer ce nouvel univers aérien : en 1784, Jean-Pierre Blanchard et le Dr Jeffries embarquent des instruments lors d'une ascension à Londres, puis emportent le 7 janvier suivant un thermomètre et un baromètre pour la première traversée aérienne de la Manche. Désormais l'histoire de la conquête de l'air sera jalonnée de mesures physiques.

L'invention des « plus lourds que l'air » au début du XX<sup>ème</sup> siècle requiert une nouvelle approche beaucoup plus scientifique des conditions et possibilités du vol. Grâce aux progrès spectaculaires de l'instrumentation scientifique de cette époque, deux écoles complémentaires vont se développer :

- Les essais en soufflerie, dont le principal acteur est Gustave Eiffel : en 1912 il construit sa soufflerie de la rue Boileau à Paris, toujours en fonctionnement, alors qu'il a déjà amplement étudié la résistance de l'air à la Tour Eiffel.
- Plusieurs aviateurs sont partisans des enregistrements réalisés en conditions réelles de vol grâce à des instruments embarqués, pour connaître le régime et la poussée du moteur et de l'hélice, vitesse, incidence, altitude de l'avion, etc., c'est-à-dire les paramètres permettant d'étudier et d'améliorer le bon fonctionnement d'une machine aussi nouvelle. Louis Gaudart imagine un « aéroplane-laboratoire », il sera le premier « pilote d'essai », travaillant avec les frères Voisin.

L'Armée organise des concours aériens dès 1911 et conduit des études relatées dans un document édité par la SEIN en 1917 : « Trois ans d'expériences sur l'aéroplane <sup>3</sup> ». Spécialiste incontesté des enregistreurs, le constructeur Jules Richard invente de nombreux instruments permettant l'analyse a posteriori des paramètres observés

dans l'avion en vol. La Première Guerre mondiale engendre un gros effort de recherche et d'innovation des constructeurs. L'administration militaire encadre ces efforts par la création de deux organismes, le Centre d'essais des matériels aériens, le CEMA, en 1915, et le Service technique de l'aéronautique, le STAé, en 1919. Le CEMA sera le creuset d'essais en vol rendus méthodiques et pertinents grâce aux enregistreurs, et ces recherches seront poursuivies activement entre les deux guerres.



Fig. 1 Louis Gaudart à bord de son « laboratoire volant », vers 1909. <sup>2</sup>

## 1930 - 38 : LES PRÉALABLES TECHNIQUES DE LA « BOÎTE NOIRE »

L'enregistreur pour les essais en vol, tel qu'il apparaît très élaboré en 1939, est le fruit de la rencontre, dès 1934, entre les ingénieurs du STAé, et de Henri Gondet et Paul Beaudouin <sup>4</sup>, les deux ingénieurs de la maison Charles Beaudouin, entreprise spécialisée dans la construction d'instruments scientifiques. C'est probablement en 1936 que François Hussenot rejoint le CEMA à Villacoublay et y poursuit avec eux les travaux qui conduiront à la réalisation de l'enregistreur de vol « Hussenot Beaudouin », le « H-B ».

Il faut souligner que la préoccupation de l'analyse des vibrations dangereuses devient assez générale dans les années 1930 : « La mesure des accélérations et des vibrations prend une importance sans cesse accrue, en raison de l'augmentation continue des vitesses et des puissances, soit

<sup>1</sup> Sur ce sujet, voir les excellents ouvrages de Jean-Claude Fayer, « Vols d'Essais, le Centre d'Essais en Vol de 1945 à 1960 » (Editions ETAI, Paris-Boulogne, 2001), et « Le Guntherographe », article très documenté sur l'histoire des enregistreurs de vol, paru dans la revue des anciens de l'EPNER « H.B. GV Top », juin 2006.

<sup>2</sup> Voir le livre de Jean-Pierre Sourdis et aussi Gaudart Antoine (Travail personnel, CC BY-SA 3.0) <https://commons.wikimedia.org/>

<sup>3</sup> Voir le Bulletin de la Sté d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, sept 1917.

<sup>4</sup> La genèse des oscillographes et des enregistreurs de vol construits par l'entreprise est largement développée dans le livre « Charles Beaudouin, une histoire d'instruments scientifiques », Denis Beaudouin, EDP Sciences, Paris, 2005.

## HISTOIRE

### OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »

des véhicules actuels –automobiles, automotrices, avions – soit des diverses machines thermiques et hydrauliques notamment, ou de leurs divers organes »<sup>5</sup>. Ainsi s'exprimaient en 1935 Henri Gondet et Paul Beaudouin dans un article de la Revue Générale de l'Electricité.

Dans ces années 1930, l'entreprise Charles Beaudouin maîtrisait la construction d'enregistreurs oscillographiques de grande précision, la réalisation de capteurs piézo-électriques ainsi que l'amplification des courants faibles. Elle était donc en mesure de concevoir un système enregistreur devant nécessairement coupler plusieurs fonctions :

**Capteurs**, permettant la mesure de phénomènes physiques et leur transformation en courants électriques variables: accélérations, vibrations, vitesses, pressions, etc. Ces capteurs de taille réduite peuvent être placés aux différents emplacements du véhicule à étudier, parfois difficilement accessibles.

**Oscillographes**, transformant ces flux électriques variables en oscillations d'un faisceau lumineux.

**Inscription sur un support**, permettant l'interprétation a posteriori des phénomènes ; le film argentique est le support le plus répandu à l'époque.

**Base de temps**, permettant de « dater » les différents phénomènes enregistrés simultanément, et de comprendre leurs interactions. On peut enregistrer des impulsions inférieures à quelques fractions de seconde en modulant la vitesse de déroulement du film qui peut être très élevée.

#### Les capteurs.

Dès 1932, Henri Gondet et Paul Beaudouin conçoivent des capteurs basés sur la piézo-électricité, étudiée par Pierre Curie, déjà mise en œuvre dans la balance à quartz piézo-électrique, un des trois appareils de la mesure de la radioactivité construits par l'entreprise Beaudouin pour le laboratoire de Marie Curie.

Henri Gondet précisait par ailleurs le moyen retenu : *l'application du phénomène piézo-électrique - dégagement de charges électriques sous l'influence de pressions exercées sur un disque ou une lame de quartz convenablement taillé par rapport aux axes cristallographiques - a été envisagée depuis longtemps pour la réalisation d'un accélérographe mais n'a pu fournir de résultats corrects que depuis l'apparition des lampes thermoïoniques à résistance interne très élevée, dites lampes électromètres, transformateurs sans inertie des*

*charges électriques dégagées en variation de tension ou de courants facilement amplifiables*. La réponse électrique du quartz aux variations de pression mécanique est linéaire.

#### Les oscillographes.

Ces appareils ont été imaginés par les « électriciens » au tournant du XIX<sup>ème</sup> siècle pour comprendre les phénomènes de décharges électriques et deux hommes se sont particulièrement illustrés dans ce domaine, André Blondel (X Ponts) et Henri Abraham, à l'ENS.

*Principe des oscillographes électromagnétiques : le courant variable à analyser parcourt un électroaimant qui fait osciller un miroir, réfléchissant un faisceau lumineux dévié selon les oscillations ; l'impact du faisceau est visualisé par un spot sur une règle ou enregistré sur un film défilant.*

Les oscillographes les plus utilisés sont dérivés des galvanomètres à cadre mobile du type d'Arsonval. Ils permettent de visualiser les variations d'un courant, des modèles de plus en plus robustes et réduits en feront des appareils faciles à embarquer dans des véhicules en mouvement. Beaucoup plus efficaces que les inscripteurs mécaniques, les oscillographes à faisceaux lumineux présentent une inertie nulle et ils peuvent se croiser, permettant, sur un même film photographique, des inscriptions multiples provenant de plusieurs oscillographes.

Vers 1930, l'entreprise Charles Beaudouin avait mis au point avec Raymond Dubois un oscillographe électromagnétique robuste et performant (jusqu'à 3000 Hz), mis en œuvre dans :

- « deux modèles d'enregistreurs, dotés respectivement de :
- trois oscillographes à miroirs de focale 500 mm inscrivant sur bande de 90 mm de large pouvant défiler à une vitesse comprise entre quelques mm/s et 250 mm/s,
  - huit oscillographes à miroirs de focale 1000 mm, inscrivant sur une bande de largeur double, défilant à une vitesse pouvant atteindre 1000 mm/s pour le plus précis, au prix d'un encombrement accru en conséquence. » (J. C. Fayer)

Ces appareils sont lourds et encombrants, les modèles dérivés durant les années suivantes devront être miniaturisés, et il est nécessaire de concevoir une liaison fiable entre les capteurs, les oscillographes et le système inscripteur ainsi composée:

- « 1° le dispositif détecteur à quartz piézoélectrique dégageant des quantités d'électricité très faibles - de l'ordre de 10-10 coulomb - mais proportionnelles aux pressions (ou aux accélérations) auxquelles il est soumis ;

<sup>5</sup> H. Gondet et Paul Beaudouin : « Vibrographe-accélérographe piézoélectrique », Revue Générale d'Electricité, Paris, 20 avril 1935.

OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »

- 2° une lampe électromètre dont le but est de fournir, sans perte appréciable, une différence de potentiel proportionnelle aux charges électriques dégagées ;
- 3° un amplificateur transformant la très faible différence de potentiel de la lampe électromètre en un courant dont l'intensité sera suffisante pour provoquer la déviation convenable d'un oscillographe électromagnétique ;
- 4° l'enregistreur oscillographique qui fournira finalement une courbe dont les ordonnées seront proportionnelles aux pressions (ou aux accélérations initiales) à mesurer<sup>7</sup> ».

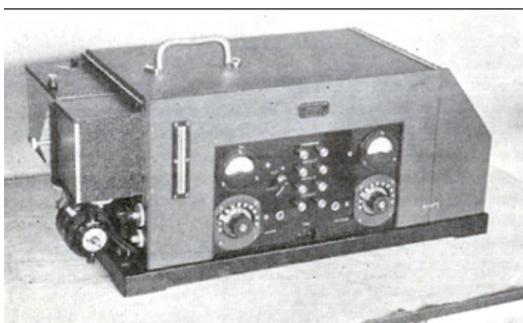


Fig. 2 Enregistreur oscillographique (vers 1935), la focale du miroir oscillant est de 0,50m. À gauche, le magasin du film photographique ; le moteur d'entraînement est sous ce magasin. À droite, capot des oscillographes Dubois, dont les miroirs ont une focale de 0,50m.

**Les sources documentaires.**

1 - La source la plus ancienne de la collaboration entre le STAé et la Maison Beaudouin est le cahier de Paul Beaudouin, qui tenait une chronique quotidienne de son travail d'ingénieur, témoin de ces nombreux essais à Villacoublay :

- vendredi 15 juin 1934 : matin préparé démonstration Breguet, visite salles, vu le chef pilote Sizin,
- jeudi 18 oct 1934 : soir essai Breguet ; préparer accélérographe plus léger pour dans une dizaine de jours, on essaiera alors sur avion,
- mercredi 23 janvier 1935 : essai accélérographe 500A pour avions -présentation à M Dupont du STAé inscrit vibration de fuselage. Durodié pige bien. Enregistrements très réussis. Déjeuné à la popote (de Villacoublay),
- lundi 4 février 1935 : appareil testé à plus de 500/sec
- vendredi 1° mars 1935 : parti avec Gondet chez Breguet fait enregistrement sur aile Br 19 : bonnes courbes.

2 - Dans le Bulletin périodique d'information interne au CEV, cité par Jean-Claude Fayer dans « Vols d'essais », André Toudic évoque ainsi la collaboration STAé-Beaudouin : « ...la belle installation réalisée en 1935 par

Mrs Gondet et Beaudouin sur Bloch 210 et qui comportait des capteurs à quartz avec amplificateurs à courant continu à tubes à vide, galvanomètres Dubois à miroirs, et enregistrements sur bande photosensible ».

**Les accélérographes piézoélectriques.**

La sensibilité des divers modèles construits est très variable: un accélérographe, constitué par une masse inerte d'une masse de 4 kg, permettra de déceler et d'enregistrer, en utilisant une amplification électronique élevée, des accélérations de l'ordre de 1/1000°de g. L'utilisation d'une masse de 500 grammes et d'un faible coefficient d'amplification permettra d'enregistrer des accélérations de plusieurs dizaines de g<sup>8</sup>.



Fig. 3 Trois boîtiers d'accélérographe Ch. Beaudouin, dont les masses varient de 4 kg à 250 g, comparés à une règle à calcul

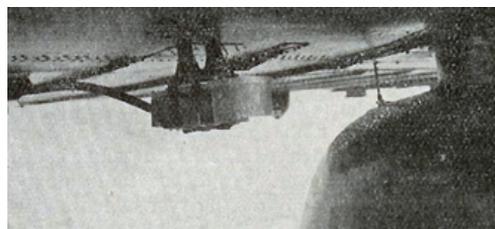
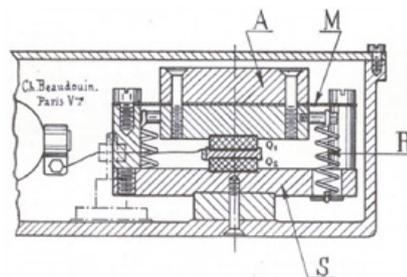


Fig. 4 Coupe de l'accélérographe de 1935 et position sous l'aile d'avion

Q1 et Q2 : quartz supportant les variations de compression ; A : masse d'inertie imprimant aux quartz ces variations ; M : membrane souple ; R : ressorts de maintien de la masse.

Les charges dégagées par les quartz sont conduites vers la lampe électromètre, à gauche.

<sup>7</sup> Extrait du document de Henri Gondet et Paul Beaudouin : « Vibrographe-accélérographe piézoélectrique », Revue Générale d'Electricité, Paris, 20 avril 1935.

<sup>8</sup> Fascicule « Accélérographe piézo-électrique », H. Gondet, Besançon, 1937.

## HISTOIRE

### OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »

Henri Gondet et Paul Beaudouin participeront à de nombreux vols d'essai particulièrement chahutés par temps d'orage, à Villacoublay ou Clermont-Ferrand. Dans le riche fascicule rédigé par Henri Gondet en 1937, plusieurs courbes intéressantes retracent ces enregistrements véritablement historiques :

Les courbes de la figure 5 présentent le début et la fin du passage d'un avion dans une rafale au-dessus de la Banne d'Ordanche dans le Puy-de-Dôme : trois accélérographes étaient installés, l'un dans le fuselage - au centre de l'enregistrement - les deux autres aux extrémités des ailes. Les mouvements de roulis s'inscrivent sous forme de courbes dont les accidents sont en opposition, ce qui permet de calculer l'accélération angulaire. Nous tenons à remercier tout particulièrement les directeur, ingénieurs et pilotes, tant du Service technique de l'aéronautique que du Centre d'essais de Villacoublay et, en particulier, MM. Dupont, Velay et Jouy. Leurs conseils éclairés nous ont aidé à mettre au point les accélérographes destinés à l'aviation.<sup>10</sup> » L'Ingénieur en Chef du STAé était alors M. Dupont<sup>11</sup>.

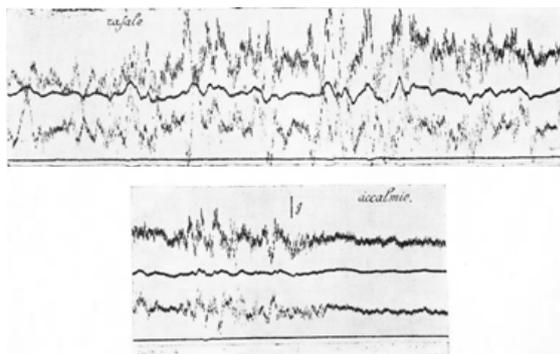


Fig. 5 1935 : premier enregistrement d'un passage dans une rafale...<sup>10</sup>

Oscillographe enregistreur, accélérographes et manographes piézo-électriques, amplification des courants faibles, instrumentation résistante et fiable en milieu très perturbé : c'est sur l'ensemble de ces réalisations de l'entreprise menées de 1932 à 1938 que pourra se greffer avec succès la réalisation de l'enregistreur de vol

multiple Hussonot-Beaudouin, à l'état de prototype en 1939 et expérimenté dès le printemps 1940.

#### L'ENREGISTREUR MULTIPLE HUSSENOT-BEAUDOIN « H-B », DIT LA « BOÎTE NOIRE » : UNE PREMIÈRE MONDIALE

Le CEMA de Villacoublay, « alors considéré (en 1935) comme La Mecque des essais en vol (...) avait progressivement dépassé son rôle initial de contrôle pour mener celui d'animateur vis-à-vis des services essais des constructeurs, en s'imposant par une compétence et une rigueur indiscutée<sup>12</sup> ». C'est probablement au CEMA qu'en 1936 Paul Beaudouin rencontre François Hussonot<sup>13</sup>, Ingénieur de l'air, qui deviendra en 1945 chef du service des méthodes et moyens du Centre d'Essais en Vol, le CEV, installé à Brétigny-sur-Orge en région parisienne.

Affecté vers 1938 à la base d'hydravions de St Raphaël<sup>14</sup>, François Hussonot commande à l'entreprise Beaudouin un premier lot de matériel, « notamment utilisés au début de 1940 sur le POTEZ 567, version marine du POTEZ 56 »<sup>15</sup>. Les principes de l'enregistreur de vol HUSSENOT-BEAUDOIN, le « H-B », sont déjà fixés dans les deux premiers prototypes réalisés en 1939 et 1940, même si de nombreuses fonctions devront être mises au point de 1940 à 1945. Il ne semble pas qu'il existe d'appareil aussi complet à cette époque dans d'autres pays<sup>16</sup>.

Afin de poursuivre la mise au point de l'appareil loin de la zone des combats, le STAé donne mission dès février 1940 à Paul Beaudouin de déplacer la fabrication de cet appareil de Paris à Roanne où ce service s'est déjà replié. Avec son épouse, un dessinateur et cinq ouvriers, il y transfère cette activité dans un atelier dont l'installation durera de mai à décembre 1940. C'est ici que seront poursuivis la mise au point, les essais, la recherche des composants, et la fabrication des 25 premiers enregistreurs multiples H-B type A11, jusqu'en 1945. Cette série est financée à l'aide des crédits du programme de la « Commission des gros hydravions », qui concerne le LATE 631 construit par Latécoère, et le S.E 200<sup>17</sup>. Paul

<sup>10</sup> H. Gondet et P. Beaudouin « Vibrographe-accélérographe piézoélectrique », *Revue Générale d'Electricité*, 1935

<sup>11</sup> Il est intéressant de rappeler les rapports assez étroits développés à cette époque entre les milieux scientifiques et le STAé, particulièrement soulignés par l'intervention du Lieutenant-Colonel Robert, chef du service des recherches au STAé, à l'occasion du cinquantenaire de la Société Française de Physique, tenu à la Sorbonne en décembre 1923. (Voir le « Livre du Cinquantenaire » de la SFP, Paris, 1925).

<sup>12</sup> J.-C. Fayer, « Vols d'Essais, le Centre d'Essais en Vol de 1945 à 1960 », *op. cit.*

<sup>13</sup> De nombreuses biographies de cet homme, Polytechnicien, Ingénieur de l'air, pionnier des essais en vol, ont été publiées notamment par les Associations d'anciens du CEV; son fils Rémi Hussonot assure la pérennité de sa mémoire.

<sup>14</sup> Voir les publications et sites Internet consacrés à François Hussonot.

<sup>15</sup> Selon l'ouvrage de J.-C. Fayer.

<sup>16</sup> Voir la communication de Jean Forestier « François Hussonot et l'efficacité des essais en vol français dès 1945 », dans les Actes de la journée d'études du 20 mai 1999 du « CHARME », Comité pour l'Histoire de l'Armement, DGA, Paris, 2000.

<sup>17</sup> D'après André Toudic, adjoint de F. Hussonot, cité dans l'ouvrage de J.-C. Fayer, *op.cit.*

## OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »

Beaudouin va souvent à Marignane et Istres, et François Hussonot vient aussi à Roanne.

DISTRIBUTEUR DE PRESSION ET DE COURANTS

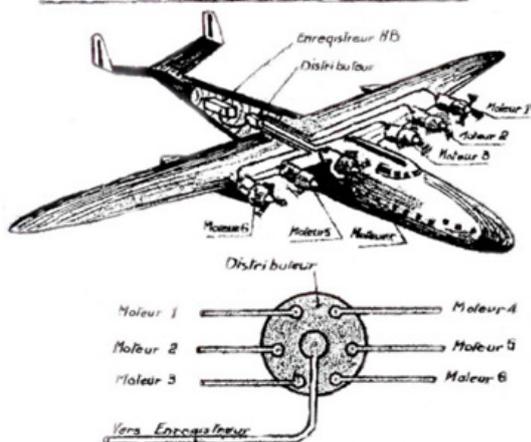


Fig. 6 Schéma de montage du « H-B » dans un hexamoteur Latécoère Laté 631,

L'enregistreur est placé à l'arrière du fuselage, près du distributeur de pressions et de courants, pour enregistrer, entre autres, les paramètres relatifs à chacun des six moteurs.  
(notice du « H-B » de 1945)

Le STAé a donc pu conserver un programme aérien après 1940-1941, dans lequel s'insère la première série de l'enregistreur de vol. Les essais en vol sont poursuivis au moins jusqu'à l'invasion de la zone Sud à la fin de 1942. On sait que nombre d'organismes de recherche, fondamentale ou appliquée, n'ont pas voulu cesser leur activité après la débâcle de 1940, certes pour des raisons matérielles quotidiennes, mais aussi par fierté, et pour rester prêts pour « après »...

L'ouvrage déjà cité de Jean-Claude Fayer explicite très clairement les qualités de ce nouvel appareil :

« Quelques exemplaires sont maintenant disponibles (à savoir début 1940), qui répondent exactement aux principes de fonctionnement et propriétés attendus des matériels, c'est-à-dire selon des préconisations dont la clairvoyance ne sera jamais démentie :

1. enregistrement automatique de toutes les mesures,
2. synchronisation des enregistrements, jugée essentielle,
3. étalonnage facile, pour qu'il puisse être fait très souvent,
4. poids et encombrement de l'installation de mesure réduit au minimum, pour être facile à transporter et installer,
5. interchangeabilité facile des composants, donc fabrication en série d'instruments dont la définition reste stable longtemps.

L'option choisie dès le prototype de 1939 portait en germe toutes ces possibilités :

- enregistrement simultané des paramètres et de la référence de temps sur une même bande photographique de 88 mm de large et de 8 m de long,
- « inscripteurs » à miroirs interchangeables sur support unique, qui permettent par exemple de remplacer un paramètre de pression par une mesure d'accélération, de vitesse angulaire, etc.
- étalonnage sur place, après installation de l'enregistreur dans l'avion. »

La première notice du HB de 1945 des Ets. Ch. Beaudouin, sur son papier médiocre et dans son impression de machine à écrire encore bien rustique, évoque ces moments difficiles de gestation de l'appareil mais aussi la détermination et l'espoir de ses concepteurs :

« L'enregistreur multiple a vu le jour en 1940, mais c'est pendant l'occupation allemande qu'il a été amené à sa forme définitive et qu'il a été mis au point au sol et en vol. Nous voulons ici remercier ceux qui ont encouragé notre travail et en particulier le chef de la section Hydravions du Service Technique qui a été le premier à nous soutenir. Quant à la petite équipe d'ingénieurs et d'ouvriers qui a réussi à construire avant la libération les 25 premiers enregistreurs<sup>18</sup>, au milieu des difficultés que l'on imagine aisément, elle ne poursuivait qu'un seul but : la reprises des essais en vol. Maintenant que ce but est atteint et que la construction en série se développe aussi vite que le permettent les circonstances, chacun de nous s'estime récompensé puisque son travail a été efficace.

Les instruments de mesure sont l'origine et la base de tous les progrès que l'on peut faire en physique et en mécanique. On ne méditera jamais assez cette phrase de Lord Kelvin : Il n'est de science que ce que l'on peut mesurer. Comme le montre cette notice, nous avons voulu créer un matériel d'enregistrement qui soit standard au sens où l'entend l'industrie moderne. Cette tentative dépasse largement les limites de l'aéronautique et celles du marché national.

L'avenir montrera si nous avons été trop audacieux d'entreprendre une telle tâche, mais nous avons la certitude d'être dans une voie féconde. »

<sup>18</sup> Cette notice de 1945 confirme la commande de 25 appareils dès 1940, mentionnée par ailleurs dans l'ouvrage de J.-C. Fayer .

## HISTOIRE

### OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »

Les remerciements exprimés dans ce texte rédigé par Paul Beaudouin s'adressent probablement à François Husenot. Il se termine sur un petit dessin dont on ne connaît pas l'auteur, un peu maladroit mais évoquant les rapports sympathiques entre les pilotes d'essais et les ingénieurs :



Fig. 7 : Au sol, le commentaire de la bande...

A gauche, l'enregistreur ; au centre, analyse entre pilote et ingénieur de la bande d'essai développée ; à droite, la règle à calcul dans la poche...

La coupe de l'enregistreur ci-dessous montre ses principales fonctions :

- enregistrement photographique, dans la partie droite, avec les deux bobines de film,
- oscillographes dans la partie gauche, dont les miroirs renvoient le faisceau lumineux vers le film, derrière la fente d'enregistrement,
- 13 « signaux » inscrivant les variations des différents paramètres, au centre, avec le trajet lumineux de leurs faisceaux envoyés vers la fente d'enregistrement,
- 2 capsules manographiques et un barographe, en haut,
- chronographe et son faisceau d'inscription de la base de temps, en bas.

Une poignée de commande permet au pilote de déclencher l'enregistrement à distance, l'enregistreur pouvant être placé à divers endroits dans l'avion.

Pour réaliser l'enregistreur Husenot-Beaudouin, qui est portable et dont les dimensions sont restreintes (34x18x21 cm), il a été nécessaire de concevoir un oscillographe électromagnétique de taille très réduite. L'oscillographe Dubois de 1930 mesurait 12 x 9 x 9 cm, le modèle de 1938 était réduit à 8 x 8 x 2,5 cm, l'oscillographe du HB de 1945 était encore plus petit, 5 x 2 x 1,5 cm, son miroir concave mesurait 2 mm de côté, et l'oscillographe 1951 de l'enregistreur ONERA-BEAUDOIN décrit plus loin était un petit cylindre de 25 mm de longueur par 15 mm de diamètre, son miroir de 90 mm de focale mesurant 1,5 mm de côté... .

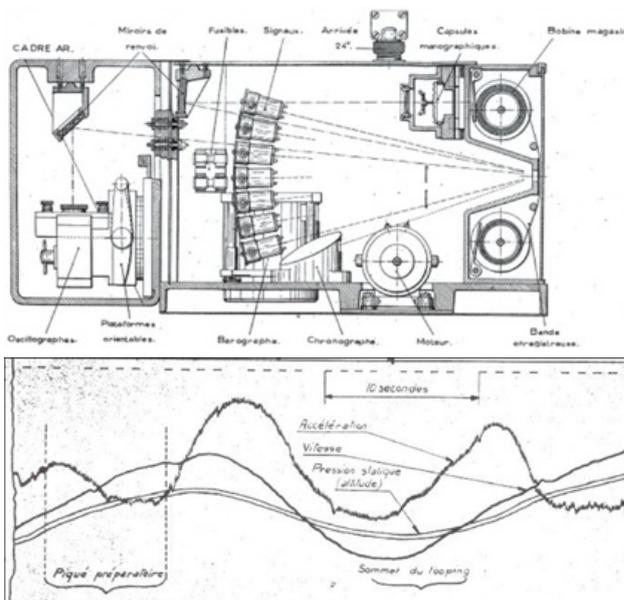


Fig. 8 Coupe de l'enregistreur Husenot-Beaudouin, modèle 1948 (environ), notice des Ets Beaudouin, et courbe d'enregistrement d'un looping, simplifiée.

Le HB a été en service pour les essais en vol français depuis 1944 - et même 1939 si l'on compte son prototype utilisé sur le Potez 567, et la présérie de 25 instruments construits en 1941-1943 - jusqu'après 1970 ; il semblerait que quelques enregistrements aient été réalisés encore dans les années 1995<sup>19</sup>. Dans les années d'après-guerre, qui ont connu un fort développement aéronautique, il a été exporté dans de nombreux pays pour les essais en vol. On notera par exemple qu'en Grande Bretagne, l'AAE de Boscomb Down imposa précocement cet enregistreur pour les essais officiels chez les principaux avionneurs (de Havilland, English Electric, Folland, Handley Page, Rolls Royce, Saunders, etc.) et vingt ans plus tard, en commanda encore soixante dix pour les essais du TSR-2<sup>20</sup>. On ne sait pas à combien d'exemplaires il a été produit.



Fig. 9 La gamme des Oscillographes: modèle 1938, modèle 1945, éclaté, modèle 1951.

<sup>19</sup> Selon des anciens des essais en vol dont M Bedei.

<sup>20</sup> J.-C. Fayer, « Vols d'essais » op. cit.

## OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »



Fig. 10 Enregistreur de vol Hussenot Beaudouin type A 11, ouvert ; vers 1960.

François Hussenot avait décidé de peindre l'appareil en orange pour le retrouver plus facilement en cas d'accident...et on l'appelait la « boîte noire » puisque son intérieur est nécessairement de cette couleur, étant un appareil d'enregistrement photographique. L'appareil a aussi donné son nom à la revue de l'EPNER, l'École des pilotes d'essais de Istres : « HB GV Top » : cette expression signifie que le pilote décide de passer l'enregistrement du « HB » en « grande vitesse » pour améliorer la précision de l'enregistrement, et qu'il va pour ce faire donner le « top » à l'expérimentateur <sup>21</sup>.

C'est d'abord les Etablissements Charles Beaudouin qui le construisent, dans les années 1945-1948, puis leur filiale Ateliers de Construction Beaudouin - ACB - . Le rapide développement de l'aéronautique apporte une activité importante, donc des besoins d'investissements plus industriels qui dépassent les moyens de l'entreprise et de la famille, ce qui conduit à la cession de ACB au groupe Schlumberger en 1960 qui poursuivra la construction des enregistreurs HB.

Au sein des milieux aéronautiques militaires et du CEV, les décisions de François Hussenot ont trouvé un écho favorable et engendré des réalisations remarquables, grâce à sa compétence et sa claire vision des objectifs nouveaux qu'il assignait aux essais en vol. C'est aussi grâce au savoir-faire de réalisateur et d'industriel de Paul Beaudouin que le HB a pu voir le jour, à une époque où bien peu d'entreprises pouvaient réunir les compétences scientifiques et l'expérience technique nécessaires à une telle réalisation.

#### L'enregistreur ONERA-Beaudouin.

En 1951, l'ONERA commande aux Ets. Ch. Beaudouin un « micro-enregistreur », belle mécanique équipé de 6 oscillographes miniaturisés mentionnés plus haut, et pouvant

enregistrer 10 paramètres, disposant de plusieurs vitesses d'enregistrement, capable de supporter une accélération de 20 g, et pesant 1,4 kg : il est très probablement destiné aux essais de la première série de la fusée Véronique, la petite grand-mère d'Ariane <sup>22</sup>.

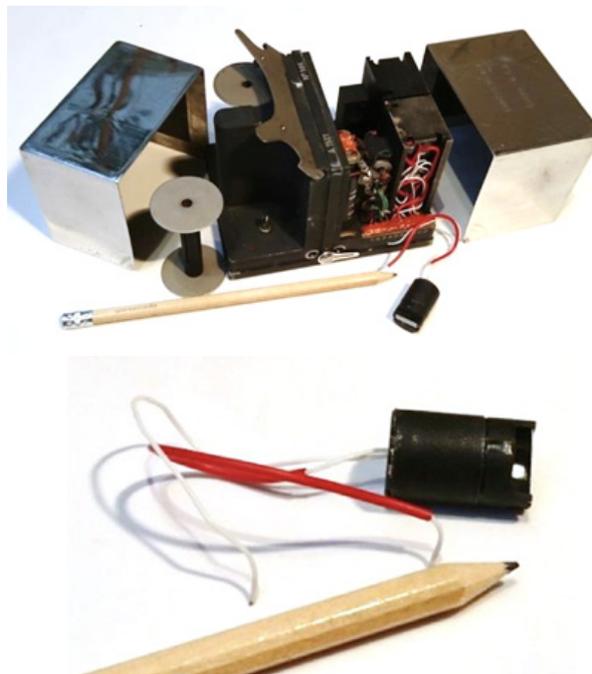


Fig. 11 L'enregistreur de vol A 15 ONERA-Beaudouin, 1951, et l'un de ses 6 oscillographes

Peu d'informations sont disponibles sur cet appareil. Les deux exemplaires connus ont été acquis à Grasse ainsi que plusieurs composants du même domaine; les archives du « Groupe Technique de Cannes », qui mit au point nombre des premières fusées françaises, apporteront certainement des précisions sur l'historique de cet appareil <sup>23</sup>.

#### LA DESCENDANCE DU HB : ENREGISTREURS SFIM, SCHLUMBERGER, SAGEM, SAFRAN...

En 1947 la SFIM, Société Française d'Instruments de Mesure, est créée par François Hussenot, Paul Beaudouin, Marcel Ramolfo-Garnier et plusieurs autres personnes, afin de doter l'aéronautique française d'une entreprise assez puissante pour mettre au point l'instrumentation moderne qu'appelle l'essor aérien, fortement soutenu par la volonté des pouvoirs publics de l'époque. Cette société, disposant de l'appui du CEV, brillamment dirigée et équipée d'excellentes machines de précision rapportées d'Allemagne, mettra au point un « enregistreur miniature », version réduite de l'enregistreur HB, qui connaîtra un succès durable. Ces appareils seront équipés

<sup>21</sup> J.-C. Fayer, « Vols d'essais » op. cit.

<sup>22</sup> Voir l'article de Gilbert Berard dans le Bulletin de l'Association des Anciens de l'EPNER, janvier 2001.

<sup>23</sup> Voir l'ouvrage de Philippe Jung: « Louis Marnay, pionnier du spatial européen », Commission Histoire 3AF, Septembre 2002 .

## HISTOIRE

### OSCILLOGRAPHES ET ENREGISTREURS : LA GENÈSE DES « BOÎTES NOIRES »

de l'oscillographe « miniaturisé » ACB modèle 1945, décrit figure 9, et aussi d'oscillographes SAGEM. Paul Beaudouin avait contribué au démarrage industriel et technologique de la SFIM, mais il s'est trouvé écarté de son développement par une augmentation de capital à laquelle il n'a pu souscrire.

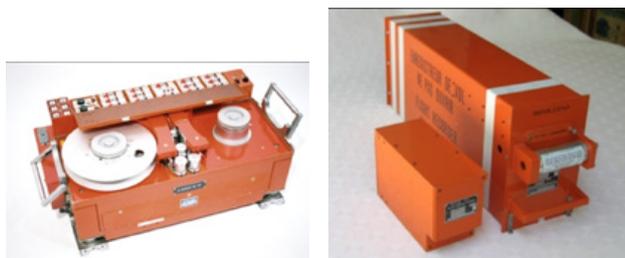


Fig. 12 Enregistreur de vol Schlumberger 1970 à bande magnétique comprenant deux voies d'enregistrement phonique, et « boîte noire » des années 2000 : enregistreur SFIM-SAGEM blindé, avec balise émettrice de repérage.

Le HB photographique a été supplanté par les enregistreurs magnétiques puis électroniques après 1970, alors que l'emploi de la « boîte noire » était élargi à tous les vols militaires, puis de l'aviation civile. La technique des oscillographes a profondément évolué...



Fig. 13 L'« Enregistreur Miniature » portable SFIM dans sa boîte, en version industrielle noire.

On aperçoit sous le capot entr'ouvert un oscillographe cylindrique ACB à gauche, et le film à droite.

En dessous version orange type « essais en vol ».

Schlumberger cessera la construction d'appareils d'enregistrement après les années 2000, et la SFIM deviendra la référence en matière d'enregistreur de vol, activité poursuivie après sa fusion avec la SAGEM devenue SAFRAN.

Aujourd'hui, bien peu d'appareils HB subsistent... Il s'en trouverait quelques-uns au Musée de l'hydraviation de Biscarosse. Au Musée « L'Aventure Michelin » on aperçoit, dans une Traction Citroën affectée aux essais sur la piste de l'usine près de Clermont Ferrand, un enregistreur HB occupant la place du passager, sans doute destiné à l'enregistrement des « paramètres de route ».

Et l'on peut encore voir, dans la carlingue du prototype Concorde N° 2 au Bourget, les deux enregistreurs mis en place pour les essais en vol, sans doute un de leurs derniers emplois...

Denis Beaudouin ■

Cet article repose sur diverses archives, principalement des familles Gondet et Beaudouin, ainsi que sur plusieurs publications très intéressantes de Jean-Claude Fayer et de l'EPNER. Il reste certainement incomplet du fait de la difficulté d'accès aux archives du STAé et du CEMA, pour partie détruites entre 1940 et 1945.

Au début des années 60, les enregistreurs Beaudouin étaient utilisés dans les souffleries hypersoniques de l'ONERA où les temps d'essai très brefs (parfois inférieurs à la seconde) interdisaient tout autre moyen d'acquisition des mesures (pression et température principalement). Les élongations des signaux optiques (transmis par les galvanomètres crayons), traduisant la réponse des capteurs, étaient mesurées avec un double décimètre sur le papier photo enregistreur, d'où par étalonnage la valeur physique de la grandeur mesurée.

Jean Délerly



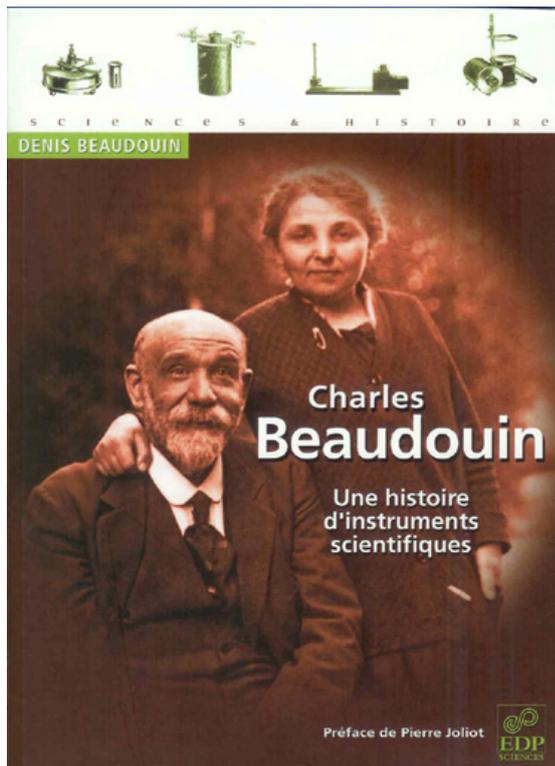
Denis Beaudouin et Jean Délerly dans le petit musée privé de la Maison Beaudouin rue Lhomond. photo prise par Bruno Chanetz le 27 février 2020

# CHARLES BEAUDOUIN, UNE HISTOIRE D'INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES

## PAR DENIS BEAUDOUIN

### EDP sciences Paris 5e

par Bruno Chanetz, rédacteur en chef



Cet ouvrage raconte l'histoire de Charles Beaudouin, constructeur d'instruments scientifiques. À travers ce parcours singulier, riche en découvertes, développements et rebondissements aussi bien scientifiques que financiers, c'est tout le symbole d'une aventure française du XXe siècle qu'aborde ce livre.

Les faits de cette histoire, analysés et transportés aux repères chronologiques essentiels permettent de suivre l'évolution d'une entreprise artisanale à ses débuts avant 1914, qui tentera l'aventure industrielle dans les années soixante. Cette entreprise familiale modeste, dont la vocation fut la conception et la réalisation d'instruments scientifiques élaborés en étroite liaison avec la recherche, ne put résister aux pressions de l'évolution technologique, ainsi qu'à celles de la concentration européenne et mondiale.

L'évolution des familles d'instruments tient une grande part, tant cette filiation instrumentale suit une histoire propre, en durée, en vitesse d'évolution ou en intensité, déterminée par le rythme du progrès scientifique. L'entreprise, créée par Charles Beaudouin, puis dirigée par son

neveu Paul Beaudouin, travaillera principalement dans les domaines de l'optique, la spectrographie, la radioactivité, le vide, la TSF, l'oscillographie, la cristallographie, la biologie et le magnétisme.

Ce livre brosse également une brève histoire des constructeurs d'instruments scientifiques situés sur la montagne Sainte-Geneviève à Paris. ■



Vue du petit musée privé de la Maison Beaudouin rue Lhomond. photo prise par Bruno Chanetz le 27 février 2020



[www.3af.fr](http://www.3af.fr)

# Les Conférences du Groupe Ile-de-France

**LES MARDIS DE L'AÉRONAUTIQUE ET DU SPATIAL**  
RECHERCHE, CONCEPTION, FABRICATION, PROJETS, ÉTUDES, ESSAIS...

Association Aéronautique et Astronautique de France

## BALLONS DIRIGEABLES

Par **Philippe Tixier**, ex-FRAMATOME et Giat-Industries, président de Dirisolar, de l'Association Centre Européen des Ballons et Dirigeables.

**Une conférence en visiophonie organisée par le Groupe Ile-de-France de la 3AF en partenariat avec la Mairie du 15ème**

**MARDI 21 SEPTEMBRE 2021 de 18h30 à 20h**

Les avancées technologiques depuis 2001 permettent d'espérer enfin le **déblocage du marché des** dirigeables utilisables par le grand public. En particulier la modélisation numérique totale, les architectures permettant le « **tout temps** », et l'appel à l'**énergie solaire**. Philippe Tixier fera le point et vous présentera un aérostat électrique accueillant jusqu'à 20 passagers.

**INSCRIPTION OBLIGATOIRE** sur le site 3AF

<https://www.3af.fr/agenda/ballons-dirigeables-2138>

Suite à la **crise sanitaire de la Covid-19**, les conférences du groupe 3AF Ile-de-France sont exclusivement proposées en visiophonie via **le service de téléconférence ZOOM**. Il est recommandé de charger préalablement l'environnement sur votre PC ou votre téléphone en cliquant [ICI](#).



© Zeppelin-Reederei GMBH



© par Ludovic Borde - DIRISOLAR

**Accès gratuit sur inscription, membres et non membres 3AF**

**Voir le site 3AF à l'adresse : <https://www.3af.fr/manifestation/conference>**

### PROCHAINES CONFÉRENCES 3AF ILE-DE-FRANCE

**eVTOL et autres taxis aériens**, par Claude Le Tallec, ex-ONERA, mardi **16 novembre**, 18h30/20h.

**Fédération RSA : l'aviation populaire toujours vivante**, par Dominique Simon, Président, mardi **14 décembre**, 18h30/20h.

3AF - ASSOCIATION AÉRONAUTIQUE ET ASTRONAUTIQUE DE FRANCE, 6 RUE GALILÉE, 75116 PARIS - GROUPE 3AF ILE-DE-FRANCE

<https://www.3af.fr/> - <https://www.3af.fr/groupe/ile-de-france-8>



Association Aéronautique  
Astronautique de France

6, rue Galilée - Paris  
Tél. : 01 56 64 12 30  
Email : [3af.idf@gmail.fr](mailto:3af.idf@gmail.fr)

**[www.3af.fr/groupe-regional/idf](http://www.3af.fr/groupe-regional/idf)**

