

# Le Stroborama

- cet instrument fut à l'origine de progrès considérables dans les moteurs d'aviation -



*Laurent Seguin présente en mai 1925 à la Sorbonne son « Stroborama » avec lequel il effectue des démonstrations.*

Il est rare qu'on parle des instruments ayant servi à la découverte d'un phénomène physique et à la mise au point d'une technique nouvelle. Leur histoire est plutôt à ranger du côté des secrets industriels. Celle du Stroborama est incroyable et exemplaire. D'une part, le créateur de cet instrument n'est autre que Laurent Seguin, l'inventeur du moteur rotatif Gnome, un expert des moteurs à pistons rotatifs. D'autre part, son premier utilisateur est le laboratoire des moteurs à huile lourde des Services techniques aéronautiques situés à cette époque à Paris, porte d'Issy, au sein du futur ministère de l'Air. L'instrument a servi à la création des moteurs Diesels d'aviation français.

par Gérard Hartmann

## Voir à l'intérieur des moteurs

Les moteurs nés après la première guerre mondiale, entre 1922 et 1925, doivent satisfaire en matière d'aviation des besoins nouveaux. Les vols sont de plus en plus longs, par conséquent la consommation d'essence doit être réduite. Des moteurs de plus en plus puissants et endurants sont recherchés. Les gros V8 disparaissent derrière des carters, sont équipés de pots d'échappements, d'un tachymètre, de thermomètres de températures d'huile et d'eau, de détecteurs d'incendie, d'un démarreur. Les mécaniques qui dégoulinent leur essence et huile ne sont plus tolérés par l'aviation civile. Les utilisateurs demandent à leurs motoristes des mécaniques fiables et dont le rendement thermique est élevé.



Papier commercial à entête de la Société Clerget-Blin et Cie, 1920. L'impôt de guerre a ruiné la société. Eugène Blin, l'associé de Clerget, a mis fin à ses jours. (Archives Clerget).

Tous les motoristes des pays développés s'attaquent au problème. La multiplication des cylindres fournit la puissance requise mais engendre des mécaniques fragiles. Les V12 développent environ 400-450 ch, une puissance confortable, et on peut utiliser des réducteurs donc augmenter encore le régime, cependant les essais au banc ont montré qu'il était impossible d'augmenter leur taux de compression au delà de 5 à 1 sous peine de casse mécanique. Des travaux sont engagés sur les hydrocarbures dont on commence à percer la teneur, les fameux indices d'octane et de cétones. Sur les bancs d'essais, on travaille en aveugle. Ah, si l'on pouvait voir ce qui se passe à l'intérieur des cylindres !

Après la résiliation des marchés de guerre, les grèves ouvrières de 1919, l'impôt de guerre voté en 1920 frappant les industries aéronautiques françaises, une année 1921 pourrie par l'absence de commandes avec un lourd arriéré de factures non payées, une terrible baisse du franc, une forte dépréciation du prix des marchandises, après avoir été obligé de revendre à perte les marchés compensatoires d'Etat passés pour éviter des licenciements massifs en 1919 et 1920, la Société des Moteurs Gnome & Rhône est pratiquement

acculée à la faillite. Le paiement de ses fournisseurs est suspendu, de même que le versement des salaires des ouvriers. Les pertes de la société s'élèvent à près de trente millions de francs. En avril 1922, l'industriel parisien est engagé dans plus de cinquante procès. Le plus grand industriel français de l'aviation est en passe de disparaître.



Les lubrifiants et les carburants, en 1921, sont devenus des produits stratégiques. La France dépend entièrement des Etats-Unis et de la Grande-Bretagne pour ses approvisionnements. Publicité de Georges Hamel (Geo Ham), 1921.

Laurent, Augustin et Amédée Seguin, anciens administrateurs, devenus riches par les dividendes versés par la société durant les années de guerre et par l'argent des licences qui leur était dû et qui leur a été versé après guerre, sont dénoncés par la presse qui les accuse d'avoir prélevé et dissimulé 11,3 millions de franc du capital de la société de 1911 à 1919. Hués par les employés et les ouvriers qui attendent leur salaire, en juin 1923 les anciens administrateurs René Luquet de saint-Germain, directeur de l'usine de Gennevilliers, Louis Javey, président du conseil d'administration, Edouard Martin, ancien associé de Louis Verdet (Moteurs Le Rhône) et Laurent et Amédée Seguin sont débarqués de la Société des Moteurs Gnome et Rhône<sup>1</sup>.

Le créateur du premier moteur d'aviation rotatif traverse cet épisode non sans une vive douleur à l'âme<sup>2</sup>. Mais à 40 ans, Laurent Seguin compte bien ne pas vivre de ses rentes. Pour certains ingénieurs, stimulés par les difficultés techniques, ce qui n'a jamais été fait est intéressant, et ce qui est franchement impossible devient vite

1. Source : comptes rendus des assemblées générales 1922, 1923 et 1924, archives Snecma.
2. Lire dans la même collection Le Moteur Omega.

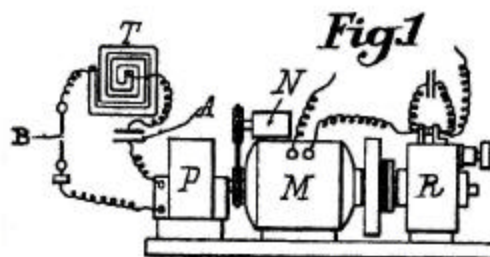
une priorité. L'ingénieur français est de ceux qui utilisent le travail comme un remède. Le chercheur qu'il a toujours été veut s'atteler aux questions fondamentales, à la réalisation du moteur à réaction proposé par René Lorin en 1913, mais sans laboratoire de recherche et sans moyens financiers, c'est impossible. C'est pourquoi en premier lieu il décide de s'attaquer à la fabrication d'un instrument lui permettant de « voir à l'intérieur des moteurs ».

## Le Stroborama, description

Laurent Seguin et son frère Augustin développent un instrument qui permet de photographier à haute vitesse les explosions qui se produisent dans un monocylindre spécialement modifié tournant au banc. La modification consiste à percer un orifice d'environ un pouce de diamètre (25 mm) dans la paroi du cylindre au niveau de la chambre d'explosion, de l'obturer par un carreau de verre optique de grande épaisseur et d'y apposer un matériel de mesure. Ce dernier se présente comme ci-dessous.

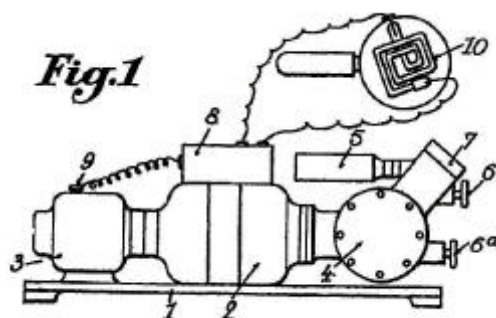
Date	Brevet	Titre
10/01/23	AT90708B	Compteur
16/03/25	CH109148	Indicateur de vitesse
02/01/29	CH113192	Dispositif d'éclairage au flash
01/02/27	CH118738	Dispositif d'éclairage au flash
02/05/21	CH89265	Appareil à mesurer la vitesse de bolides
01/05/23	CH98953	Appareil de mesure des vitesses de mobiles
10/06/22	DE354601	Appareil de mesure de vitesse
09/10/22	DE360999	Appareil d'éclairage
04/11/22	DE363138	Appareil de mesure
15/02/22	DE365468	Appareil de mesure de vitesse
16/07/24	DE399081	Appareil électrique
08/09/24	DE401646	Appareil stroboscopique
22/12/24	DE407320	Appareil de mesure
23/04/25	DE412372	Appareil électrique
03/06/25	DE414448	Appareil de mesure
23/01/26	DE424292	Appareil de mesure
27/01/26	DE424644	Appareil de mesure
04/05/28	DE459373	Appareil de mesure
29/10/30	DE511424	Indicateur de vitesse
19/05/21	GB155791	Amélioration appareil mesure des vitesses
16/03/22	GB170833	Amélioration appareil de mesure
01/06/22	GB172631	Appareil de mesure des vitesses
20/04/22	GB173756	Appareil de mesure des vitesses de rotation
17/08/22	GB184289	Améliorations appareils de mesure
12/11/23	GB184796	Appareil de mesure des vitesses
23/06/24	GB195954	Appareil de mesures des vitesses/fréquences
27/11/24	GB217204	Améliorations des tachymètres
25/06/25	GB228117	Améliorations des tachymètres
09/06/27	GB253101	Tubes à décharges électriques
09/06/27	GB259963	Tubes à décharges électriques
13/10/27	GB272515	Indicateur de vitesse stroboscopique
30/08/28	GB279071	Amélioration des stroboscopes
06/12/28	GB291466	Améliorations des régulateurs automatiques
02/01/38	GB301505	Coupleurs électriques
16/01/30	GB306941	Amélioration refroidissement cylindres
27/02/30	GB306942	Amélioration de la combustion des moteurs
27/08/30	GB334191	Améliorations des contrôleurs

Brevets internationaux déposés par Laurent et Augustin Seguin entre 1919 et 1939, en dehors de 62 brevets français. (Source : Office européen des brevets).



Tous les instruments brevetés par Laurent et Augustin Seguin à base du stroboscope comprennent les mêmes éléments, un banal moteur électrique (M), une dynamo (P) et un dispositif optique (R), et ici dans ce brevet 291 466 un tube au néon (T).

L'appareil de mesure comprend une dynamo, un petit moteur électrique mettant en rotation un disque opaque muni d'un orifice et dont la vitesse de rotation est variable et réglée automatiquement par un dispositif spécial offrant dix à vingt-cinq images par seconde. Rappelons qu'à ce rythme, par suite du phénomène de persistance de l'image sur la rétine l'œil humain ne voit plus d'images fixes. Grâce à un asservissement particulièrement astucieux entre les différents modules de commande, le Stroborama permet d'isoler (et de voir) une image sur 500, le phénomène observé durant de 1/2 à vingt millisecondes, c'est-à-dire un phénomène qui ne dure en réalité qu'un millionième de seconde (microseconde) !

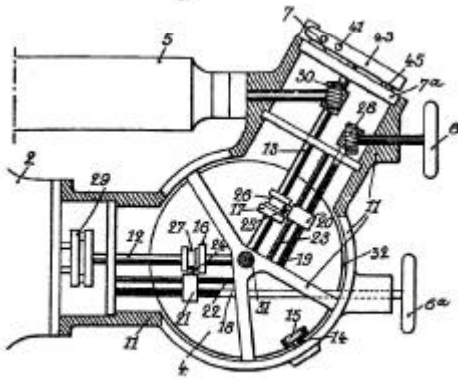


Appareil Seguin provoquant des éclairs avec un néon, 1925.

Baptisé **Stroborama** ce stroboscope à commande réglée et programmable, permet à un opérateur du banc d'essais de pouvoir observer l'intérieur du cylindre pendant la marche du moteur et de prendre des photographies au moyen

d'un appareil photographique ordinaire.

*Fig. 2*

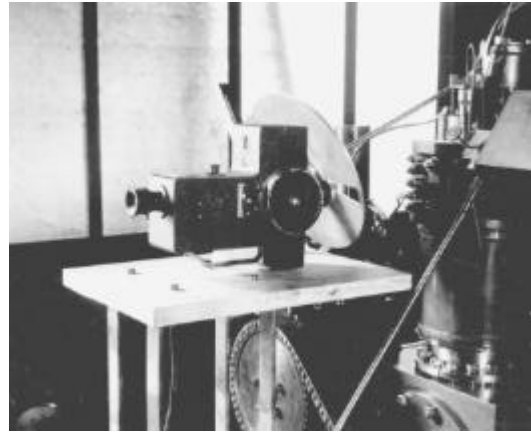


Appareil Seguin, dispositif optique et ses organes de commande.

Par trois mesures instantanées, la vitesse de rotation du moteur affichée au tachymètre, l'observation des explosions au stroboscope et celle des gaz d'échappement, il est possible de valider la qualité de la combustion de différents mélanges ou bien les réglages du carburateur, des pompes, des injecteurs, etc.

## Utilisation par le STAé

Laurent et Augustin Seguin déposent de nombreux brevets pour leur stroboscope dont ils déclinent plusieurs applications. Au total 62 brevets sont déposés en France, et autant en Grande-Bretagne, Allemagne, Suisse et Etats-Unis (page 3).



Première analyse spectrale d'une combustion au STAé, 1923.

Un Stroborama est monté et utilisé par le laboratoire « huile lourde » du STAé installé dans l'enceinte du ministère de l'Air porte d'Issy à Paris, laboratoire créé en 1921. Entre 1922 et 1931, ce laboratoire est pratiquement le seul en France à utiliser un tel équipement<sup>3</sup>. Le Stroborama permet à l'équipe des ingénieurs l'étude et la réalisation de moteurs Diesel expérimentaux (monocylindres) brûlant du gasoil, en particulier de tester des injecteurs de types différents et de régler la combustion explosive en remplissant le cylindre de produits chimiques divers.

NOTE.—The application for a Patent has become void.  
This print shows the Specification as it becomes open to public inspection.

**PATENT SPECIFICATION**  
 Concession Date (France): Oct. 18, 1926. **291.466**  
 Application Date (in United Kingdom): Oct. 5, 1927. No. 16,768 / 28.  
 (Divided out of No. 279,071.)  
 Complete not Accepted.

**COMPLETE SPECIFICATION.**  
**Improvements in Automatic Speed Regulators.**

We, LAURENT SEGUIN and AUGUSTIN SEGUIN, respectively of 4, Avenue du Docteur Bouchard, and 25, rue Franklin, Paris, France, Citizens of the French Republic, do hereby declare the nature of this invention and in what manner the same is to be performed, to be particularly described and ascertained in and by the following statement:—

The present invention relates to an automatic speed regulator adapted to bring the speed of a motor to a selected value and to maintain said speed constant. The invention more specifically relates to centrifugal regulators which are associated with an electric switch mounted on the circuit of an electric motor.

The invention has for its object to provide an automatic speed regulator which will be very responsive and will operate rapidly, which will be of a compact construction, which may be readily adjusted and will maintain very accurately the speed for which it has been adjusted.

The speed regulator according to the invention comprises a fly-wheel or like rotary member having apertures opening at the periphery thereof, balls located in said apertures and freely movable therein, a disc or similar member movable axially and engaging said balls, said disc being adapted to actuate an electric switch, a spring counteracting the centrifugal force for urging said disc or the like to its idle position, and means for adjusting the elastic force of said spring.

The invention will be set forth in the following description, with reference to the appended drawing, which shows, by way of example, a stroboscopic speed indicator embodying an automatic speed regulator in accordance with the invention.

Fig. 1 shows in diagrammatical elevation a stroboscopic speed indicator fitted with our improved speed regulator.

Fig. 2 is an elevational view on a larger scale, with parts broken away, showing the motor and the speed regulator, the magnets and speed indicator being omitted.

Figs. 3 and 4 are diagrammatic views showing two circuits comprising contacts which are controlled by the speed regulator.

In the embodiment illustrated in the drawing, it is assumed that our improved speed regulator is associated with a stroboscopic speed indicator of the type described in our corresponding specification No. 24,360/27, (279,071), this stroboscopic speed indicator consisting of an electric motor M of the universal type, our adjustable speed regulator R for controlling the speed of said motor, a magnet P coupled with and driven by the motor, a neon tube T connected with the secondary circuit of said magnet and a speed indicator N of any known type, adapted to indicate the speed of said motor. The intermittent current generated by magnet P produces periodic discharges in the neon tube T, and hence flashes of light. By the adjustment of the speed regulator R, the flashes are produced at a definite and constant rate which may be brought in synchronism with the speed of the moving object under observation and which is lighted intermittently by said flashes. The object is thus revealed to the human eye as if it were stationary, and, when such stroboscopic appearance is attained, the speed is read on speed indicator N, thus giving the speed of the moving object.

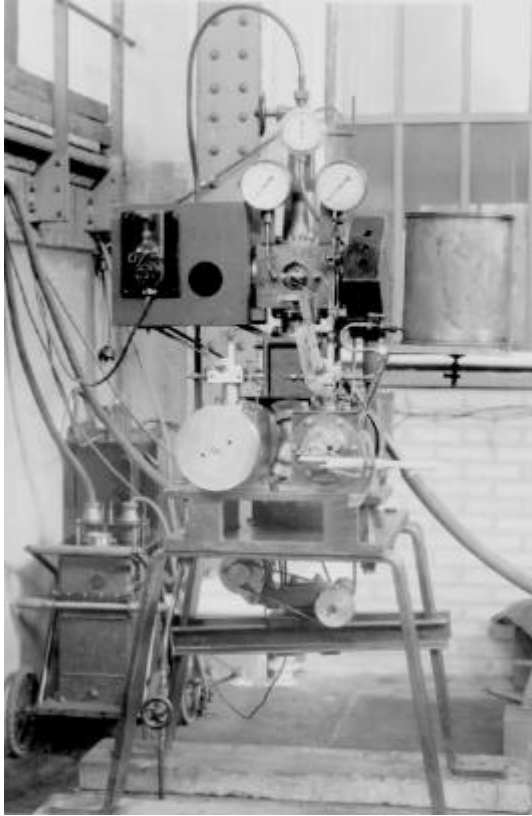
Referring to Fig. 2, the electric motor M, which is coupled with magnet P (Fig. 1) provided with a flywheel V, is associated with a regulator R by means of a coupling G. The said regulator comprises a shaft 1 mounted in the bearings of a frame 2 which is shown with parts broken away in the figure. On the shaft 1 is mounted a disc or flywheel 3—shown in section—provided with inclined recesses 4, equally spaced apart, each recess containing a ball freely movable therein. A dial



Photographie d'une injection, prise au Stroborama au STAé en 1923. (Archives STAé).

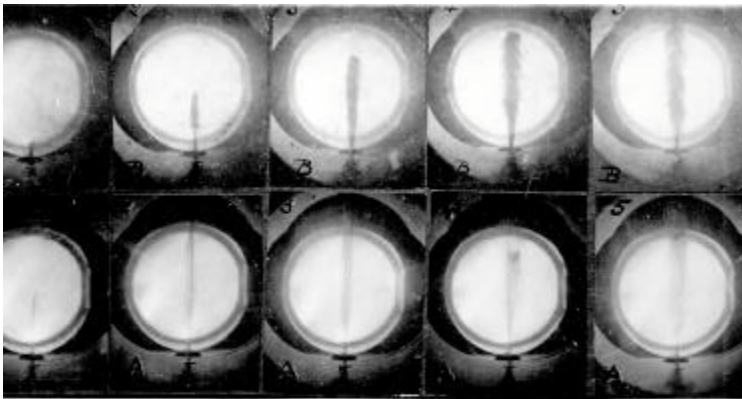
Brevet du Stroborama déposé par L. et A. Seguin le 5 octobre 1927 à Londres. (Office européen des brevets).

3. Source : Conférence donnée par Pierre Clerget le 22 février 1933 à la Société française de navigation aérienne, archives Clerget.



La chambre d'injection avec « Stroborama » utilisée au STAé jusqu'en 1931 pour les essais de combustion. (Archives STAé).

Le carnet de notes personnel de Clerget montre qu'il a étudié scientifiquement dès le départ toutes les solutions françaises, allemandes, britanniques et américaines en matière de pompes et d'injecteurs déposées depuis ... 1895 ! Durant quatre années, de 1922 à 1925 il va les expérimenter une à une, éliminant les mauvaises solutions.



Photographies instantanées au millionième de seconde des différentes phases d'injection d'un moteur à haute vitesse, obtenues avec le « Stroborama ».

1, 2, 3, 4, 5 : Injection dans de l'air à la pression atmosphérique

6, 7, 8, 9, 10 : Injection dans de l'air à la pression de 30 milloqs

(même débit de la pompe dans les deux cas)

Photographies d'injections prises au millionième de seconde au Stroborama montrant le résultat de la combustion après injection doubles de gasoil et de produits chimiques. (Archives STAé).

Dès 1922, tourne sur un banc d'essais un moteur diesel monocylindre expérimental. Ce moteur permet l'étude de la combustion par injection et la pulvérisation du gasoil, grâce à divers types d'injecteurs avec une pompe d'injection originale d'une grande simplicité, plus facile à construire que la pompe Bosch, et qui a la particularité d'augmenter l'avance à l'injection lorsque l'on augmente le débit de gasoil, donc la vitesse de rotation du moteur. Cet injecteur et cette pompe d'injection sont déjà deux remarquables résultats.

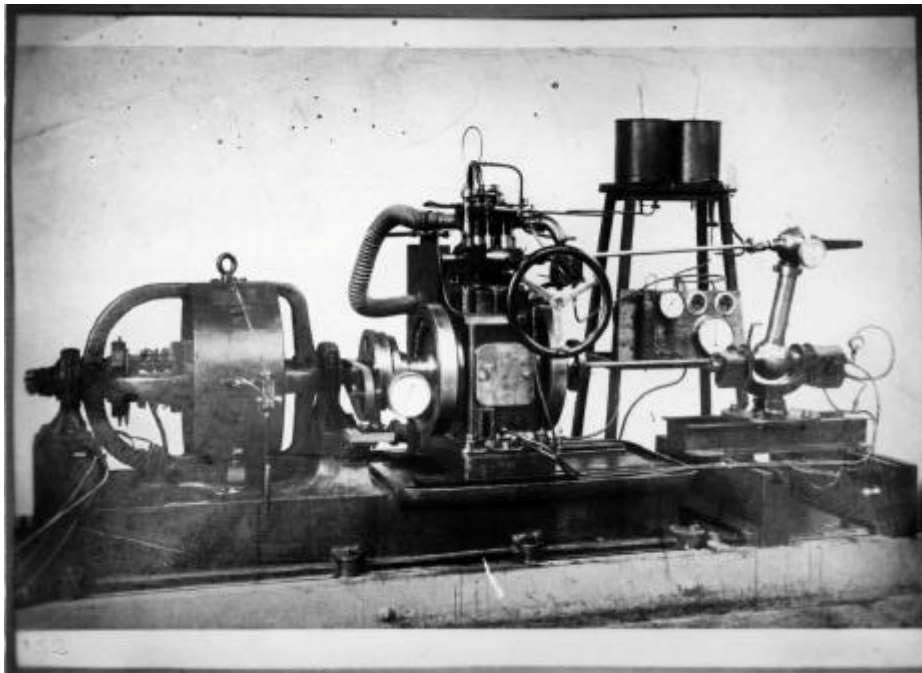


Le premier monocylindre d'étude des phénomènes de combustion réalisé en 1922, un deux temps à compression variable pendant la marche, sert à évaluer les carburants. Ce moteur expérimental (120 mm d'alésage et 180 mm de course) accepte des taux de compression entre 4 et 14 et peut fonctionner avec carburateur ou par injection. Cette base permet de tester différentes pompes et injecteurs. A chaque fois, le Stroborama donne son verdict.

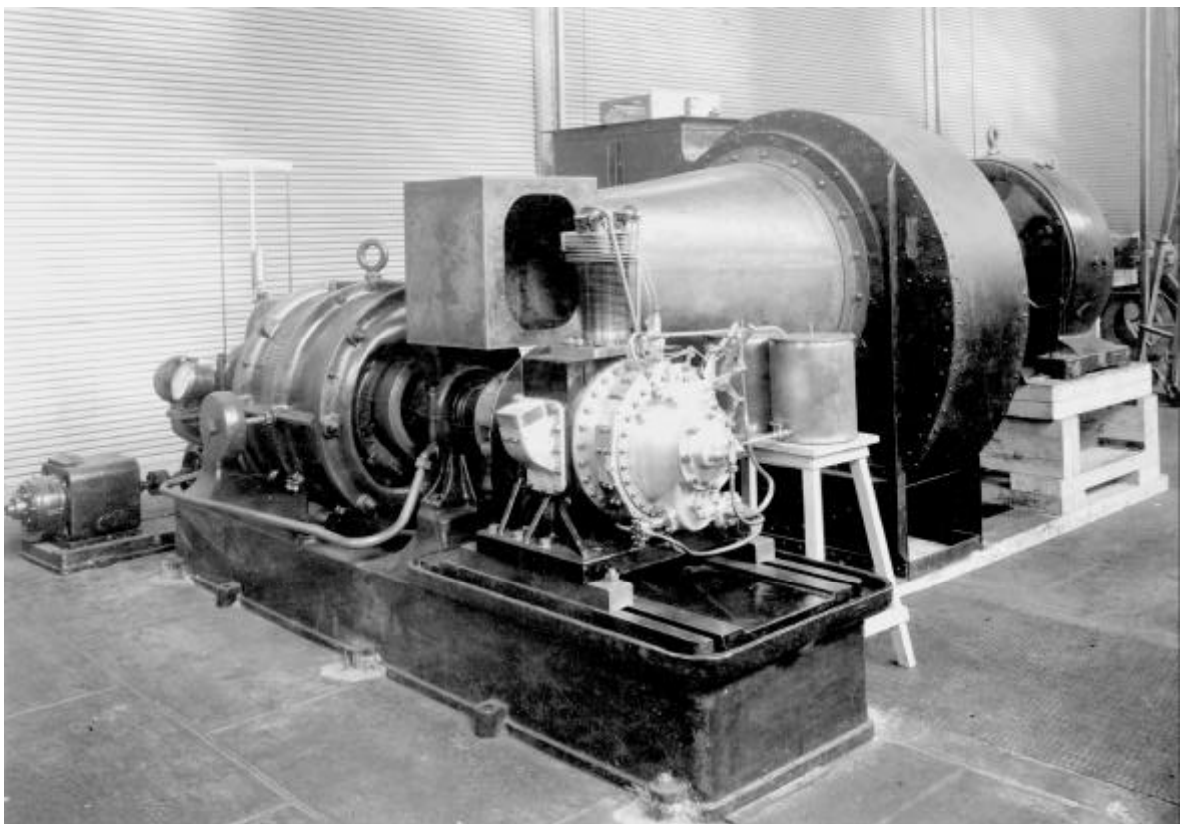
Ayant découvert un brevet des frères Niepce datant de 1805 sur un phénomène appelé « Pyrélaphore » où éclair artificiel, un appareil brûlant de la poudre de lycopode<sup>4</sup> et un second brûlant du poussier de lycopode – un résidu industriel inutilisé – lequel permit de propulser un bateau sur la Saône, Le STAé reproduit ces expériences avec un petit moteur. Auguste Rateau, l'inventeur du turbocompresseur, présente le moteur à poudre de lycopode à l'Académie des sciences en 1923. S'ensuivent différentes conférences à Mâcon, Chalon-sur-Saône, Rouen.

Entre-temps, pour ne pas perdre la main en matière de moteur d'aviation à essence, Pierre Clerget réalise en 1923 un petit moteur à deux cylindres horizontaux, « Flat-twin », de 100 mm de course et 85 mm d'alésage (donc pour une cylindrée de 1134 cm<sup>3</sup>) délivrant 15 ch à 1600 t/mn soit une puissance utilisable de 12 ch compte tenu du freinage de l'hélice. Formé de deux pièces, le carter est en alpacas, une technologie toute nouvelle ; les pistons sont également en alliage d'aluminium.

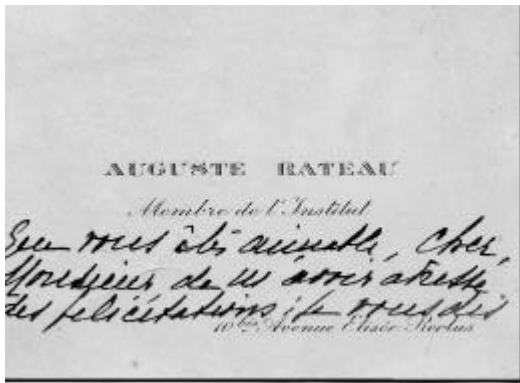
4. Plante herbacée commune, le lycopode appelé plus communément pied de loup produit des spores qui sont hautement inflammables. Depuis Napoléon 1<sup>er</sup>, les artificiers français la cultivent dans le but d'une utilisation pyrotechnique.



*Banc d'essais des injecteurs au STAé, 1923, sur le moteur à compression variable. (Archives STAé).*



*Premier banc soufflant du STAé, vers 1926. (Archives STAé).*



Carte adressée par A. Rateau à P. Clerget, qui le félicitait pour ses communications à la Sorbonne en 1923.

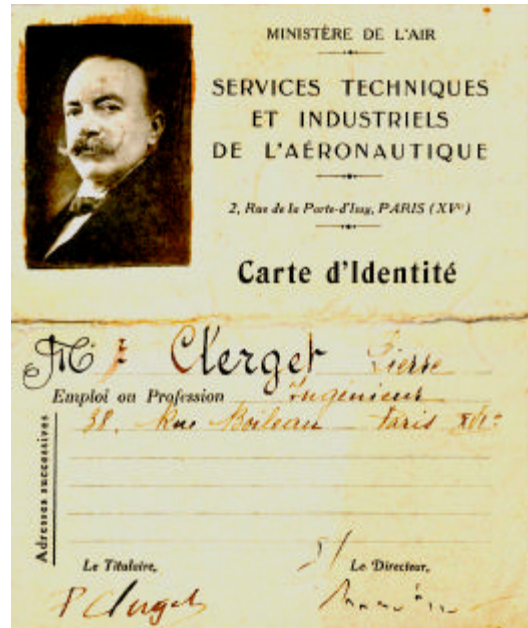
En 1924, la STAé procède inlassablement sur ses bancs d'essais à huile lourde à des essais de carburants, d'injecteurs et de pompes. Le premier en France, ce laboratoire établit les qualités chimiques de combustion du gasoil. Ensuite, sont conçus et réalisés différents pulvérisateurs [transformant le liquide en émulsion air-carburant], plusieurs injecteurs [à air comprimé, chargés d'introduire le mélange dans les cylindres] et pompes d'injection [alimentant les injecteurs]. Vérifiant à chaque configuration matérielle leur rendement sur le monocylindre à compression variable et la qualité de la combustion, les ingénieurs, à chaque nouvel essai, prennent soin d'observer la combustion au Stroborama, de noter la couleur des gaz d'échappement et d'analyser les résidus dans le cylindre après son démontage.



Rotules d'un tube d'injection Clerget, STAé. (Archives Clerget).

En 1924, l'équipe du laboratoire « huile lourde » du STAé réalise un second banc d'essais où tourne un monocylindre (140 mm d'alésage et 180 mm de course) toujours à huile lourde, deux temps, avec pompe de balayage. Évaluée officiellement au banc en 1925, la puissance de ce monocylindre est de 75 ch à 2 000 tr/mn.

L'équipe du STAé réalise en 1925 un moteur complet, toujours expérimental, un V8 deux temps prévu pour développer 300 ch, puis un quatre temps développant 500 ch, toujours alimenté par de l'huile lourde (gasoil). Exposé au Salon de l'aviation à la fin de l'année 1925, le 500 ch fait l'admiration des amateurs de belle mécanique. Trop lourd pour un usage aéronautique, le moteur pèse 750 kg à vide.



Carte d'entrée de Clerget au STAé, 1927. (Archives Clerget).

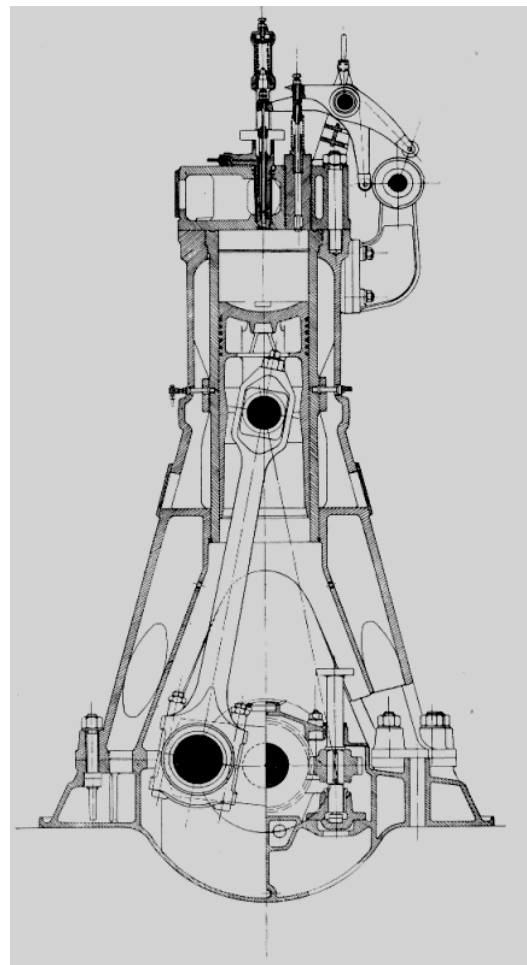
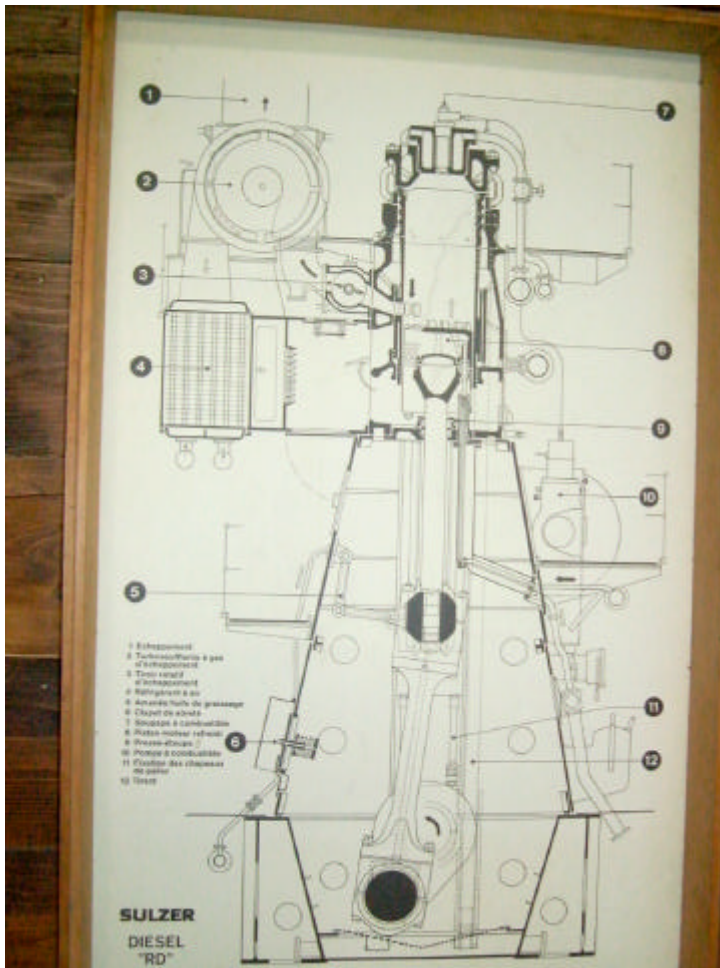


Schéma technique du moteur expérimental à injection de 1924 développant 75 ch. (Archives STAé).



Moteur Diesel marin suisse Sulzer (1930), visiblement inspiré par les travaux du STAé. (Musée maritime de Rouen).

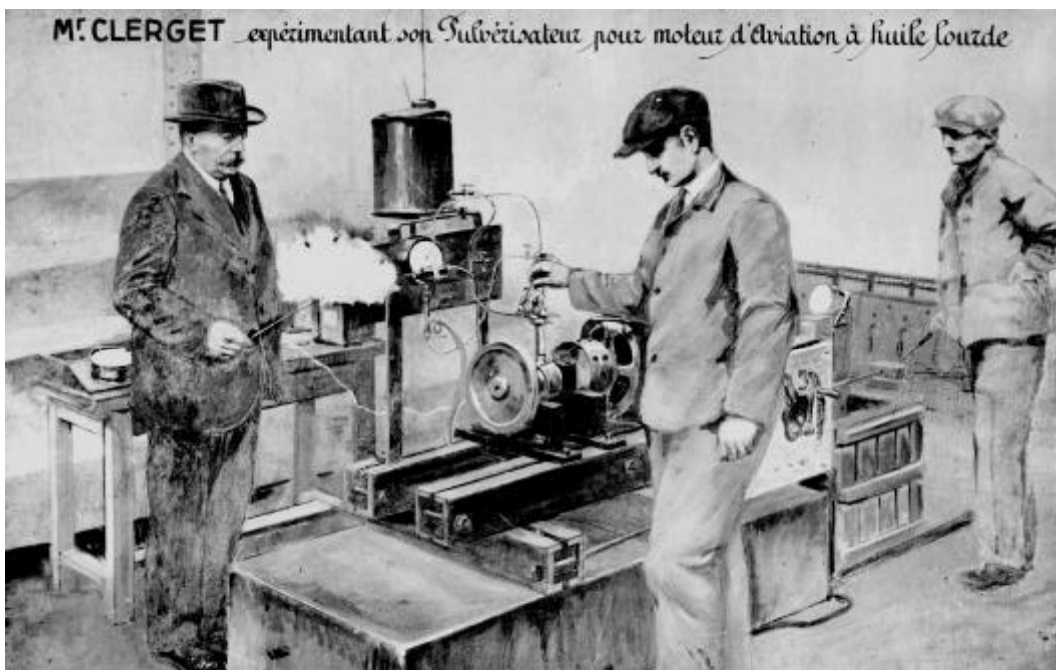
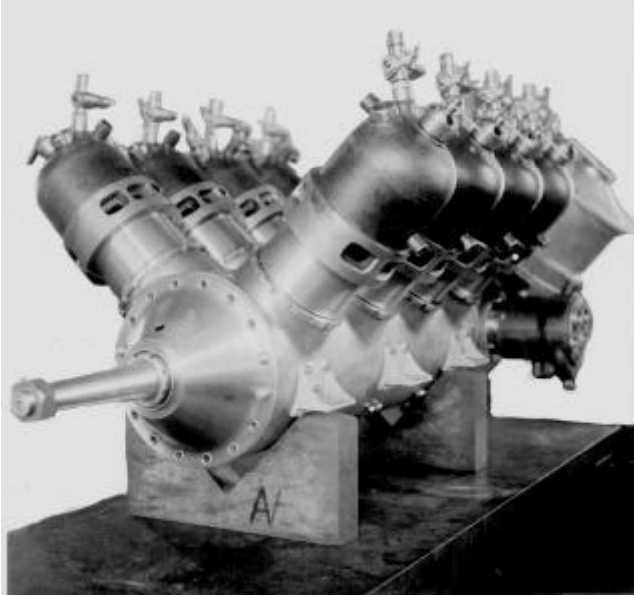
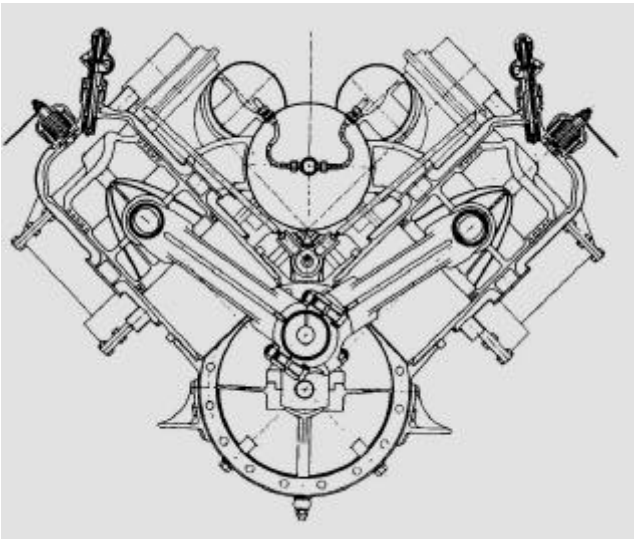


Tableau offert au patron par les membres de son équipe en 1938 lors de son départ du STAé. (Archives Clerget).





Moteur 180 2T/4T de 300/500 ch à huile lourde, destiné à l'aviation. (Collection Clerget).



Le très beau moteur Clerget Diesel V8 deux temps de 300 ch (1925). (Musée de l'Air).

En 1926, le groupe « huile lourde » du STAé développe pour le ministère de la marine un surprenant moteur de torpille brûlant carburant et comburant, comme sur les fusées allemandes dix ans plus tard, puis il présente un petit V8 diesel expérimental à quatre temps pesant moins de 100 kg qui développe 60 ch. Sur ce moteur, grâce au Stroborama, on étudie les jets d'injection et la qualité des gaz d'échappement.

Effectués sur plusieurs monocylindres expérimentaux, ces essais vont durer des mois.

Le Stroborama a appris aux ingénieurs une très grande quantité de choses :

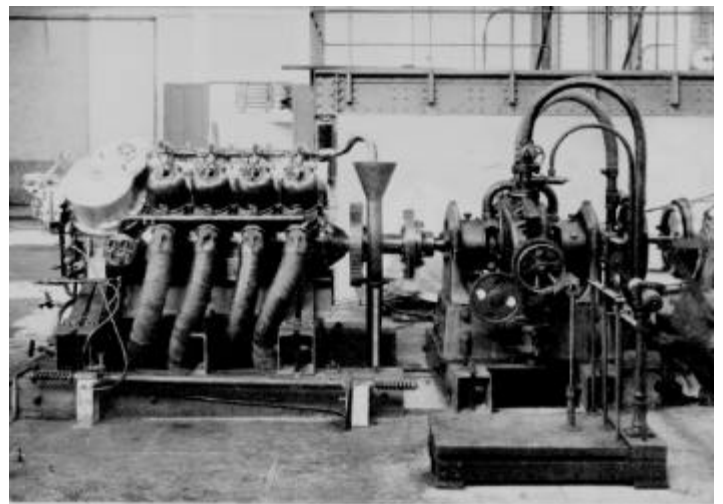
- ✂ voir le flux de carburant pénétrer dans la chambre de combustion et comprendre comment obtenir le meilleur remplissage de celle-ci ;
- ✂ observer les jets et choisir le meilleur type d'injection (crépines et aiguilles) ce qui dé-

termine autour de l'aiguille un sillon hélicoïdal ;

- ✂ comprendre et valider par l'observation qu'il faut ralentir la combustion pendant vingt à trente millisecondes, ce qui donne la puissance à la détente ;
- ✂ vérifier expérimentalement l'idée de Rudolf Diesel qu'il est bon d'introduire graduellement le combustible pendant la détente, comme sur les moteurs de poids lourds actuels (maintenant grâce à l'injection électronique).



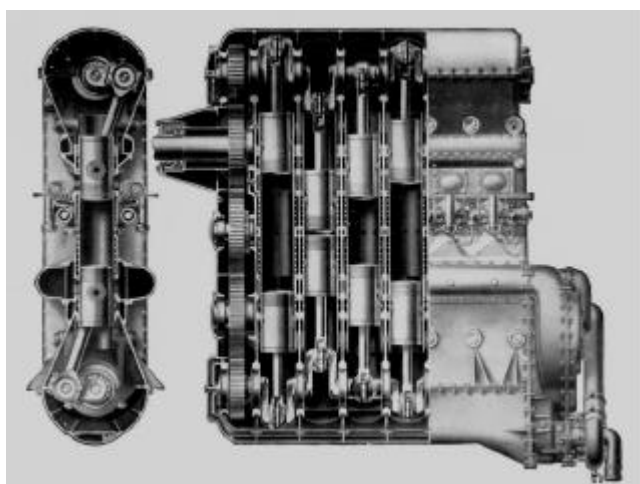
Bombe créée par l'ingénieur Roger Duchene utilisée au STAé par Clerget pour les analyses spectrales. (Collection Clerget).



Moteur expérimental Clerget 180 2T (deux temps) au banc d'essais en 1925. (STAé).

## 1er diesel d'aviation du monde

En 1927, le groupe de la porte d'Issy est le premier en France à étudier l'injection directe sur un moteur d'avion et à mettre au point des injecteurs par des procédés scientifiques, en particulier le Stroborama. Bien entendu, ces travaux se font avec le soutien de l'Etat. En Allemagne, chez Jumo (département moteur de Junkers) et aux Etats-Unis chez Packard, deux firmes privées, on travaille sur la même question avec acharnement. Henry Ford achète les 300 premiers exemplaires du Packard pour monter sur ses avions trimoteurs. Pour quelle raison ?



Architecture du moteur Diesel à deux vilebrequins Junkers Jumo 204, monté sur l'avion géant Junkers G-38. (Archives Snecma).

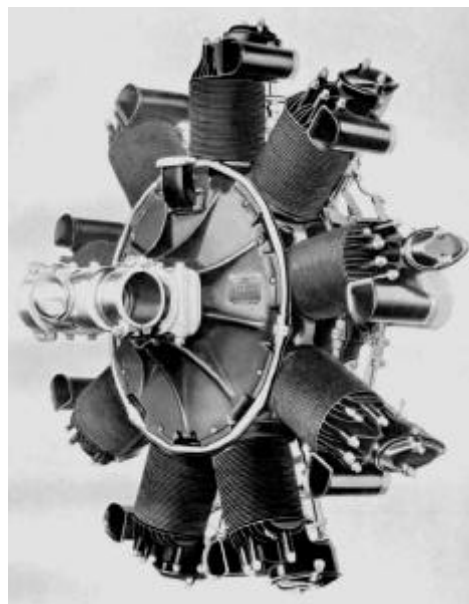
Depuis le début du siècle, les moteurs Diesels sont connus dans la marine pour leur longévité, leur faible consommation spécifique, inférieure à 250 g/ch/h, et sont appréciés pour le prix très bas du gasoil. En 1927, l'introduction de moteurs Diesels d'aviation, légers et endurants, permettrait aux compagnies aériennes, toutes déficitaires, d'obtenir enfin des coûts d'exploitation plus bas, les menant vers la rentabilité.

Marque et type	Puissance Régime	Alésage Course	Poids
Clerget 9A, 1929, France	110 ch à 1800 t	120 mm   130 mm	228 kg
Clerget 9B, 1930, France	200 ch à 1800 t	130 mm   170 mm	310 kg
Clerget 9C, 1932, France	300 ch à 1800 t	130 mm   170 mm	330 kg
Packard Diesel, 1929, Etats-Unis	225 ch à 1950 t	122 mm   152 mm	231 kg
Beardmore Diesel, 1929, Grande-Bretagne	525 ch à 900 t	209 mm   304 mm	2 250 kg
Junkers Jumo 204, 1929, Allemagne	530 ch à 1800 t	120 mm   210 mm	800 kg

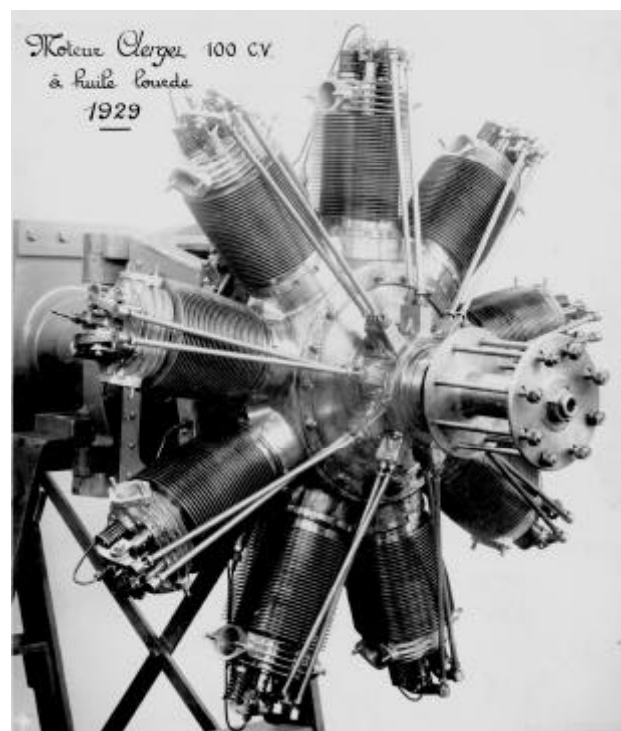
Moteurs Diesel d'aviation concurrents de ceux du STAé mentionnés en référence. (Source : L'année aéronautique 1931-1932).

En 1928, le laboratoire de la porte d'Issy voit naître un moteur diesel 9 cylindres quatre temps en étoile qui développe 100 ch pour un poids de 195 kg (à sec). Réalisé durant l'hiver 1928-1929,

ce premier Diesel français « opérationnel » est monté sur un avion du STAé et est testé en vol avec succès dès la fin du mois de mai 1929.



Moteur Diesel Packard, 1929. (NASM). Henry Ford en fut pour ses frais, le moteur ne marchait pas.



Le moteur Clerget 9A à huile lourde développant 100 ch au banc d'essais en 1929. (Bibliothèque nationale).

C'est la première réussite française en matière de moteurs diesels, une première mondiale pour un moteur d'avion refroidi par air. Pour Clerget, c'est la satisfaction du devoir accompli. Les travaux du STAé sont publiés dès 1928 par le ministère de l'Air nouvellement créé et le moteur 9 A de 100 ch est présenté en détails à la presse française et à la presse internationale.

Dans sa conférence à la Société des ingénieurs civils de France, le patron présente ainsi son mo-

teur :

« Dans ce moteur en étoile nous avons utilisé des principes de construction dont nous avons une grande expérience, notamment l'emploi de carters en acier, des pistons en aluminium et des cylindres en acier au nickel chrome vissés. Le tracé des mécanismes a subi les modifications voulues pour s'adapter aux pressions trois fois plus grandes que dans les moteurs à essence. »



« Les particularités nouvelles se trouvent dans les dispositifs d'injection. »

« Nous avons été conduit à un cycle qui n'a pour ainsi dire plus rien de commun avec le moteur Diesel, c'est un véritable moteur à explosion à allumage pneumatique. Le diagramme en a toutes les caractéristiques, l'avance à l'injection qui atteint 40 degrés provoque une combustion aussi rapide qu'avec l'air carburé. »

« Il est donc possible de maintenir une pression moyenne aussi élevée que dans le cycle dit à combustion à pression constante tout en bénéficiant d'une plus grande rapidité de détente. »

« Ce résultat ne peut être obtenu qu'avec un système d'injection rapide et précis, permettant l'introduction directe du combustible dans le cylindre sous certaines conditions. »

« Le point actuel d'infériorité du système résulte dans le fait que le volume d'air nécessaire à la combustion est encore plus grand qu'avec le mélange air-essence mais les perfectionnements incessants apportés aux pulvérisations permettent d'espérer de grands progrès dans ce sens. »

« Chaque cylindre comporte une pompe radiale, immergée dans le combustible, et actionnée par un mécanisme commun, tant pour la commande que pour le réglage du débit et de l'avance. »



Première homologation d'un moteur à huile lourde français à 300 ch en 1932, le 9C du STAé. Le moteur pèse 330 kg et consomme 180 grammes par cheval et par heure de gasoil. (Collection Clerget).

« La pompe est constituée par un plongeur à course constante, le débit étant contrôlé par le déplacement du cylindre. Une douille formant boîte à clapet est en opposition au piston, d'un diamètre légèrement plus grand que celui-ci, la réaction différentielle qui en résulte a pour but de rattraper automatiquement les jeux des organes de commandes. »

« Cette disposition est d'autant plus nécessaire que le moteur comporte 9 cylindres dont le fonctionnement impeccable à tous les régimes est d'autant plus nécessaire que le moteur est léger et se trouve monté sur avion où aucune irrégularité occasionner des vibrations ne serait tolérée. »

« La rapidité d'injection a été obtenue par le dispositif suivant. Les pompes étant radiales sont actionnées par une came centrale tournant à la vitesse de l'arbre, son profil permet donc une accélération double de celle d'un arbre à came de moteur à 4 temps. Pour permettre la distribution un coup tous les deux tours, un plateau tournant 8 fois moins vite et comportant quatre coulisseaux vient au moment voulu assurer la coïncidence entre la came et les pistons des pompes. »



Moteur à huile lourde 9A de 100 ch monté sur un appareil d'essais MS-135 appartenant au STAé, 1929. (Archives Clerget).



Le « patron » pose fièrement devant son moteur, en décembre 1937, après qu'il ait battu le record du monde d'altitude.

« Ce mécanisme qui donne une course égale à celles-ci a donné toute satisfaction, la came montée sur une rampe hélicoïdale produit l'avance à l'injection. L'injecteur est du type à aiguille avec des organes de commande à très faible inertie. »

« Certaines dispositions ont été reconnues indispensables, comme celles consistant à éviter l'accumulation de l'huile dans les culasses inférieures, et d'assurer l'arrêt par la levée simultanée des soupapes au cas où un accident bloquerait les commandes des pompes. »

Type de double injection	Gasoil seul	Gasoil éthanol	Gasoil éthanol
Nombre de tours par minute	1900	2000	1960
Puissance effective en chevaux	38,6	38,0	54,0
Consommation Gasoil	199 g	109 g	132 g
Ethanol	0 g	89 g	98 g
Consommation totale par ch/h	199 g	198 g	230 g
Calories par cheval-heure	2089	1620	1960
Rendement thermique en %	30	39	32

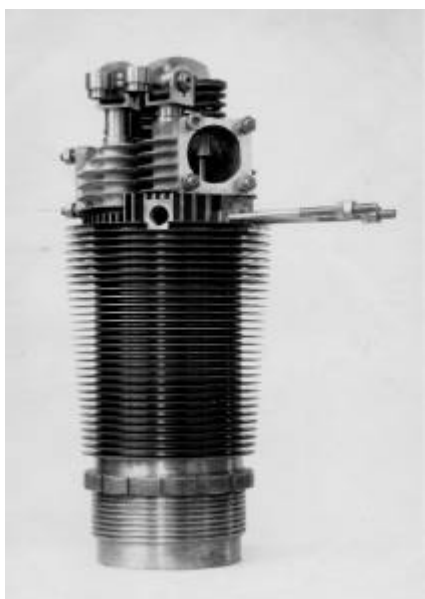
Résultats obtenus par la double injection, STAé 1931.

« Ainsi réalisé le moteur se présente dans de bonnes conditions de sécurité et son fonctionnement d'une régularité parfaite. »

« Dans le deuxième type réalisé (9B) en bénéficiant de l'expérience du premier, un allègement important a pu être réalisé sans préjudice de la sécurité, le poids par cheval est tombé de 2,0 à 1,5 kg et se trouvera encore réduit sur un troisième type par des améliorations de rendement. »

« Le moteur 9B développe 200 ch minimum à 1600 tours avec une consommation normale de 200 g/ch/h. »

« Nous avons réalisé un appareillage permettant d'observer avec facilité les injections dans l'air comprimé, non plus par un éclair, mais en régime de fonctionnement. A cet effet, l'injection se produit dans une chambre pourvue de glaces et éclairée stroboscopiquement par un tube à néon, chaque injection est balayée par un renouvellement d'air, la décharge étant obtenue au moyen d'une soupape synchronisée avec le mécanisme général. »



Cylindre d'un moteur 9B/9C, 1931.



Après le succès des 9-cyl entre 1929 et 1932, le STAé reçut l'aval de Caquot pour développer un 14-cyl. Monté sur le Potez 25 du STAé, le moteur est présenté en 1934 au général italien Crocco. Peu après, Clerget proposa à Caquot de battre le record du monde d'altitude. La préparation du moteur dura deux jours et la décision de l'Etat prit deux ans...



L'avion est impressionnant, et son 400 ch Diesel à 14-cyl tout autant. Moteur 14 E de 400 ch monté sur un MS-278.

« L'examen des jets révèle une sorte d'âme centrale à grande vitesse de pénétration, la partie extérieure freinée par la résistance du milieu donne naissance à des rameaux en retard sur le jet central. Certaines particules se détachent même et donnent naissance à des phénomènes de répulsion

qui font penser que les lois de Coulomb trouveront leur application dans l'étude des pulvérisations. »

« C'est probablement par une meilleure connaissance des phénomènes consécutifs à l'injection, en particulier sur la réflexion contre les parois que les grands progrès sont à réaliser pour mieux utiliser l'air de combustion. »

« C'est sur cet espoir que je termine en pensant que le moteur à huile lourde qui donne déjà des rendements thermiques de près de 40% avec des combustibles industriels est appelé à révolutionner les applications actuelles de la force motrice légère. »

« Si nous avions disposé du Stroborama dès 1901, nous aurions gagné trente ans dans le développement des moteurs Diesel à haut rendement. »

[Communication de Pierre Clerget, le 22 mai 1931]

## Stroborama, commercialisation

Une société exploitant les brevets des frères Seguin est montée au 2 rue Danton à Levallois, la société des **Recherches Mécaniques et Physiques**, au capital de 2 280 000 francs (avant 1959). A son catalogue figurent des Stroborama, appareils de photographie au milliardième de seconde de phénomènes physiques très brefs et pratiquement impossibles à appréhender, des Stroborets pour mesurer les vitesses et les fréquences élevées, des Moteurs électriques à vitesse constante et réglable (base du Stroborama et du Stroboret) et divers Instruments pédagogiques pour les laboratoires et les universités.



Publicité de la Société des Recherches Mécaniques et Physiques, 1961. (Collection Xavier Passot).

La Société développe et commercialise une gamme de Stroborama, fixes et mobiles, permettant des utilisations multiples, adaptées aux demandes de l'industrie. Leur prix s'échelonne de 85 800 anciens francs (Stroboret pour filatures) à 1 092 000 anciens francs (Stroborama type A13, le plus perfectionné).

Parmi les utilisations du Stroborama on trouve l'observation du phénomène de cavitation des hélices de bateau et des sous-marins aux grandes vitesses, la cinématographie d'une injection dans un moteur à huile lourde (mais le procédé s'applique à toute injection de liquide ou de gaz dans un moteur), le suivi d'une balle de fusil avec ses ondes de choc dans l'air et quand elle frappe un blindage, le départ d'une balle de golf (filmé à 1 500 images par seconde), les explosions (vitesse 12 000 mètres par seconde), l'observation des ondes de choc autour d'une aile d'avion à vitesse

supersonique, les vibrations (shimmy, verticales) des trains d'atterrissage des avions au freinage, l'étalonnage fin des appareils de mesure.

Le catalogue de 1960 donne la liste des références des 252 Stroborama vendus à travers le monde depuis 1932 (ci-dessous).

Laboratoires d'Etat		
Section Technique de l'Artillerie	Paris (France)	3 appareils
Section Technique de l'Aéronautique	Paris (France)	7
Laboratoire Central de l'Artillerie Navale	Paris (France)	2
Bassin d'Essais des Carènes	Paris (France)	2
Office Central des Chemins de Fer	Paris (France)	1
Office National Météorologique	Paris (France)	1
Dir. Centrale des Const. et Armes Navales	Paris (France)	1
Office National D'Etudes et Recherches Aéronautiques (ONERA)	Paris (France)	4
Marine nationale (Etudes et Rech. Scient.)	Paris (France)	1
Services Techniques des Constructions et Armes Navales	Paris (France)	1
Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET)	Paris (France)	1
Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques (LRBA)	Saint-Cloud (France)	1
Station Nationale des Recherches	Bellevue (France)	1
Laboratoires de Bellevue	Bellevue (France)	2
Groupe d'Etudes de Moteurs à Huile Lourde (GEHL)	Suresnes (France)	1
Centre d'Etudes du Bouchet	Le Bouchet (France)	1
Arsenal de l'Aéronautique	Châtillon-s/Bagneux	4
Etablissement d'Etudes et Recherches Météorologiques	Trappes (France)	1
Commission des Substances Explosives	Sevran (France)	1
Poudrerie Nationale de Sevran	Sevran (France)	2
Centre d'Etudes des Moteurs et des Hélices	Meudon (France)	1
Ateliers de Constructions	Issy-les-Mx (France)	1
Laboratoire de Mécanique Physique	Saint-Cyr-l'Ecole	1
Station d'Essais de Machines-outils	Courbevoie (France)	1
Section d'Etudes et Fabrications des Télécommunications	Issy-les-Mx (France)	1
Fonderie Nationale	Ruelle (France)	1
Etablissement d'Expériences Techniques	Bourges (France)	2
Etablissement de la Marine	Saint-Tropez (Franc.)	1
Artillerie Navale	Toulon (France)	1
Etablissement de Recherches Aéronautiques	Toulouse (France)	2
Groupement Français de Recherches Aéronautiques	Arles (France)	2
Groupement Français de Recherches Aéronautiques	Toulouse (France)	2
Centre d'Essais de Moteurs	Orléans-Bricy (F)	1
Centre d'Etudes de Moteurs	Lyon-Villeurbanne	1
Dir. des Constructions et Armes Navales	Bizerte (Tunisie)	1
Etablissement de Recherches Aéronautiques	Alger (Algérie)	1
Institut industriel d'Alger	Maison-Carrée (Alg.)	1
Ministry of Supply	Londres (Angleterre)	2
Section Technique de l'Aéronautique	Bruxelles (Belgique)	1
Section Technique de l'Aéronautique	Madrid (Espagne)	1
Section Technique de l'Aéronautique	Rome (Italie)	1
Section Technique de l'Aéronautique	Varsovie (Pologne)	1
Section Technique de l'Aéronautique	Prague (Tchécoslov.)	1
Commission du Matériel de Guerre	La Spezia (Italie)	1
China National Instruments Importation Corporation	Pékin (Chine)	2
Ateliers Nationaux d'Armement	Varsovie (Pologne)	1
Naval Aircraft Factory	Philadelphie (USA)	1
National Advisory Committee for Aeronautics (NACA)	Hampton Va (USA)	1
Marine Américaine, Bassin des Carènes	Washington (USA)	3
Laboratoire Aéronautique Armée Japonaise	Tachikawa (japon)	1
Laboratoire Aéron. de la Marine Japonaise	Kasumigaura (J)	1
Université de Tokyo, Laboratoire Aéron.	Tokyo (Japon)	1
Chemins de Fer Gouvernementaux du Japon	Oi (Japon)	1

Liste des Stroborama vendus aux laboratoires d'Etat. (Source : Société des Recherches Mécaniques et Physiques, 1960).

Universités et Ecoles		
Faculté des Sciences	Paris (France)	4
Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique	Paris (France)	2
Collège de France (Laboratoire de Physique)	Paris (France)	1
Ecole Polytechnique	Paris (France)	1
Ecole Centrale des Arts et Manufactures	Paris (France)	2
Ecole Nationale d'Arts et Métiers	Paris (France)	1
Conserv. Nat. D'Arts et Métiers (Lab. D'Essais)	Paris (France)	2
Ecole Municipale de Physique et de Chimie	Paris (France)	1
Ecole Nationale d'Arts et métiers	Châlons-s/Marne	1
Institut Polytechnique de Grenoble	Grenoble (France)	2
Institut de Mécanique des Fluides	Lille (France)	1
Ecole Centrale Lyonnaise	Lyon (France)	1
Institut National des Sciences Appliquées	Lyon-Villeurbanne	1
Institut de mécanique des Fluides	Marseille (France)	4
Faculté des Sciences de Poitiers	Poitiers (France)	1
Institut Aéronautique	Saint-Cyr (France)	1
Faculté des Sciences (Lab. de Mécan. des Fluides)	Strasbourg (F)	1
Faculté des Sciences de Grenoble	Grenoble (France)	1
Institut de Mécanique des Fluides	Toulouse (France)	2
Ecole Nationale Supérieure des Mines	Paris (France)	1
Université de la Sarre, Institut de Mathématique	Sarrebruck (Sarre)	1
Université de Bruxelles	Bruxelles (Belgic.)	1
Université de Gand	Gand (Belgique)	2
Institut Electrotechnique Montefiore	Liège (Belgique)	1
Institut Aérotechnique de Rhode St-Genèse	Rhode (Belgique)	1
Université de Lausanne, Ecole d'Ingénieurs	Lausanne (Suisse)	1
Ecole Polytechnique Fédérale	Zurich (Suisse)	1
Vojnotechnicki Institut	Belgrade (Yougo.)	2
Slovenska Vysoka Skola Technica	Bratislava (Tchéc.)	1
Ecole d'Ingénieurs (Laboratoire Aéronautique)	Turin (Italie)	1
Ecole Polytechnique	Eindhoven (Holl.)	1
Ecole Polytechnique	Milan (Italie)	1
Université de Tientsin	Tientsin (Chine)	1
Institut Scientifique pour Industries Textiles	Moscou (URSS)	1
Institut Textile de France	Paris (France)	1

Liste des Stroborama vendus aux Universités et Ecoles (Source : Société des Recherches Mécaniques et Physiques, 1960).

Usines d'Automobile et d'Aviation		
S.F.E.C.M.A.S.	Châtillon-s/Bagneux	1
Société Lorraine-Dietrich	Argenteuil (France)	1
Société Chenard et Walcker	Gennevilliers (F)	1
Société André Citroën	Clichy (France)	2
Société Hispano-Suiza	Bois-Colombes (F)	3
Société des Automobiles Renault	Billancourt (France)	1
Etablissement Panhard et Levassor	Paris (France)	1
Société des Automobiles et Tracteurs Latil	Suresnes (France)	2
Société des Automobiles Peugeot	Paris (France)	2
Société Mathis	Gennevilliers (F)	1
Etablissements Lioré et Olivier	Argenteuil (France)	1
S.N.E.C.M.A.	Suresnes (France)	4
Société Nat. De Const. Aéron. de l'Ouest	Issy-les-Mx (France)	1
Société Nat. De Const. Aéron. du Sud-Ouest	Courbevoie (France)	1
Société Nat. De Const. Aéron. du Sud-Est	Argenteuil (France)	1
Société Caudron-Renault	Billancourt (France)	1
Avions René Leduc	Argenteuil (France)	1
Société des Moteurs Gnome et Rhône	Paris (France)	2
Société Messier	Paris (France)	1
Hélices Métalliques Chauvière	Paris (France)	2
Air-Equipement	Bois-Colombes (F)	1
Automobiles F.N.	Liège (Belgique)	1
Fabrica Nacional des Automoviles S.A.	Barcelone (Espagne)	1
Société Hispano-Suiza	Barcelone (Espagne)	1
Société Hispano-Suiza	Genève (Suisse)	1
The Bristol Aeroplane Company	Bristol (Angleterre)	1
Armstrong Siddeley Motors Ltd	Coventry (Anglet.)	1
Industria Aeronautica Romana	Brasov (Roumanie)	1
The Studebaker Corporation	South Bend (USA)	1
Graham Paige Motors Corporation	Detroit (USA)	1
Ford Motor Company	Detroit (USA)	1
Caterpillar Tractor Co	San Leandro (USA)	1

Liste des Stroborama vendus aux usines de fabrication d'automobiles et de construction aéronautique (Source : Société des Recherches Mécaniques et Physiques, 1960).

Industries électriques		
Electricité de France (EDF)	Chatou (France)	1
Magnétos R.B.	Paris (France)	1
Magnéto-France	Paris (France)	1
Compagnie Hydro-Electrique d'Auvergne	Clermont-Ferrand	1
S.E.V. Marchal	Issy-les-Mx (F)	1
Société de Constructions Electriques Wageor	Saint-Etienne (F)	1
Etablissements Merlin et Gérin	Grenoble (France)	1
Forges et Ateliers de Constr. Electr. de Jeumont	Jeumont (France)	1
Ateliers de Constructions Lavalette magnétos	Saint-Ouen (F)	1
Société Riva	Milan (Italie)	1
Electro-Sviáz	Leningrad (URSS)	1
General Electric (GE) Company	Schenectady (USA)	1
General Electric (GE) Company	Fort-Wayne (USA)	1

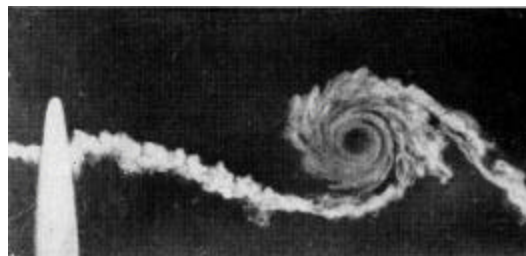
Liste des Stroborama vendus aux industries électriques (Source : Société des Recherches Mécaniques et Physiques, 1960).

Moteurs Diesel		
Carburateurs Zénith	Levallois (France)	1
Société des Anciens Etabl. Sautter-Harle	Paris (France)	1
La Précision Mécanique	Paris (France)	1
Etablissements Dessert et Cie	Saint-Ouen (France)	1
Compagnie Lilloise des Moteurs (CLM)	Lille (France)	1
Ateliers Burmeister & Wain	Copenhague (Danemark)	1
Siemens und Halske	Berlin (Allemagne)	1
Ceskoslovenska Zbrojovka A.S.	Bro (Tchécoslovaquie)	1
S.O.M.U.A.	Saint-Ouen (France)	1

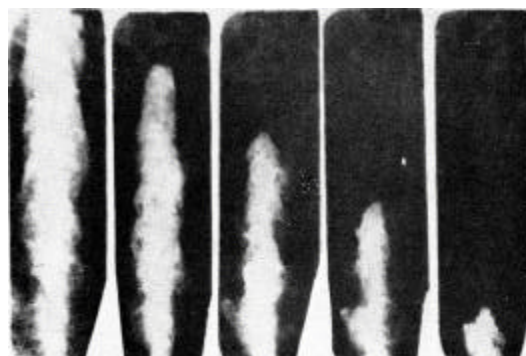
Liste des Stroborama vendus aux industriels motoristes et diésélés. (Société des Recherches Mécaniques et Physiques, 1960).

Imprimeries		
Etablissements Marinoni	Paris (France)	1
La Néogravure	Paris (France)	1
Etablissements Gillet-Thaon	Thaon-les-Vosges (France)	1

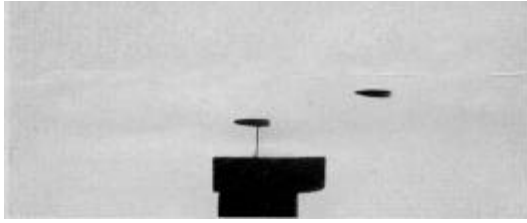
Liste des Stroborama vendus aux imprimeries. (Source : Société des Recherches Mécaniques et Physiques, 1960).



Stroborama type A13/B13 : sillage derrière une hélice.



Stroborama type A13/B13 : injection dans un moteur Diesel filmée à 3 000 images par seconde.



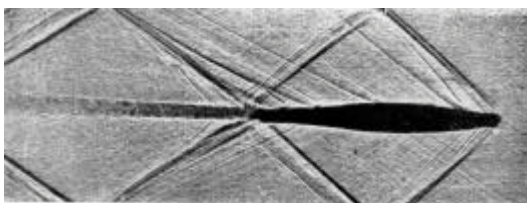
Stroborama A13/B13 : balle de fusil tirée à 700 mètres par seconde. Au-dessous, balle fixe témoin.



Stroborama A13/B13 départ d'une balle de golf. Cadence 1500 images par seconde. L'image a permis de calculer la vitesse de translation, 45 m/s et la vitesse de rotation de la balle sur elle-même 200 t/s.



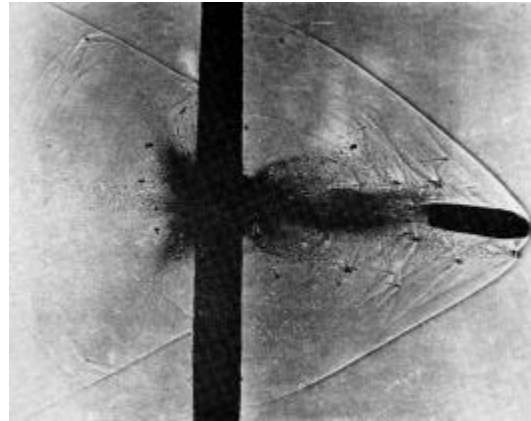
Stroborama G13 explosion d'un cordon détonant. Vitesse 12 000 mètres par seconde.



Stroborama G13 ondes de choc autour d'une aile à vitesse supersonique en soufflerie. Les ondes sont réfléchies par les parois.



Stroborama G13 ondes de choc autour d'une aile à vitesse supersonique sur bras tournant.



Stroborama G13 ondes de choc d'une balle perçant un blindage.

### Industries diverses

Michelin et Cie	Clermont-Ferrand (F)	3
Georges Claude l'Air Liquide	Paris (France)	1
Société Alstom motrices électriques	Belfort (France)	1
Société Oehmichen voilures tournantes	Valentigney (France)	1
Société d'Optique de Précision	Levallois (France)	1
H. Guillou et Cie Courroie Pieuvre	Montrouge (France)	1
Société Kodak Pathé	Vincennes (France)	1
Société Schneider et Cie aciéries	Le Creusot (France)	1
Société Técalémit matériel électrique	Paris (France)	1
Société Bronzavia Equipements aéron.	Courbevoie (France)	1
Fonderie de Précision	Nanterre (France)	1
Manufacture d'Armes de Levallois	Levallois (France)	1
Bureau International des Poids et Mesures	Sèvres (France)	1
Laboratoire de Recherches O.H. Ingber	Neuilly (France)	1
Etablissements E. Belin Transmissions	Reuil-Malmaison (F)	1
Service Etudes et Recherches des Charbonnages de France	Creil (France)	2
Etablissement Cuttat	Rueil (France)	1
Société Française des Munitions Gévelot	Issy-les-Moulineaux	1
Laboratoire de Mécanique des Fluides du Professeur Riabouchinsky	Paris (France)	1
Comité d'Organisation du Comité Agricole	Paris (France)	1
Pompes Guinard	Saint-Cloud (France)	1
Ateliers G.S.P.	Châteaudun (France)	1
Société d'Exploitation Paulstra	Châteaudun (France)	1
M. Rocher	Cénon (France)	1
Compagnie des Machines Bull	Paris (France)	1
Herckelbout-Dawson et Fils	Courbevoie (France)	1
Etablissements Neyrpic	Grenoble (France)	1
Câbles de Lyon	Lyon (France)	1
A.B. Bofors armement aciéries	Bofors (Suède)	1
Hijos de Orbea, S. en C.	Vitoria (Espagne)	2
Projecto	Amsterdam (Hollande)	2
Henschel Son A.G.	Cassel (Allemagne)	1
Hollandsche Draad En Kabelfabriek câblerie	Amsterdam (Hollande)	1
Compagnie Shell	Amsterdam (Hollande)	1
O.V.Z.	Moscou (URSS)	1
Technopromimport	Moscou (URSS)	7
Singer Manufacturing Co	Bridgeport (USA)	1
Felt & Tarrant Manufacturing Co machines à calculer	Chicago (USA)	1
Eclipse Machine Co démarreurs	Orange Est (USA)	1
Aluminium Company of America	Cleveland (USA)	1
Société Bendix freins	South Bend (USA)	1
Link-Belt Company chaînes et transmissions	Indianapolis (USA)	1
American Chain Co chaînes et transmissions	Bridgeport (USA)	1
Exposition Internationale de Paris 1937		4

Stroborama vendus aux industries mécaniques et hydrauliques. (Source : Société des Recherches Mécaniques et Physiques).