

FRANKREICH UND DEUTSCHLAND

Forschung, Technologie und industrielle Entwicklung
im 19. und 20. Jahrhundert



Internationales Kolloquium
herausgegeben für das Deutsche Historische Institut Paris
von Yves COHEN und Klaus MANFRASS

München 1990

Sonderdruck aus

Frankreich und Deutschland

Forschung, Technologie und industrielle Entwicklung
im 19. und 20. Jahrhundert

Internationales Kolloquium,
veranstaltet vom Deutschen Historischen Institut Paris
in Verbindung mit dem Deutschen Museum München
und der Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris
München, 12.–15. Oktober 1987

Herausgegeben von
Yves Cohen und Klaus Manfrass

München 1990

ALEXANDRE HERLEA

Technologie et industrie des moteurs à combustion interne en France et en Allemagne avant la Première Guerre mondiale : concurrence, coopération et développement parallèle

La technologie et l'industrie naissantes des moteurs à combustion interne sont parmi celles qui mettent le mieux en évidence quelques caractéristiques spécifiques aux processus d'invention et d'innovation en France et en Allemagne. Elles illustrent en même temps l'évolution industrielle de ces deux pays. C'est dans cette double optique qu'il nous semble intéressant de rappeler quelques faits.

Une étude comparative France-Allemagne dans le domaine des moteurs à combustion interne peut commencer par l'année 1860, c'est-à-dire le moment de l'apparition du premier moteur utilisable. La longue période, qui s'étend de 1672 (moteur Huygens) à 1860, et pendant laquelle le moteur à combustion interne fut »inventé mais n'a pas fonctionné« – comme l'écrivait un ingénieur au XIX^e siècle – se caractérise par un monopole franco-anglais de l'invention, la presque totalité de la quarantaine de brevets pris étant français ou britanniques. Notre étude s'arrête à la Première Guerre mondiale après que ce moteur ait permis l'apparition de nouvelles industries (automobile, aviation, navigation sous-marine) et ait commencé à s'imposer dans d'autres branches d'activité.

Lenoir et les premiers moteurs

Le premier moteur à combustion interne utilisable est français, l'œuvre d'Etienne Lenoir, qui conçoit à Paris un moteur sans compression préalable à 2 temps, à double effet, utilisant le gaz d'éclairage comme combustible. Son rendement ne dépasse pas 4,7 %. Il fut testé en 1861 au Conservatoire des Arts et Métiers de Paris où existait depuis 1852 un Laboratoire d'Essais Mécaniques à vocation nationale (en Allemagne, le Laboratoire Royal d'Essais Mécaniques de Berlin-Charlottenburg est créé en 1871). Le moteur Lenoir fut fabriqué pendant presque une vingtaine d'années pour des puissances allant de 0,5 à 12 ch. La maison de constructions mécaniques parisienne Marinoni mit au point et réalisa les premiers exemplaires. Elle fut suivie, en France, par la Compagnie Parisienne de Gaz et en Allemagne par Kienst de Berlin et Kuhn de Stuttgart qui se sont contentés de reproduire le type Marinoni.

Le succès de ce moteur s'explique par l'existence à Paris de plusieurs facteurs convergents : un cadre industriel demandeur, une infrastructure déjà en place (le réseau de distribution de gaz d'éclairage), une industrie de construction mécanique

de qualité (les établissements Marinoni) et une législation propice (très contraignante pour l'installation des chaudières des machines à vapeur, seul moteur concurrent de l'époque).

La réalisation en France du premier moteur à combustion interne constitue un bon exemple de l'essor de l'industrie française, qui s'était affranchie vers le milieu du XIX^e siècle d'une certaine domination anglaise. Mais si l'initiative revient à la France, l'Allemagne rattrapera rapidement le retard, pour occuper la première place à partir des années 1870 et cela tant sur le plan technique qu'industriel. A côté de l'industrie chimique, l'industrie des moteurs illustre bien le puissant démarrage industriel de ce dernier pays, rendu possible par une forte capacité d'organisation sur le plan de la recherche et de la production.

Deutz et le moteur à 4 temps

Stimulé par le succès du moteur Lenoir, l'Allemand Nicolas A. Otto s'intéresse à la nouvelle technique et, à partir de 1862, effectue certains essais en vue d'améliorer son rendement. Mais il abandonna rapidement cette voie pour se consacrer à la réalisation d'un autre type de moteur sans compression préalable: un moteur atmosphérique qui, grâce à la détente très poussée des gaz brûlés, avait un rendement nettement meilleur (12 %).

En 1864, Nicolas Otto et l'ingénieur Eugen Langen créèrent la maison Otto et Cie (Gasmotorenfabrik Deutz en 1872), le plus important constructeur de moteurs à combustion interne au XIX^e siècle. C'est dans ce cadre qu'en 1867 fut mis au point le moteur atmosphérique et en 1876 fut créé le moteur à 4 temps qui représente la percée technique la plus importante de toute l'histoire du moteur à combustion interne. Le rendement de ce nouveau moteur qui développait 3 ch. à 180 t/mn arriva lui aussi à environ 12 % grâce à la compression préalable (l'essence de l'invention) qui est de l'ordre de 3 bars. Cette dernière réalisation est le résultat de recherches effectuées pendant de longues années, qui, il faut le souligner, n'étaient pas basées sur une vision claire quant aux moyens à utiliser pour atteindre les objectifs. La théorie du mélange carburant stratifié, imaginée par Otto et qui l'a amené au moteur à 4 temps, est à ce propos exemplaire. Cependant ces recherches présentent déjà les caractéristiques des recherches industrielles modernes, effectuées dans le cadre d'une grande entreprise.

La réalisation du moteur à 4 temps est l'une des causes et en même temps l'une des principales conséquences de l'essor de l'industrie allemande de moteurs. Celui-ci avait d'ailleurs commencé avec le moteur atmosphérique, mentionné plus haut, construit chez Deutz jusqu'en 1882 à plus de 5000 unités.

Dans les années 1870, il n'existe que 2 moteurs français relativement répandus: le moteur Lenoir, déjà cité, et celui conçu par Bishop, autre moteur sans compression préalable, construit à Paris par la maison Mignon et Rouart et en Allemagne, sous licence, par Buss, Sombart et Co. Ils ne peuvent pas concurrencer les moteurs Deutz.

Pendant plus d'une décennie le moteur à 4 temps tel qu'il fut mis au point chez

Deutz par Wilhelm Maybach (appelé type »A«), représenta la principale production de cette maison: 8300 unités jusqu'en 1888. Il fut également réalisé sous licence dans d'autres pays, dont en France par la Compagnie Française des Moteurs à Gaz: 3000 unités jusqu'en 1889 et par la maison Edouard Sarazin.

Soulignons que la maison Deutz prétendait détenir, conformément aux brevets pris en 1876 et 1877, tant en Allemagne qu'en France (sans parler d'autres pays), non seulement le monopole du 4 temps mais également celui de la compression préalable. Ce monopole était difficilement acceptable et nombreux furent ceux qui n'en tinrent pas compte.

En Allemagne plusieurs maisons dont: Hannover'sche Maschinenbau; Buss, Sombart et C^e; Körting Frères, etc. essayèrent de contourner le brevet en construisant des moteurs à 2 temps à compression préalable, suivant l'exemple de l'Anglais Dugald Clark, qui en 1879 réalisa le premier moteur du genre. En 1882 Deutz les attaqua en justice ce qui déclencha les célèbres procès, perdus définitivement par Deutz en 1886.

En France, les moteurs à 2 temps mis à part, plusieurs brevets furent pris pour des moteurs à 4 temps, fait permis par une législation qui n'exigeait pas de recherches d'antériorité. Il s'agit de celui de Lefèvre et Bysmans en 1878, de celui de E. Lenoir en 1883 et de celui de Delamare-Deboutteville et Charles Malandin en 1884. Si le moteur construit conformément au premier brevet resta à l'état de prototype, celui de Lenoir fut construit par la maison parisienne Mignon et Rouart (Rouart Frères, après 1889) et celui de Delamare-Deboutteville par la maison rouennaise Powell. Ce dernier moteur baptisé »Simplex«, sera fabriqué aussi à Mulhouse (Allemagne à l'époque) par la maison Steinlen.

Ces deux »francs-tireurs« français furent à leur tour attaqués en justice pour contrefaçon fin 1884 – début 1885 par la Compagnie Française des Moteurs à Gaz, détentrice du brevet Otto. Cette dernière perdra les deux procès (1885) ainsi que l'appel (1888).

A l'occasion de ces procès, déroulés tant en Allemagne qu'en France, de nombreux travaux sont déterrés et utilisés dont ceux de F. Degrand, W. Barnett, F. Million, W. Siemens, Chr. Reithman, Alphonse Beau de Rochas, etc. Ce dernier avait décrit, en 1862, avec une éclatante clarté, le cycle à 4 temps, dans une brochure désormais célèbre intitulée »Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de l'utilisation de la chaleur et en général de la force motrice«. Beau de Rochas arrive au cycle à 4 temps en analysant les pertes thermiques par échappement, pour la diminution desquelles il envisage une détente aussi poussée que possible. Par déduction logique il considère que celle-ci pouvait être remplacée par une compression préalable. Il recommande même que celle-ci soit poussée jusqu'à 6,5 bars valeur à laquelle, d'après lui, se produirait l'allumage spontané.

La théorie des moteurs

Rappelons que l'époque où ces procès se déroulent est aussi celle de l'ébauche d'une théorie des moteurs à combustion interne, établie sur le modèle de la théorie

des machines à vapeur. Elle comprend donc 2 volets distincts: la théorie appelée »générique« qui étudie les cycles de fonctionnement théoriques et réels, ces derniers vus comme des approximations des cycles théoriques; et la théorie appelée »expérimentale«, basée sur l'étude empirique de certains phénomènes et paramètres de fonctionnement. Les scientifiques, qui contribuèrent à son établissement, sont nombreux tant en France (Aimé Witz, Gustave Richard, Letombe, etc.) qu'en Allemagne (Richard Schöttler, Moritz Schröter, Hugo Guldner, etc.).

Aimé Witz, par exemple, établit la relation mathématique, qui lie le rendement du moteur à explosion aux taux de la compression préalable ($\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\frac{1}{\gamma-1}}}$); il la publia en 1883 dans les Annales de Chimie et de Physique dans un article intitulé: »Etudes sur les moteurs à gaz tonnants.« C'est une des formules les plus importantes de la théorie des moteurs.

Pourtant la théorie générique était, tout compte fait, peu pratique et c'est la théorie expérimentale qui s'améliorera constamment. Elle évolua en bonne partie grâce au développement des instruments et méthodes d'investigation nouveaux, eux-mêmes exigés par l'amélioration des paramètres de fonctionnement des moteurs (taux de compression, vitesse de rotation). La création du manographe, conçu en 1890 par l'Anglais John Perry et construit quelques années plus tard, en France par Hospitalier et Carpentier, est un bon exemple.

Jusqu'à la Première Guerre mondiale de nombreuses études furent faites qui portaient sur l'influence des variations des différents facteurs et paramètres sur les caractéristiques des moteurs. A Dresde, par exemple, en 1905-1907 Negel mesura la vitesse de la combustion déflagrante pour diverses richesses de mélange combustible. Il utilisa un appareil appelé »bombe de Langen«, qu'il trouva dans les laboratoires de la Technische Hochschule.

Dans les années 1880, les moteurs à combustion interne, désormais à compression préalable, évoluent vers l'amélioration du rendement, l'augmentation de la puissance totale et spécifique ainsi que vers la diversification des combustibles employés. Dans ce processus les constructeurs français et allemands se trouvent en première ligne, ces derniers conservant un avantage depuis les années 1870.

Notons aussi que, jusqu'en 1886, quand le brevet du moteur à 4 temps tomba dans le domaine public, les brevets et la variété des constructions des moteurs à 2 temps à compression préalable furent beaucoup plus nombreux que ceux concernant les moteurs à 4 temps. Pourtant le nombre d'unités construites resta largement inférieur. Cela est valable tant pour l'Allemagne que pour la France, pays où la production de moteurs à 2 temps fut pratiquement abandonnée après 1886. Le cycle à 2 temps sera repris à partir de 1900 pour les moteurs à grande puissance, les semi-diesels et les diesels, comme nous allons le voir plus loin. Dans les années 1880 les principaux fabricants de moteur à 2 temps furent, en Allemagne, à côté de Buss et Sombart et Körting déjà cités, Witting et Hess et Karl Benz. En France nous devons citer Fernand Forest, Ravel et Bénier.

Vers le milieu des années 1880 deux grands groupes de moteurs vont se constituer: ceux qui continueront à utiliser un combustible gazeux et qui évolueront vers la grande puissance et ceux qui employeront désormais un combustible liquide, notamment des hydrocarbures sous forme d'essence ou de fractions plus lourdes de distillation.

Les moteurs à gaz de grande puissance

En France Delamare-Deboutteville et Charles Malandin sont les premiers à orienter leurs recherches en vue d'une augmentation de la puissance et du rendement par l'agrandissement du diamètre du cylindre. Le moteur «Simplex» ainsi modifié atteint la puissance de 100 ch. en 1888. C'est le point de départ des moteurs à gaz de grande puissance, employés surtout dans les entreprises sidérurgiques. Les deux constructeurs qui contribuèrent puissamment à leur développement établissent de nouveaux records avec des moteurs «Simplex»: 300 ch. en 1895; 1000 ch. en 1899. Ce dernier fut construit par la maison belge Cockerill.

Mentionnons que les essais faits par A. Witz sur ces moteurs (bel exemple de collaboration industrie — enseignement) mirent en évidence le rôle du taux de compression préalable dans l'augmentation du rendement et de la puissance. En utilisant des gaz pauvres, le moteur «Simplex» fonctionnait déjà en 1888 avec un taux de compression de 8. Ce taux atteindra 12 vers 1910, le rendement des grands moteurs à gaz dépassant 25 %.

Le Français Letombe est un autre constructeur, de premier plan, des moteurs à gaz de grande puissance. Il avait conçu dès 1888 le premier moteur à 4 temps à double effet et avait réalisé en 1895 le premier moteur à double effet à 2 cylindres en tandem. Ce dernier est fabriqué par les Etablissements Cail, devenus ensuite Société Française de Construction Mécanique à Denain, maison qui construira jusqu'en 1910 des moteurs d'une puissance maximale de 1500 ch.

Notons qu'après 1905 tous les moteurs à 4 temps réalisés, aussi bien en France qu'en Allemagne, étaient à double effet et souvent en tandem.

La Société Schneider et Cie, dans les ateliers du Creusot, a construit elle aussi des moteurs de type «Simplex» sous licence Cockerill et des moteurs à 4 temps double effet Letombe pour des puissances allant jusqu'à 2000 ch.

Remarquons que la construction des moteurs à gaz de grande puissance, qui utilisent les gaz de hauts fourneaux comme combustible, ne sera véritablement au point que vers 1905. Cette production se développa surtout en Allemagne, liée à l'industrie sidérurgique concentrée en Westphalie et dans la vallée du Rhin.

Dans ce pays, la conquête de la grande puissance commence en 1893 quand W. von Oechelhäuser et Hugo Junkers conçoivent un moteur de 220 ch. à 2 temps, à pistons opposés. Il est construit par la maison Berlin Anhalt Maschinenbau à Dessau. C'est la première fois que le cycle à 2 temps est utilisé dans la construction des moteurs de grande puissance. La maison Körting suit en 1902 avec la fabrication d'un premier moteur à 2 temps à double effet.

La maison Deutz commence la fabrication des moteurs de grande puissance en 1898, avec la construction d'un moteur à 4 temps, 4 cylindres de 1000 ch. Elle sera poursuivie pendant une dizaine d'années.

Mais le plus important constructeur allemand de moteurs à gaz de grande puissance c'est la MAN (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg). Elle fabrique sous la direction des ingénieurs Hermann Ebbs et Hans Richter des moteurs à 4 temps double effet à 2 cylindres tandem. Le premier moteur de plus de 1000 ch. est réalisé en 1902. En 1904 la MAN construit le moteur le plus puis-

sant de l'époque: un 3200 ch. La Maschinenfabrik Thyssen et C^e produit, à partir de 1905, des moteurs proches de moteurs MAN, grâce à la collaboration de Hans Richter.

Avant 1914, les moteurs à gaz de grande puissance furent construits par plusieurs autres maisons, tant en France qu'en Allemagne. Mentionnons la Société Alsacienne de Construction Mécanique de Mulhouse qui débute en fabriquant sous licence des moteurs Cockerill.

En 1908, la puissance globale de ces moteurs était estimée à 1 033 509 ch. dont 480 428 ch. en Allemagne et 55 050 ch. en France.

Les moteurs à combustible liquide

Si le moteur à combustion interne employant un combustible gazeux était devenu, après 1900, un concurrent redoutable de la machine à vapeur, c'est en utilisant un combustible liquide qu'il marqua très profondément notre civilisation du XX^e siècle, déclenchant une révolution au niveau des moyens de transports, en commençant par l'automobile et l'aviation. Pour cela il a dû être adapté au fonctionnement aux combustibles liquides (donc transportables) et être d'une puissance spécifique performante. Ces caractéristiques imposent le développement, d'une part, d'un système d'alimentation requis par le combustible liquide et d'autre part d'un système d'allumage requis par les hautes vitesses de rotation exigées par une puissance spécifique élevée.

L'idée de l'emploi des combustibles liquides pour l'alimentation des moteurs à combustion interne est aussi ancienne que le moteur lui-même (le brevet de R. Street 1794 en témoigne). Pourtant jusqu'aux années 1880, l'idée n'a pas dépassé la phase expérimentale. Rappelons à ce propos, les essais faits en France par Lenoir qui alimente, à partir de 1862, plusieurs de ses moteurs à l'aide d'un carburateur très compliqué, conçu pour la fabrication du gaz d'éclairage par l'Américain Lasslo Chandor (présenté à la Société d'Encouragement à Paris). En Allemagne en 1875 Maybach utilise un carburateur à léchage sur des moteurs atmosphériques Otto-Langen. Lenoir a même fait circuler une voiture (en 1862, entre Paris et Joinville-le-Pont) et une barque (en 1865) munies de ses moteurs.

Les premiers moteurs à compression préalable alimentés en combustible liquide, furent ceux à 2 temps. Parallèlement, en Allemagne et en France, en 1880, Witting et Hess et Fernard Forest conçoivent de tels moteurs, en utilisant un système d'alimentation qui préfigure le carburateur à gicleur.

Les premiers moteurs à 4 temps alimentés en combustible liquide n'apparaissent qu'à partir de 1883: celui de Delamare-Deboutteville et Charles Malandin, exécuté seulement comme prototype et utilisé en 1883 sur la première voiture jamais munie d'un moteur à 4 temps; celui de Lenoir construit par Rouart Frères (déjà mentionné), qui est alimenté en combustible liquide, sera utilisé sur des locomobiles et appelé pour cela »moteur agricole«; celui de Karl Benz, conçu en 1884 et monté en 1886 sur un tricycle – la première voiture allemande ayant roulé; celui de Johannes Spiel (1884) qui fut le premier moteur à 4 temps fixe, expressément réalisé pour

utiliser l'essence comme combustible. En 1885 Deutz, d'un côté, et F. Forest, de l'autre, construisent des moteurs à 4 temps à essence.

Daimler et les moteurs de voiture

Ce sont les constructeurs allemands Gottlieb Daimler et Wilhelm Maybach, anciens de chez Deutz, qui sont les premiers à mettre en évidence le moyen le plus efficace d'accroître la puissance spécifique des moteurs: l'augmentation de la vitesse de rotation. Ils réalisent ainsi un vrai moteur de véhicule, vocation première du moteur à combustible liquide. Si la vitesse de rotation la plus couramment utilisée, au début des années 1880, était de 200 t/mn, Maybach et Daimler construisirent en 1883 un moteur expérimental à gaz qui tourna à 600 t/mn. L'année suivante vit le jour un moteur à essence de 0,5 ch., connu sous le nom de »Standuhr«; il fut installé sur un tricycle. C'est le point de départ d'autres moteurs »Standuhr« dont le plus célèbre est un 2 cylindres en V de 1,5 ch. fabriqué en 1889. Il équipa une voiture automobile qui peut être considérée comme la première voiture moderne; elle fut présentée à Paris à l'exposition universelle de 1889. Un an plus tard Daimler et Maybach fondent la Daimler Motoren Gesellschaft.

Panhard et Levassor, qui achetèrent en 1890 la licence Daimler, deviennent les premiers constructeurs d'automobile à essence en série. Amélioré et construit en plusieurs variantes, jusqu'à 4 ch., le moteur »Standuhr« gagne, sur les voitures Panhard-Levassor et Peugeot, les premières courses automobiles (Paris-Rouen 1894 et Paris-Bordeaux-Paris 1895). Cela permet d'affirmer, comme le fait Patrick Fridenson, que la motorisation est allemande et la voiture française.

La voie est désormais ouverte et plusieurs constructeurs de moteurs à essence vont faire leur apparition, tant en France qu'en Allemagne, attirés en bonne partie par l'exploit sportif qu'est la voiture et bientôt l'aviation. Les performances des moteurs s'améliorent: le rendement augmente, moins par l'accroissement du taux de compression, comme c'est le cas pour les moteurs à gaz pauvre (danger de détonations), que par le perfectionnement des différents systèmes auxiliaires – surtout ceux d'alimentation et d'allumage. La puissance spécifique (massique et volumique) est augmentée par l'accroissement de la vitesse de rotation (fortement tributaire de la qualité du système d'allumage), de la pression moyenne (dépendante du taux de compression, des performances du mécanisme de distribution et du système d'alimentation: nombre et dimensions des soupapes, suralimentation), par l'utilisation des matériaux plus légers, tels ceux en alliage d'aluminium. La puissance effective est augmentée par l'accroissement de la cylindrée (elle-même due essentiellement à l'augmentation du nombre de cylindres), de la vitesse de rotation et de la pression moyenne de fonctionnement.

Ces évolutions ont lieu en parallèle en France et en Allemagne. Une certaine différence peut être remarquée, dans ce sens que les solutions françaises sont quelquefois plus astucieuses, tournées d'avantage vers l'exploit, tandis que les options allemandes ont un caractère plus pragmatique. Ceci explique, en partie, pourquoi la France a occupé la première place dans la création des moteurs d'aviation.

Avant la Première Guerre, le principal constructeur de moteurs d'automobile en Europe, tant par la qualité que par la quantité de ses produits, a été la Daimler Motoren Gesellschaft. Son directeur technique, W. Maybach, y déploya une activité d'invention et d'innovation prodigieuse. Mentionnons parmi les réalisations de Daimler le moteur à 2 cylindres en ligne, baptisé «Phönix» (par Levasseur), construit à partir de 1892 pour des puissances allant de 2 à 4 ch. à 760 t/mn; le moteur baptisé «Mercedes» – 4 cylindres en ligne de 35 ch. à 1000 t/mn, qui en 1901 équipa la première voiture du même nom; le premier moteur allemand d'avion 60 ch. à 1400 t/mn, conçu en 1910; le meilleur moteur allemand du début de la Première Guerre mondiale – un 6 cylindres en ligne 170 ch. à 1450 t/mn, etc.

Soulignons qu'après 1910 les moteurs d'avions sont le fer de lance du développement des moteurs à essence des véhicules.

Arrêtons-nous maintenant sur quelques autres exemples pour illustrer les évolutions des moteurs français et allemands, mentionnées plus haut et mettre en évidence leur synchronisme.

Les systèmes d'alimentation, d'allumage, de refroidissement

Les premiers carburateurs, pièce maîtresse du système d'alimentation, furent du type dit «à léchage». Très primitifs au début, ils furent perfectionnés dans les années 1880 tant en France qu'en Allemagne, les solutions envisagées étant des plus diverses. Rappelons le carburateur Lenoir de 1883, à cylindre tournant, celui de Delamare-Deboutteville de 1884 à brosse hélicoïdale, et surtout celui dans lequel l'air traverse un volume d'essence, conçu en même temps (1876) par E. Langen et F. Forest et amélioré, dans les années 1880, par F. Forest, W. Maybach et K. Benz. C'est ce carburateur qui équipa les moteurs «Standuhr».

La vraie percée dans le domaine des carburateurs est une réalisation allemande: le carburateur à gicleur conçu en 1893 chez Daimler par W. Maybach et utilisé pour la première fois sur le moteur «Phönix» mentionné plus haut. Il fut amélioré rapidement tant en Allemagne qu'en France. Ainsi, par exemple, la même année K. Benz dote le nouveau carburateur d'un papillon d'accélération, Amédée Bollée fils réalise en 1896 le premier carburateur à gicleur noyé, C. H. Claudel, en 1907, conçoit la mise en dérivation du gicleur, etc.

Vers 1914, il y avait en France une quarantaine de fabricants de carburateurs pour moteurs d'aviation, tel la Société du Carburateur Zénith.

L'allumage n'a trouvé une vraie solution qu'avec l'adoption du système électrique qui remplacera, en début des années 1890, l'allumage par flamme. Ce dernier, assez convenable pour les moteurs à gaz tournant lentement, est inadapté aux vitesses de rotation élevées, exigées par les moteurs de véhicules.

L'allumage électrique à bobine de haute tension fut déjà utilisé par Lenoir en 1860. C'est toujours lui qui, vers 1885, perfectionna la bougie utilisée, comme auparavant, dans un schéma avec le distributeur de courant dans le circuit de haute tension. En 1893 K. Benz place le distributeur dans le circuit de basse tension pour diminuer la consommation des piles. Ce schéma assez répandu pen-

dant une dizaine d'années fut amélioré en France par le marquis de Dion et G. Bouton.

Grâce à l'utilisation des accumulateurs et d'une dynamo les constructeurs français et allemands de voitures sont revenus simultanément à la distribution de la haute tension, schéma plus performant déjà mise au point aux Etats-Unis.

Le système d'allumage par magnéto fut lui aussi envisagé en 1884, simultanément chez Deutz et par F. Forest; c'était une magnéto basse tension. La magnéto haute tension, la vraie solution, ne fut créée qu'en 1902 par Gottlieb Honold qui travaillait chez Robert Bosch. Ce dernier est déjà le principal producteur européen d'accessoires électriques. Il en gardera l'initiative tant dans la conception que dans la production. En 1899, treize ans après la création de la société-mère en Allemagne, Robert Bosch avait ouvert une agence commerciale à Paris et, en 1905, le premier atelier de fabrication de produits Bosch en France.

En ce qui concerne un autre système auxiliaire, celui de refroidissement mentionnons la priorité française dans le domaine du refroidissement par air (F. Forest 1881) et la construction, chez Daimler, en 1901 par W. Maybach, du premier radiateur à nid d'abeille. Il fut installé sur le moteur »Mercedes« de 35 ch.

Les moteurs rapides et à plusieurs cylindres

Quant à la puissance spécifique des moteurs, elle a augmenté rapidement, processus qui s'est accéléré avec la naissance de l'aviation. Dans le domaine des moteurs à haute puissance spécifique, l'Allemagne a eu l'initiative avec le moteur »Standuhr«. En 1900 la France avait déjà rattrapé le retard pour occuper, jusqu'à la Première Guerre mondiale, une place privilégiée. Mentionnons à ce propos les célèbres moteurs monocylindriques conçus par le marquis Albert de Dion et son associé, Georges Bouton. Le moteur construit en 1900 développait 2,75 ch. pour un poids de 25 kg; il tournait à 2000 t/mn et était muni d'un carter fermé, en alliage léger d'aluminium. Il fut utilisé sur des tricycles. Rappelons que jusqu'en 1914 la vitesse de rotation ne dépassa pas en général 1400 t/mn, même sur les moteurs d'avions.

La puissance effective augmentera essentiellement à travers l'augmentation de la cylindrée, réalisée par l'accroissement du nombre de cylindres.

Déjà réalisée sur les moteurs à gaz, la construction à plusieurs cylindres va connaître son vrai essor sur les moteurs des véhicules: moteurs avec cylindres en ligne, opposés, en V, en étoile, en W, en H, à cylindres rotatifs. Nombre de ces solutions n'ont été utilisées qu'en tant que moteurs d'aviation.

En augmentant le nombre des cylindres, on a partiellement résolu un autre problème: celui de l'équilibrage. Celui-ci fut encore amélioré par l'adjonction de contre-poids sur le vilebrequin ou par l'allègement de celui-ci. Cette solution fut appliquée à un 4 cylindres en ligne de 10 ch., construit en 1898 par Panhard. C'est le premier moteur à 4 cylindres en ligne, équilibré par rapport à un plan médian perpendiculaire à l'axe du vilebrequin.

Les moteurs 4 cylindres en ligne – solution qui sera une des plus employées ultérieurement dans l'industrie automobile – sont conçus pratiquement simultanément

ment (1889-1890) en France par Fernand Forest et en Allemagne par Wilhelm Maybach; les deux moteurs sont utilisés sur des bateaux. Une année plus tôt, F. Forest avait réalisé le premier 6 cylindres en ligne, excellente solution au niveau de l'équilibrage. A partir de 1902. Renault (moteur de 40 ch.) et Daimler (moteur de 300 ch. de bateau) utilisent cette construction.

Un autre cas de simultanéité est celui de la construction des moteurs à cylindres opposés (présentant eux aussi de bonnes qualités d'équilibrage dynamique) conçus au même moment (1895-1896) par Albert de Dion et Georges Bouton en France et par Karl Benz en Allemagne.

La construction en V, commencée comme nous l'avons vu avec le moteur »Standuhr«, a connu un grand développement dû à la compacité et aux bonnes qualités d'équilibrage. Elle a été utilisée avant la Première Guerre, surtout pour les moteurs d'avions. Ainsi, le premier moteur construit spécialement pour l'aviation fut un 8 cylindres en V de 50 ch., pesant 150 kg et qui présente la particularité d'être alimenté par une sorte d'injection d'essence. Baptisé »Antoinette« il a été conçu en 1904 par Levasseur et construit par la compagnie du même nom à Puteaux, dans la région parisienne. Ce moteur fut utilisé pour la plupart des »premières« de l'aviation en Europe: premier vol d'un avion équipé d'un moteur à combustion interne (Santos Dumont), premier hélicoptère monté (Paul Cornu), prix du kilomètre bouclé (Henry Farman), etc.

La France et les moteurs d'aviation

Si l'Allemagne se trouve en tête de la construction de moteurs d'automobile, dans celle des moteurs d'aviation la France occupera jusqu'en 1914 la première place.

Paris est la plaque tournante de l'aviation naissante ce qui explique, au moins en partie, cette primauté française. Elle est également liée à une plus grande expérience dans la conception et la réalisation de moteurs rapides de puissance massique élevée, refroidis par air, pour lesquels on utilise des alliages légers et des solutions cinématiques variées quant à la disposition de leurs cylindres. Parmi les précurseurs nous devons citer Millet, qui réalise le premier moteur à combustion interne à cylindres rotatifs (1887); Fernand Forest, qui conçoit plusieurs types de moteurs en étoile dont un 32 cylindres en 4 plans, conçu pour le dirigeable de G. Tissandier et qui est resté à l'état de projet (1889); le marquis Albert de Dion et G. Bouton qui (les moteurs monocylindriques à haute vitesse de rotation dont nous avons déjà parlé, mis à part) construisent en 1889 un moteur en étoile à 12 cylindres en un plan et un moteur rotatif refroidi par air.

Les premières tentatives de vol furent faites en général avec des moteurs d'automobile: le moteur Mercedes (35 ch.) est utilisé en 1901 par l'Autrichien W. Kress sur un hydravion; en 1903 les frères Orville et Wilbur Wright effectuent, à Kitty Hawk, le premier vol à l'aide d'un moteur 4 cylindres en ligne de 12 ch., bricolé à partir des moteurs français d'automobile Darracq et Gobron-Brillié.

C'est à partir de 1904 que la France se lance à fond dans la construction de vrais

moteurs d'aviation. Au salon de l'automobile de 1908 à Paris, 15 fabricants présentaient déjà de tels moteurs. En 1910 on dénombre au moins 45 constructeurs français, dont une grande partie étaient à l'origine des fabrications de moteurs d'automobile (Panhard, Peugeot, etc.). Quelques autres conçoivent les premiers moteurs spécialement étudiés pour l'aviation. Les plus actifs sont Levasseur, Anzani, Esnault-Pelterie, Canton et Unne (Salmson), Clerget (Clerget-Blin en 1913), Renault, Seguin (Gnôme), Verdet (Le Rhône), etc. Pratiquement toutes les solutions sont essayées par les constructeurs français avant la Première Guerre: moteurs avec cylindres en ligne, en V, en W, en étoile, en demi-étoile, en X, rotatif, refroidis par air ou par eau.

Citons parmi les moteurs les Anzani en W (celui de 25 ch. équipa l'avion sur lequel Blériot traversa la Manche) et en étoile – 8 types refroidis par air, avec 3, 6 et 10 cylindres développant des puissances comprises entre 30 ch. et 125 ch.; les moteurs REP (Robert Esnault-Pelterie) à cylindres en quinconce suivant deux demi-étoiles, qui avaient reçu le prix de la Société des Ingénieurs Civils en 1908; les moteurs Salmson, conçus par Canton et Unne en 1908 (7 cylindres 90 ch.), qui sont les premiers moteurs en étoile réellement utilisés; les moteurs Renault à 6 et 8 cylindres en V refroidis par air.

Mais le moteur le plus célèbre de cette période est, sans conteste, le moteur rotatif – connu sous le nom d'«Omega» – un 7 cylindres 50 ch., conçu en 1908 par les frères Louis et Laurent Seguin. Il a été fabriqué par la Société Gnôme à plus de 500 exemplaires et a participé entre 1909 et 1913, à l'établissement de plus de 30 records et exploits. En 1912, Gnôme réalise d'autres moteurs rotatifs de 7, 9 et 14 cylindres pour des puissances de 80 à 160 ch. C'est à partir de 1911 que Le Rhône construit également des moteurs rotatifs.

Avant 1910, date du premier salon aéronautique qui a lieu à Paris, l'Allemagne n'avait pas encore construit de moteurs d'aviation; l'armée allemande était obligée, en 1909, d'acheter pour son aviation un moteur français.

Cependant, l'Allemagne s'intéressait aux dirigeables, pour lesquels étaient adaptés le plus souvent des moteurs Daimler d'automobile. Citons le moteur de 35 ch. «Mercedes» installé en 1903 sur le dirigeable «Lebandy» et le moteur Daimler de 135 ch. qui, en 1907, équipa un dirigeable «Zeppelin». Ce dernier était le moteur le plus puissant du salon aéronautique de Paris en 1910.

Les moteurs d'avion allemands construits à partir de 1910, restent eux aussi, néanmoins, des moteurs d'automobile adaptés, c'est-à-dire surchargés. Surcharge rendue possible par le renforcement des parties les plus fragiles. Ils sont en général refroidis par eau, à la différence des moteurs français qui sont presque tous refroidis par air. Le premier moteur allemand installé sur un avion fut conçu chez Daimler Motoren Gesellschaft par Paul Daimler (fils de Gottlieb); c'était un 4 cylindres en ligne de 60 ch. qui permit le vol Munich–Berlin. Le plus puissant moteur d'avion Daimler d'avant-guerre fut le «Mercedes DIII» de 170 ch. à 1450 t/mn.

Parmi les constructeurs allemands, ils sont déjà une dizaine en 1911, mentionnons encore: Argus Motoren à Berlin (moteurs 4 et 6 cylindres en ligne de 70 à 150 ch.), Benz et Cie. à Mannheim (4 cylindres en ligne, 100 ch.), Hilz Motorenfabrik à Düsseldorf (moteurs en demi-étoile 3 et 5 cylindres de 30 à 50 ch.), Delfosse (moteurs rotatifs 3, 5 et 7 cylindres de 30 à 70 ch.).

Rappelons aussi que, en ce qui concerne les moteurs d'avion, il y a eu quelques améliorations de taille, conçues avant la Première Guerre, mais qui ne seront exploitées à l'échelle industrielle que bien plus tard. La France tient encore une fois, le haut du pavé.

Ainsi, en 1910, Renault conçoit ses premiers moteurs à réducteur à pignons droits, réalisation qui apportait une solution aux exigences contradictoires de haute vitesse de rotation pour le moteur et faible pour l'hélice. La même année, Gnôme introduit les hélices à pas réglable au sol; trois années plus tard les hélices à pas réglable en vol sont conçues chez Clément-Bayard. Enfin la dernière anticipation que nous citerons concerne la suralimentation des moteurs d'aviation par compresseur centrifuge entraîné mécaniquement, idée brevetée par Paul Daniel en 1913.

C'est pendant cette même période qu'on voit éclore les toutes premières idées et réalisations des moteurs à réaction aérobique. Il s'agit de la réalisation à Paris par l'ingénieur roumain Henri Coanda, du premier moto-réacteur exposé en 1910 au salon de l'aviation sur l'appareil qu'il équipait. Doté d'un compresseur centrifuge, d'un moteur Clerget de 50 ch. et d'une chambre de combustion annulaire, il développait une poussée de 2,2 kN. L'autre idée concerne le principe de fonctionnement du statoréacteur breveté en 1913 par le Français Lorin, mais sans aboutir alors à aucune réalisation.

Les moteurs à hydrocarbures lourds

Pendant la dernière décennie du XIX^e siècle se développe, à côté des moteurs à essence dont nous venons de parler et pour la création et l'essor desquels la France et l'Allemagne se sont partagées la gloire (l'Allemagne pour les moteurs d'automobile, la France pour ceux d'avion), une autre catégorie de moteurs à combustible liquide. Il s'agit de ceux qui utilisent les fractions plus lourdes du pétrole: le pétrole lampant et le fuel diesel. Si la France n'est pas absente du processus de création de cette technique, le rôle qu'elle a joué fut moins important que celui de l'Allemagne. C'est dans ce dernier pays, ainsi qu'en Angleterre et dans d'autres pays de l'Europe du nord, que furent conçus les principaux types de moteurs à hydrocarbures lourds dont le diesel et le semi-diesel.

La construction de ces moteurs commença à se développer grâce à certains avantages, notamment une construction simple et robuste et un prix plus bas du combustible. Les premiers sont des moteurs à combustion à volume constant (à explosion) avec l'admission du combustible pendant la course d'admission. Ils sont donc des moteurs de même type que ceux à essence avec lesquels ils partagent d'ailleurs une origine commune (les premiers moteurs à combustible liquide conçus au début des années 1880 (F. Forest, Witting et Hess, etc.) utilisent plutôt le pétrole lampant que l'essence). Ils diffèrent des moteurs à essence par le système d'alimentation (les carburateurs remplacés par les vaporisateurs et les pulvérisateurs), par celui d'allumage (tube d'allumage, ou contact avec une partie non refroidie de la culasse), etc.

L'Allemagne et la France, à côté de l'Angleterre et des Etats-Unis sont à la fin

des années 1880 les pays initiateurs; l'Angleterre occupa la première place, l'Allemagne dépassa largement la France. A l'exposition universelle de Paris de 1889 on pouvait déjà voir, à côté de nombreux moteurs à essence ou à gaz, deux moteurs à hydrocarbures lourds. En 1894 sont organisés, pour la première fois à Meaux, à Berlin et à Cambridge, des concours concernant expressément ces moteurs.

Parmi les constructeurs allemands, c'est la maison Deutz qui se trouvait dans le peloton de tête avec 1700 moteurs, d'une puissance allant de 1 à 30 ch., livrés entre 1891 et 1900. Emile Capitaine fut un autre grand concepteur de tels moteurs, fabriqués à partir de 1888 par les maisons Grob et Cie et Swidersky, toutes les deux de Leipzig, Dopp frères de Berlin, etc. Vers 1900, plus de 4000 moteurs Grob étaient en service. Daimler a construit des moteurs conçus par les frères Spiel. Citons encore Körting, Nürnberger Maschinenbau, Bielefelder Maschinenfabrik, etc.

En France, les fabricants de moteurs à hydrocarbures lourds avec introduction du combustible pendant la course d'admission, furent également assez nombreux, mais leur production resta inférieure à l'ensemble de celle des maisons allemandes. Citons la maison Niel, qui dans ses ateliers d'Evreux, a construit de très réussis moteurs de 35 ch.; Merlin et Cie de Vierzon gagna le premier prix au concours de Meaux en 1894; Charon conçoit un moteur très apprécié par le Ministère de la Guerre. Enfin Letombe, Levasseur, Millot, Thèvenin frères et surtout la maison Sautter-Harlé sont les autres constructeurs français les plus connus. Ce dernier, qui va jouer un grand rôle dans l'industrie des moteurs à combustion interne en France, lança à partir de 1895, la production des moteurs à hydrocarbures lourds.

La fabrication de moteurs à hydrocarbures lourds, avec l'introduction du combustible pendant la course d'admission, a été abandonnée à partir de 1905 environ. En essayant de les perfectionner, d'autres principes de fonctionnement furent mis en évidence. Il s'agit des brevets et moteurs (dont ceux de l'Anglais Ackroyd-Stuart ont occupé une place privilégiée) qui ont évolué pour aboutir à la création des moteurs semi-diesel (à boule chaude) et au moteur diesel lui-même.

L'Allemagne et surtout la France ont joué un rôle modeste dans la création et la construction des moteurs semi-diesel qui sont restés l'apanage de l'Angleterre et des pays scandinaves; retenons surtout les noms de Priestman, Ackroyd-Stuart et celui de l'ingénieur suédois E. A. Rundlöf chez Bolinder. Dans ce domaine une comparaison franco-allemande est sans objet.

Par contre, dans le domaine des moteurs diesel la comparaison est intéressante. Le protagoniste allemand, Rudolf Diesel, est né en France et a une double culture franco-allemande. Le moteur est une création allemande mais la France joua un rôle pionnier surtout dans sa promotion en tant que moteur de sous-marin, cette autre branche technique qui est née grâce au moteur à combustion interne.

Diesel et son moteur

La construction, à la fin du XIX^e siècle, du moteur diesel est un événement important dans l'histoire des techniques, non seulement par l'exceptionnel rôle

qu'il joue aujourd'hui en étant le moteur thermique le plus utilisé, mais aussi par les démarches qui ont mené à cette réalisation. Démarche scientifico-technique qui marqua bien les nouveaux rapports entre la théorie et la pratique: matérialisation d'un fonctionnement d'après un cycle thermodynamique préalablement établi et corrigé à la suite d'essais pratiques. Démarche publicitaire de promotion d'une idée afin de trouver les supports financiers indispensables. Avec Diesel on rentre dans le monde industriel contemporain.

Né à Paris, à côté du Conservatoire des Arts et Métiers, ce sanctuaire de la technique qui l'a fasciné dans son enfance, R. Diesel après avoir fait ses études à la Technische Hochschule de Munich, était revenu pour quelques années à Paris. Dès le début de sa carrière, il fut préoccupé par la réalisation d'un moteur de rendement maximum dont il voyait le cycle de fonctionnement calqué sur le cycle Carnot. Il prit, en 1892, un brevet pour la construction d'un tel moteur en Allemagne et dans d'autres pays, dont la France. En quête de sponsors, il publia une brochure intitulée: »Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors.« L'appui le plus important a été celui de la maison Maschinenfabrik d'Augsbourg où Diesel a construit tous ses moteurs d'essais jusqu'à la réalisation en 1897 du premier moteur viable. D'autres industriels qui avaient acquis le brevet apportèrent également une aide technique et financière. Il s'agit essentiellement de la maison Krupp en Allemagne et de Frédéric Dyckhoff en France.

Les aspects théoriques et techniques abordés pendant les cinq années d'essais furent nombreux: type de cycle de fonctionnement (dont taux de compression préalable), système d'alimentation (injection, suralimentation, combustible), système d'allumage, etc. Ils furent étudiés surtout à Augsburg mais aussi à Bar-le-Duc où, dès 1894, Frédéric Dyckhoff, ami de Diesel, avait fondé la Société Française des Moteurs Diesel et avait construit un efficace moteur d'essais. C'est ici que furent effectués en 1897, les premiers essais réussis du nouveau moteur, deux semaines avant ceux réalisés en Allemagne par le professeur Moritz Schröter: rendement économique 26 % (rendement thermique 34 %).

Pendant l'année 1897, le moteur a été testé dans plusieurs pays, tests qui ont fait l'objet de rapports officiels. Ainsi en Allemagne, en juin, M. Schröter présente ses résultats devant le Verein Deutscher Ingenieure. En France, le 30 avril, une commission, constituée par Edouard Sauvage, Professeur à l'Ecole des Mines, Paul Carié, Ingénieur en Chef aux Chantiers de la Méditerranée et les ingénieurs Dyckhoff et Merceron, fait des essais. Le bulletin de la Société des Ingénieurs Civils en rend compte et insiste sur les avantages du moteur.

Cette publicité donna des résultats: jusqu'en 1900, 51 constructeurs à travers le monde achetèrent la licence dont Krupp et Deutz en Allemagne et Sautter-Harlé en France.

Parallèlement, en 1899, le premier moteur diesel à deux temps était construit par la Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN), maison créée en 1898 par la fusion de celles de Nuremberg et d'Augsbourg. Le moteur fut conçu par l'ingénieur allemand Hugo Güldner.

Cependant, le moteur diesel à 2 ou 4 temps n'est pas encore mis au point. C'est surtout le système d'injection pneumatique qui est défaillant.

De 1900 à la Première Guerre mondiale, deux périodes peuvent être mises en évidence: 1900 à 1907, où la production piétina et 1907-1914, quand l'essor commence.

Pendant la première période un nombre restreint d'industriels persévèrent dans la construction: MAN, Sautter-Harlé, la Société Française des Moteurs Diesel.

En 1907, quand le brevet de Rudolf Diesel tombe dans le domaine public, sa construction fut reprise par plusieurs maisons telles: Deutz, Krupp, Körting, etc.

Les moteurs diesel fixes et de marine

Le moteur évolua vers l'augmentation de la puissance totale qui, vers 1914, dépassera 2400 ch.; la MAN et Krupp étudièrent même un moteur de 6 cylindres à double effet de 12 000 ch. L'accroissement de la puissance spécifique est un autre objectif poursuivi, exigé surtout par l'utilisation des moteurs sur les bateaux et sous-marins. Si les grands moteurs fixes sont lents (100 t/mn), ceux de marine tournent déjà vers 1914 à 600 t/mn.

Après 1907 et pour les besoins de la navigation, ce furent les moteurs à 2 temps qui commencèrent à se répandre, vu leur puissance spécifique supérieure à celle des moteurs à 4 temps. Cependant ce dernier type de moteur, qui avait eu le monopole avant 1907, a dominé le marché jusqu'en 1914. Avant la Première Guerre des solutions différentes de construction furent essayées: le double effet, les pistons opposés, etc. Les principaux constructeurs de moteurs diesel de cette période sont:

En Allemagne: Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.G. (MAN); Friedr. Krupp A.G. Germaniawerft à Kiel; Gasmotorenfabrik Deutz à Cologne; Güldner Motoren Gesellschaft à Aschaffenburg; Körting frères à Hanovre; Benz & Cie. Gasmotorenfabrik A.G. à Mannheim, Dingersche Maschinenfabrik A.G. à Zweibrücken; A.G. Görlitzer Maschinenbau-Anstalt und Eisengießerei à Görlitz; Reiherstieg Schiffswerfte und Maschinenfabrik à Hambourg; A.G. Weser à Bremen; Blohm & Voss à Hambourg.

En France: Société Française des Moteurs Diesel à Bar-le-Duc (Dyckhoff); Société Anonyme de Chantiers et Ateliers Augustin-Normand au Havre; Sautter-Harlé, devenu Harlé & Cie à Paris; Schneider et Cie au Creusot; Les Chantiers de la Loire; Dujardin & Cie à Lille; Société des Moteurs Sabathé à la Chaléassière St-Etienne; Société Française des Moteurs à Gaz et Constructions Mécaniques à Paris.

Mais regardons de plus près quelques réalisations.

C'est la MAN qui resta le premier constructeur de moteurs diesel. D'après les plans de son ingénieur Immanuel Lauster, elle réalisa en 1901 un moteur à 4 temps qui pendant plusieurs années servira de modèle à tous les fabricants. Le premier type développait 70 ch. à 120 t/mn. Jusqu'en 1910, 17 autres types de moteurs de puissances différentes furent construits; le plus puissant, un 4 cylindres en ligne, développait 800 ch. Ces moteurs furent répandus dans le monde entier étant

fabriqués sous licence par plusieurs maisons dont les Ateliers et Chantiers de la Loire.

A partir de 1903 MAN commence la construction des moteurs de bateaux par un 140 ch. à 400 t/mn pesant 75 kg/ch. En 1907 elle achève la fabrication de ses premiers moteurs de sous-marins. Il s'agit de 4 moteurs verticaux à 4 cylindres en ligne d'une puissance de 300 ch. à 400 t/mn, livrés à la marine française où ils équipèrent les sous-marins »Circé« et »Calypso«. Ils pèsent seulement 33 kg/ch. En 1909 c'est à la marine allemande de recevoir les premiers moteurs diesel pour ses sous-marins »U19« et »U22«. Ils développent 850 ch. à 460 t/mn et pèsent 26 kg/ch.

Mais c'est en France que débute la construction des moteurs diesel à haute vitesse de rotation. Elle est due à l'ingénieur Adrien Bochet qui, entre 1901 et 1903, conduisit les recherches réalisées en collaboration par la Société Française des Moteurs Diesel et Sautter-Harlé. Elles aboutirent à un moteur à 4 temps à pistons opposés, qui développait une puissance de 25 ch. à 360 t/mn et pesait 124 kg/ch. et qui fut utilisé pour propulser une péniche.

En 1903 Sautter-Harlé produit 2 autres moteurs diesel: à pistons opposés 4 temps 2 cylindres de 120 ch. à 400 t/mn, montés pour la première fois sur un sous-marin, le »Z«. Six autres suivront pour les submersibles »Opale«, »Emeraude« et »Rubis« de la marine française. Il s'agit cette fois-ci de moteurs à 4 temps simple effet à 4 cylindres en ligne de 300 ch. à 340 t/mn qui pèsent 62 kg/ch.

La construction des diesel marins à 2 temps fut inaugurée par la maison suisse Sulzer, en 1905; les maisons allemandes et françaises suivront bientôt l'exemple. C'est toujours cette maison qui construira, en 1910, le premier diesel de locomotive.

Ne terminons pas cette succincte présentation de l'évolution du moteur diesel en Allemagne et en France sans mentionner quelques améliorations techniques essentielles d'avant la Première Guerre, dans la réalisation desquelles les 2 pays ne furent pas forcément protagonistes.

Il s'agit de l'injection mécanique à haute pression, essentielle pour le moteur diesel rapide, rendue efficace en 1910 par l'Anglais McKechnie, ingénieur chez Vickers. Elle fut pourtant envisagée dès 1905 en Allemagne par Diesel lui-même, qui prit un brevet sous le nom d'Oscar Lintz, et en France par l'ingénieur Wissler qui travaillait chez Sautter-Harlé.

La géométrie des chambres de combustion, notamment les pré-chambres, conçues par l'Anglais Ackroyd-Stuart pour son célèbre moteur, est étudiée en Allemagne par la Société Benz et par l'ingénieur Prosper l'Orange.

Quant à la suralimentation par turbocompresseur, conçue par le Suisse Alfred Büchi dès 1905 et testée chez Sulzer en 1911, elle ne fut envisagée avant 1914 ni par les constructeurs français ni par les Allemands.

De cette brève présentation de l'industrie des moteurs à combustion interne, telle qu'elle est née et s'est développée sur le plan technique en France et en Allemagne, apparaît assez clairement une évolution parallèle et interdépendante. Il existe pourtant des secteurs où l'un ou l'autre des pays est pionnier: moteur d'automobile pour l'Allemagne, moteur d'aviation pour la France, par exemple. Il est

possible également de constater une supériorité allemande au niveau du volume et de l'organisation de la production mais aucunement au niveau de l'invention technique ou de la théorie scientifique. Si la meilleure organisation allemande conduit quelquefois à des produits plus fiables, il n'en reste pas moins que ceux-ci trouvent souvent leur consécration en France, où Paris est la vitrine non seulement de la vie culturelle de l'Europe, mais également de son industrie. Les différentes expositions universelles et salons en témoignent.

Une même conception de la recherche existe, manifestée par la collaboration étroite université-industrie (Witz et Sauvage en France, Schröter et Salby en Allemagne par exemple).

Tout ceci ne rentre pas dans le schéma, souvent admis par l'historiographie actuelle, d'une évidente supériorité technique, d'invention et de recherche de l'Allemagne à partir de 1870.

Par ailleurs l'industrie des moteurs à combustion interne n'est pas née et n'a pas évolué dans le cadre d'une guerre économique franco-allemande, mais si guerre il y a eu, c'était entre les différents industriels le plus souvent du même pays. Les procès autour du cycle à 4 temps constituent un bon exemple tout comme la livraison des moteurs français d'aviation à l'armée allemande ou des moteurs diesel allemands à la marine française.

Le développement de cette importante branche industrielle, qui est d'abord une création franco-allemande avant d'être une industrie européenne, est, nous semble-t-il, une belle illustration du rôle et de la responsabilité de ces deux pays dans la construction européenne.

Bibliographie sommaire:

Diesel (E.), *Diesel: der Mensch, das Werk, das Schicksal*, Stuttgart, 1969.

Diesel (E.), *Goldbeck* (G.), *Schildberger* (F.), *Vom Motor zum Auto*, Stuttgart, 1958.

Evans (A.), *The history of the oil engine from the year 1860 to the beginning of the year 1930*, Londres, 1930.

Gilles (J. A.), *Die Flugmotoren 1910-1918*, Frankfurt, 1971.

Guldner (H.), *Calcul et construction des moteurs à combustion*, Paris, 1905.

Herlea (A.), *Les moteurs à combustion interne*, dans: *Histoire Générale des Techniques*, Paris, PUF, 1978, t. IV, p. 156-244.

Herlea (A.), *La création, l'évolution technique et l'importance économique des moteurs industriels à combustion interne à piston jusqu'en 1914*, Paris, 1977. Thèse CNAM-EHESS.

Herlea (A.), *Les moteurs d'aviation: croissance et évolution en France jusqu'à la fin de la Deuxième Guerre mondiale*, dans: *L'archéologie industrielle en France*, Paris, 1987, p. 113-139.

Herlea (A.), *Naissance et évolution de la théorie des moteurs*, dans: *Technik und Technikwissenschaft*, ICOHTEC, Dresden, 1986, p. 109-116.

Payen (J.), *Les moteurs à combustion interne; une invention dans les textes*, Paris, 1964.

Payen (J.), Beau de Rochas devant la technique et l'industrie de son temps, dans: *History of Technology*, 10, 1985, p. 106-150.

Sass (F.), *Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918*, Berlin, 1962.

Serruys (M.), *Contribution française à l'évolution technique des moteurs alternatifs à combustion interne*. S.I.C.F., Paris, 1949.