

---

FUNÉRAILLES

DE

JEAN REY

Membre de la Division des applications de la science à l'industrie

à Paris,

le samedi 28 décembre 1935.

---

DISCOURS

DE

M. LÉON GUILLET

Membre de l'Académie des sciences.

---

MADAME,

Au nom de l'Académie des Sciences, au nom de la Société des Ingénieurs Civils de France, j'apporte ici l'expression de nos hommages profondément attristés et de nos plus vifs regrets.

MESSIEURS,

La vie de Jean Rey a été d'une magnifique unité.

Né à Ouchy près de Lausanne, de parents français, en 1861, il poursuivit ses études secondaires à Milan, puis au Collège Sainte-Barbe. En 1888, il entra avec le N° 1, à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines.

Muni de son diplôme d'Ingénieur, il fut attaché aux travaux de la carte géologique de France et à la Maison Sautter-Lemonnier, qui avait déjà une grande renommée dans la construction des machines électriques et des phares et devenait bientôt la Maison Sautter-Harlé. C'est là que devait s'accomplir toute sa très belle carrière, durant 45 années d'un labeur incessant, de recherches productives, d'invention intéressant au plus haut point la défense nationale.

L'ensemble de ses études peut être divisé en quatre grands chapitres ayant d'ailleurs de nombreux points communs:

Ses travaux se rattachant à l'Electricité: commande électrique des appareils de navire, notamment des appareils de pointage, des moteurs et gouvernails de direction et de plongée des sous-marins, commande des grands chars d'assaut.

Ses recherches relatives à l'Optique: détermination, en collaboration avec notre confrère M. Blondel, de la loi sur la visibilité; recherches sur le fonctionnement des lampes à arcs, création de nouveaux systèmes de phares à réflecteur métallique (dès 1890, le Canal de Suez était éclairé par les appareils établis par notre Confrère).

Ses études de thermodynamique: c'est en 1925 que Jean Rey publia, dans les Annales des Mines, son très important mémoire sur les « Propriétés Physiques des Vapeurs de pétrole et les lois de leur écoulement », mémoire qui lui valut le prix Houllé, de l'Académie; en 1927, notre confrère présentait à l'Association technique Maritime et Aéronautique une belle étude sur le « Frottement de la vapeur d'eau dans les tuyaux et les ajutages ».

Enfin ses nombreux travaux de mécanique, notamment sur les moteurs Diesel; sur les turbines à vapeur, avec notre regretté Confrère Rateau; sur la construction des mines sous-marines. De longues années de recherches furent consacrées à l'étude des éjecteurs de fluide; ainsi fut augmenté considérablement le rendement des appareils qu'il a nommé thermo-compresseurs et dont tout récemment encore il entretenait notre Compagnie.

Quelle activité productive!

Jean Rey fut:

Président du Syndicat des Industries Electriques, Président de la Société Française des Electriciens et du Conseil de Perfectionnement de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Vice-Président de l'Association Technique Maritime et Aéronautique et de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, Membre du comité consultatif des Arts et Manufactures, Membre de l'Académie de Marine. Jean Rey fut appelé à siéger à l'Académie des Sciences dans la Division des Applications de la Science à l'Industrie, le 16 juin 1930.

Il avait été promu Commandeur de la Légion d'Honneur en 1928; il avait une affection toute particulière pour la Médaille d'honneur du Travail que lui valut sa longue carrière dans la Maison Sautter-Harlé.

C'est en 1933 qu'il fut appelé à présider la Société des Ingénieurs Civils de France; il y provoqua de longs exposés et d'importantes discussions sur la production agricole et sur le grave problème de la collaboration du rail et de la route.

J'ai cherché, Madame, à taire jusqu'ici ma profonde émotion. C'est, en effet, une amitié de trente-trois ans que je vois s'éteindre aujourd'hui, une de ces affections basées sur les mêmes préoccupations, les mêmes sentiments, les mêmes aspirations.

Jean Rey était un ami délicieux, au cœur plein de charme, toujours soucieux du bien général et de l'avenir de la France pour laquelle il a tant et si bien travaillé. Son jugement sûr, son regard tou-

jours clair, parfois ironique; sa parfaite droiture; sa sérénité de grand chrétien lui attireraient les plus profondes sympathies.

Que les siens, si cruellement éprouvés, trouvent les plus hautes consolations dans l'admirable vie de celui qu'avec eux nous pleurons.

Sa mémoire ne disparaîtra pas et « son nom sera légué comme le plus bel héritage aux enfants de ses enfants ».



NOTICE  
SUR LA VIE ET L'ŒUVRE  
DE  
**JEAN REY**

(1861 — 1935)

PRÉSENTÉE EN LA SÉANCE DU 3 MAI 1937

PAR

**M. ROBERT ESNAULT-PELTERIE**

Membre de l'Académie des Sciences.

---

Jean Rey appartenait à une de ces vieilles familles françaises qui ont leur origine aux confins de la France et de la Suisse; son cerveau possédait les qualités de robustesse et de bon sens de la race savoyarde, le calme pragmatisme de la race genevoise.

Ayant passé quelques années de son enfance à Genève, le hasard des circonstances lui fit faire ses études secondaires à Milan, où les travaux mathématiques de son père sur les tables de mortalité ne furent probablement pas sans influence sur sa vocation scientifique.

Puis ce fut le retour à Paris, et la poursuite de ses études au Lycée Louis-le-Grand.

A 19 ans, Jean Rey était admis à l'École centrale, mais l'état de sa santé devait l'empêcher d'y entrer. Un long repos ayant été jugé nécessaire, il ne le comprit que dans un changement de forme de son activité et s'embarqua sur un petit trois-mâts qui devait, en deux ans, accomplir le tour du monde.

Ses connaissances scientifiques firent bientôt de lui un aide précieux pour le commandant; il prenait le quart et faisait le point. Le Second étant tombé malade, Jean Rey fut appelé à le remplacer définitivement et, tout jeune, il exerça ainsi d'emblée, pendant le reste de la campagne, un commandement effectif à bord.

Cette première marque du destin, survenue dans des circonstances si exceptionnelles, présageait-elle donc, quarante ans d'avance, la place que devait lui réserver l'Académie de Marine?

A son retour, Jean Rey, de nouveau admissible à l'École centrale, opte cependant pour l'École des Mines où il entre, et dont il sort, premier de sa promotion, en 1887. Il demeure lié à cette école en qualité de préparateur de Fuchs (Géologie), puis il est attaché, comme ingénieur d'études, à la Direction de la Maison Sautter-Harlé. Sa voie est désormais tracée: elle suivra les différentes branches techniques de cette Maison.

Pour se faire une idée de l'activité intellectuelle de Jean Rey, il faut parcourir la liste des fonctions que son caractère lui interdisait de considérer comme purement honorifiques, mais l'obligeait au contraire à remplir avec conscience.

Il fut:

Membre du Comité, puis Vice-Président de la Société Internationale des Electriciens — Membre du Comité de la Société des Ingénieurs civils de France (Section de Mécanique) — Membre de la Société de Géographie de Genève — Membre correspondant de la Société des Arts de Genève (Classe Industrie et Commerce) — Président de la Section d'Électricité à la Société des Ingénieurs civils de France — Membre du Bureau de ladite Société — Président de la

Section d'Électricité au Congrès National du Génie civil, en mars 1918 — Président de la Société française des Électriciens — Président de la Commission administrative de l'École supérieure d'Électricité et du Laboratoire central d'Électricité, ainsi que du Conseil de Perfectionnement de l'École supérieure d'Électricité — Membre de l'Association technique Maritime, puis Vice-Président de l'Association technique Maritime et Aéronautique; — il devint enfin Membre de l'Académie de Marine.

Il fut également Vice-Président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale — Membre du Comité Electrotechnique français — Membre du Comité permanent d'Électricité au Ministère des Travaux publics — Conseiller technique au Sous-Secrétariat des Inventions — Membre du Comité de l'Union des Syndicats de l'Électricité — Président du Syndicat professionnel des Industries électriques — Vice-Président de l'Union des Syndicats de l'Électricité — Membre du Comité de la Confédération générale de la Production française comme Délégué du Syndicat professionnel des Industries électriques — Membre du Conseil National Économique . . . etc..

En 1928, le Ministre de la Marine l'a promu au grade de commandeur de la Légion d'Honneur pour services rendus à la Marine Nationale; enfin, l'élection de Jean Rey à l'Académie des Sciences, en remplacement de son illustre ami Auguste Rateau fut, en 1930, le couronnement de cette carrière bien remplie.

Il serait impossible d'analyser les travaux de Jean Rey, sans les classer; ils appartiennent à trois catégories différentes: Electro-mécanique — Optique — Thermodynamique, et se rattachent tous à l'activité de la maison Sautter-Harlé, dont Jean Rey est devenu progressivement l'âme technique.

#### *I. — Electro-mécanique.*

Le but final qui pousse Jean Rey dans cette voie est la création de groupes moteurs pour sous-marins: dès 1901, il songe à réaliser un moteur à explosion à pétrole ou à huile qui pourrait actionner les génératrices électriques de ces bateaux.

Un premier moteur de 25 CV est construit, suivi, en 1904, d'un second modèle développant 80 à 100 CV à la vitesse de 380 T. M.

De ces deux prototypes sort bientôt un nouveau moteur à cylindres verticaux, construit pour le sous-marin Opale, qui exécute brillamment ses essais au mois d'Avril 1907.

Ces moteurs à quatre cylindres pouvaient fournir une puissance normale de 350 chevaux à la vitesse de 300 tours par minute, avec une consommation d'huile lourde inférieure à 200 gr. par cheval. Leur poids, en ordre de marche, n'était que de 56 kg. par cheval, pour la puissance maximum de 395 chevaux à 340 tours. La Marine française se trouvait donc dotée, en 1907, d'un sous-marin d'une puissance de 700 chevaux environ, sans chaudière ni machine à vapeur, et qui montra les plus brillantes qualités de souplesse et d'endurance.

Aucune puissance maritime ne possédait un pareil engin et la France avait, sur ses rivaux, une avance de trois à quatre années.

Dès lors, le système n'a fait que se développer et, en 1911, Jean Rey a pu livrer, pour le sous-marin Mariotte, deux machines à six cylindres, fournissant chacune 700 chevaux à la vitesse de 400 tours, pour un poids de 41 kg. par cheval.

Ces réalisations de propulsion électrique des navires furent continuées sur deux bâtiments de surface: le «Guaruja» et l'«Ipanéma», appartenant à la Société des Transports Maritimes à vapeur. Ces deux paquebots ont été construits peu après la guerre et ils sont en service depuis 1922 sur la ligne de l'Amérique du Sud.

Le problème à résoudre, dans ce dernier cas, consistait à donner aux bâtiments deux vitesses différentes: pour le transport d'émigrants, dans le sens Europe-Amérique, un régime paquebot à 13 nœuds et pour le transport de marchandises, dans le sens Amérique-Europe, un régime cargo à 10 nœuds environ.

L'arbre de l'hélice était actionné par deux moteurs électriques, l'un de 1200 chevaux, à 48 pôles, tournant à 123 tours par minute, l'autre de 2400 chevaux, à 36 pôles, tournant à 163 tours par minute. Ils



étaient alimentés par deux groupes électrogènes à turbines système «Ljungström», de 1000 kilowatts chacun, tournant à 3000 tours.

Au régime cargo, un seul groupe alimentait le moteur de 1200 chevaux; au régime paquebot, les deux groupes couplés en quantité, fournissaient le courant au moteur de 2400 chevaux. Cette combinaison, assez complexe, a été facilement résolue par l'emploi de l'électricité; elle eût été irréalisable par des moyens purement mécaniques.

La propulsion électrique donnait un avantage considérable en permettant de développer, en marche arrière, la même puissance qu'en marche avant. La manœuvre était facile et rapide; le passage de la marche avant à la marche arrière, s'effectuant en sept secondes seulement.

La consommation de mazout, fort économique pour ce genre de bâtiment, était seulement de 425 g. par cheval sur l'arbre de l'hélice, correspondant à 50 kg. de mazout par mille parcouru, résultat remarquable pour un cargo de 5000 t. de port en lourd.

Pour obtenir de semblables résultats, il ne suffisait pas d'étudier à fond l'élément moteur du groupe électromécanique; les dispositions des machines électriques elles-mêmes furent soumises à une soigneuse analyse mathématique; Jean Rey a donc dû exercer sa sagacité dans cette voie également.

La mesure du rendement des moteurs à courant continu, surtout au delà d'une certaine puissance était, en 1894, une opération délicate et qui présentait des difficultés théoriques et pratiques considérables. Jean Rey eut l'occasion d'étudier cette question au sujet d'un moteur électrique de 720 chevaux (puissance exceptionnelle à l'époque) qui était destiné à la propulsion d'un de nos premiers sous-marins, le Gustave-Zédé, construit à Toulon. Ce moteur était constitué par deux induits en tandem, il était donc possible d'appliquer, pour la première fois, à grande échelle, la méthode d'opposition, le moteur pouvait être scindé en deux parties, chacune de puissance moitié.

Jean Rey donna, dans le Bulletin de la Société Internationale des

Electriciens, en Juin 1894, diverses formules permettant d'obtenir, avec un écart moyen de 0,5 pour 100, la valeur du rendement mécanique de ces machines.

#### TURBO-MACHINES.

##### *Turbines à vapeur.*

Dès son entrée dans l'industrie, au mois de décembre 1888, Jean Rey prenait contact avec les premières turbines à vapeur Parsons, dont la construction commençait aux ateliers Sautter-Lemonnier.

Ces turbines avaient une puissance qui ne dépassait pas 50 à 60 chevaux. Elles étaient constituées par un tambour garni de couronnes d'ailettes au nombre d'une centaine, où la vapeur se détendait successivement, par réaction.

Ces machines, tournant à une vitesse de 9000 à 10000 tours par minute, entraînaient directement une dynamo constituée par un induit en tambour tournant entre deux pièces polaires. L'ensemble était remarquablement léger et peu encombrant, mais d'un rendement médiocre et inférieur à celui des machines à piston que l'on construisait à l'époque.

Les difficultés du fonctionnement de la dynamo résidaient dans le fait que la partie tournante était soumise à une fréquence de 150 périodes par seconde, et même davantage. Les pertes par hystérésis et par courants de Foucault étaient considérables et l'échauffement incompatible avec un fonctionnement normal.

Vers 1893, désireux d'établir une construction qui soit française depuis ses bases techniques mêmes, Jean Rey s'associait avec son illustre ami, Auguste Rateau, instituant une collaboration de perfectionnement des turbo-machines, qui n'a cessé que 13 années plus tard. Les premières de ces machines étaient constituées par une seule roue d'action utilisant la vapeur entièrement détendue dans une tuyère convergente-divergente; cette roue était munie d'aubages symétriques dans le genre des augets Pelton. Dans les groupes électro-

gènes ainsi entraînés, un engrenage réduisait la vitesse de façon que la dynamo puisse fonctionner dans des conditions normales pour l'époque. Les premières de ces turbines développaient une puissance d'une cinquantaine de chevaux, à 15.000 ou 20.000 tours par minute.

Auguste Rateau brevetait alors sa célèbre turbine multicellulaire d'action dont une unité puissante fut étudiée sans délai aux usines Sautter-Harlé. Le premier exemplaire en était mis au point au cours de l'année 1900; il actionnait un alternateur à fer tournant, d'une puissance de 1000 chevaux. Un modèle de même puissance fut monté sur un torpilleur d'essai, pour la Marine française, et constitua le premier exemplaire de turbine d'action appliquée à la propulsion des navires.

En mars 1904, dans une communication à la Société des Ingénieurs civils de France, Jean Rey décrivait les différents appareils réalisés et proposait une classification, non seulement des divers systèmes de turbines à vapeur déjà imaginés, mais encore de ceux qu'on pouvait envisager. Cette classification était basée sur trois ordres de considérations: le nombre des roues mobiles, le mode de parcours du fluide moteur, le mode de fonctionnement de la vapeur.

Dans la même note, Jean Rey donnait une définition du rendement des turbines à vapeur; il montrait comment calculer ce rendement et quelles étaient les expériences à faire pour sa détermination pratique. Jean Rey développait enfin une considération très importante: celle de la variation du rendement avec la charge de la machine.

Cette communication valut à son auteur l'attribution du prix annuel de la Société des Ingénieurs civils de France (grande médaille d'or pour 1904).

En 1910, Jean Rey eut l'occasion de présenter à nouveau quelques remarques sur les turbo-machines à la Société des Ingénieurs civils de France (Bulletin d'Avril 1910). Il désirait faire connaître alors les nouvelles mesures de rendement obtenues sur des turbines de divers modèles. L'emploi d'un frein hydraulique constitué par des roues mobiles tournant dans l'eau et montées sur couteaux permettait de

donner une grande exactitude aux déterminations du rendement mécanique.

Dans une Notice, Jean Rey faisait connaître également les derniers procédés employés pour le réglage des turbines mixtes alimentées par deux ou trois sources différentes de vapeur, comme c'est le cas de certaines machines installées dans les charbonnages et qui utilisent, au moyen de l'accumulateur Rateau, les vapeurs perdues des machines d'extraction, en même temps que la vapeur vive provenant d'une chaudière

La construction des turbines entraînait naturellement l'étude des appareils divers qu'elles devaient commander; l'avantage qu'apporte toujours avec elle la simplicité conduisait à l'étude de toute une série de machines nouvelles à grande vitesse de rotation: génératrices électriques, pompes et ventilateurs centrifuges mono ou pluricellulaires.

Dans une communication à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (Bulletin de Juin 1904), Jean Rey a indiqué les principales caractéristiques de pompes multicellulaires ainsi que les résultats qu'elles permettent d'obtenir. Il a également indiqué les méthodes employées pour mesurer le rendement et tracer les caractéristiques de chaque pompe, c'est-à-dire son rendement propre et son pouvoir manométrique.

Depuis cette époque, ces appareils ont pour ainsi dire complètement supplanté les pompes à piston dans les mines. Dans les cas où l'on dispose de vapeur, on a toujours avantage à combiner une turbine à vapeur avec une pompe centrifuge multicellulaire, si l'on veut obtenir, avec un excellent rendement, un groupe de poids et d'encombrement limités.

Dans un exposé fait en 1910 devant la Société des Ingénieurs civils de France, Jean Rey décrit quelques modèles plus récents de pompes et de ventilateurs multicellulaires. Pour ces derniers appareils, tournant à des vitesses de 3000, 4000 et 5000 tours par minute et qui sont commandés directement par une turbine à vapeur, il s'est présenté,

dès l'origine, une difficulté toute particulière dans ce qu'on appelle « le pompage ».

Selon la manière dont les aubages sont tracés, on constate qu'au-dessous d'un certain débit, voisin de 50 pour 100 du débit normal, l'appareil, au lieu de débiter à gueule bée, imprime au flux gazeux un mouvement de va-et-vient avec des oscillations de forte amplitude, la colonne gazeuse tout entière revenant en arrière. Pour éviter cet inconvénient, la courbe représentant le travail en fonction du débit, ne doit pas monter indéfiniment, mais au contraire, passer par un maximum pour redescendre ensuite; c'est seulement ainsi qu'on peut obtenir la stabilité du fonctionnement.

En 1906 fut installé aux mines de Béthune le premier compresseur multicellulaire Rateau grand modèle, commandé électriquement et d'une puissance de 1300 chevaux; il était constitué par plusieurs corps placés sur deux arbres parallèles, commandés chacun par un moteur triphasé à 3000 tours par minute sous 5000 volts. Ce groupe, construit aux ateliers Sautter-Harlé, sous la direction de Jean Rey, fut le premier exemple, en Europe, de moteurs électriques aussi puissants, tournant à une vitesse aussi élevée. Des dispositifs spéciaux permettaient, au moment de la mise en marche, de mettre en court-circuit les induits du moteur, sans bagues ni balais.

Quand les turbines à vapeur sont couplées avec des génératrices électriques, comme dans le cas où des moteurs électriques doivent actionner des pompes ou ventilateurs centrifuges, la grande vitesse de rotation implique la solution de problèmes spéciaux.

La technique de ces machines s'est heurtée, dès l'origine, à de grandes difficultés. On s'aperçut notamment, dès les premiers modèles, que des vibrations anormales constatées dans les parties tournantes provenaient, d'une part, de la force centrifuge considérable de l'induit et, d'autre part, des inégalités d'entrefer.

Dès 1901, avec les premières électro-pompes Rateau à grande élévation, Jean Rey constate ces difficultés et il s'aperçoit bien vite qu'il faut, pour les éviter, supprimer toute dissymétrie de position du ro-

tor dans le champ inducteur. Il examine alors, par le calcul, quelle peut être l'influence des erreurs inévitables de construction, de façon à établir une limite de tolérance maximum dans les dimensions de l'entrefer.

Sa théorie et les formules pratiques qui s'en déduisent ont été publiées dans *l'Éclairage électrique*, numéros du 20 Février et du 12 Novembre 1904. La courbe qui représente l'augmentation d'attraction, lorsqu'il y a dissymétrie, est obtenue en fonction de l'excentricité du rotor; cet effort croît très rapidement avec ladite excentricité, puisqu'il passe, pour un moteur choisi comme exemple, de 304 kg à 4680 kg. lorsque l'excentricité passe elle-même de 5 0/0 à 50 0/0 de l'entrefer.

Ces formules ont été consacrées par la pratique et reproduites dans les *Formulaires de Construction électrique*.

## II. — *Optique*.

Les problèmes d'optique qu'eut à étudier Jean Rey étaient relatifs aux phares, projecteurs et fanaux de marine.

Il fut l'un des premiers, en 1888, à tenter l'utilisation de la lumière électrique dans ce genre d'appareils. Sa communication de Février 1889, à la Société internationale des Electriciens indiquait les résultats des expériences faites dans son Laboratoire, à ce sujet.

D'une manière générale, la substitution de l'électricité au pétrole, permettait d'augmenter de 70 pour cent la portée d'un même appareil optique. Naturellement la puissance utilisée commença par être assez modeste: à l'origine, on se contentait d'arcs de 15 à 20 ampères. On en vint rapidement à 50, 75 et 100 ampères; à l'heure actuelle on atteint 250, 300 ampères, et plus. Le développement de cette branche de l'optique industrielle nécessitait le perfectionnement des méthodes de mesure de la puissance lumineuse.

En 1894, M. Blondel imagina son lumenmètre et Jean Rey en fit établir le premier modèle, qui comportait un miroir elliptique en ver-

re argenté permettant de recueillir les rayons de la source dans toute l'étendue d'une zone sphérique.

La Communication de Jean Rey, en Mai 1895, à la Société internationale des Electriciens, donne la théorie de cet appareil, et fait connaître les résultats d'essais effectués sur des arcs électriques de diverses puissances. Pour la première fois on pouvait déterminer par une seule mesure le flux total émis par un arc électrique.

Dans une note commune à l'Académie des Sciences, Jean Rey et M. Blondel faisaient connaître leur nouvelle méthode d'analyse de la brillance; elle consistait à placer sur le trajet du faisceau, au sortir de l'appareil, un écran percé de trous circulaires d'un diamètre déterminé. Chacun de ces orifices était muni d'un bouchon amovible.

Ce procédé permettait une vérification complète de la théorie des projecteurs, en donnant le moyen d'étudier chaque faisceau élémentaire dont l'ensemble constitue le faisceau total. On pouvait également photographier l'image de la source lumineuse produite par chaque élément du réflecteur; il ne restait plus alors qu'à faire l'intégrale des mesures pour obtenir la puissance lumineuse totale de l'appareil.

Cette méthode a permis, non seulement d'étudier les meilleures formes à donner aux réflecteurs des projecteurs, mais d'analyser beaucoup mieux qu'on ne l'avait fait le rayonnement de l'arc électrique lui-même.

Toujours en collaboration avec M. Blondel, Jean Rey fut amené, dans le même ordre d'idée, à perfectionner les méthodes photométriques et photographiques d'étude des gros arcs à courant continu. Il résuma, dans une Communication à la Société internationale des Electriciens, en Juillet 1902, l'ensemble de ses résultats dont les points caractéristiques avaient fait l'objet d'un pli cacheté déposé à l'Académie des Sciences le 28 Octobre 1901.

Deux méthodes de mesures furent employées pour des intensités variant de 25 à 300 ampères; la première, directe, permettait d'étudier le cratère lumineux en isolant une portion parfaitement définie; la seconde, indirecte, à l'aide d'un écran diffuseur, faisait connaître l'éclat moyen de l'ensemble du cratère.

Contrairement aux résultats antérieurs, obtenus par la méthode photographique, Jean Rey, étendant beaucoup une conception antérieure de M. Blondel (1893), démontre que l'éclat intrinsèque d'un arc augmente avec la densité du courant dans le positif et cela dans une proportion considérable. Il indique également la loi de variation de l'éclat avec le diamètre du charbon; les nombreuses expériences de Jean Rey, poursuivies méthodiquement depuis sa Communication de 1902, l'ont toujours confirmée. Elles ont permis de préciser encore le phénomène de l'arc entre charbons purs, en montrant qu'à mesure que la densité de courant augmente, il s'établit trois régimes successifs. Ces trois états sont marqués par des éclats nettement différents avec augmentation assez brusque de leur valeur, lorsqu'on passe d'un régime au suivant.

A mesure que la technique des grands réflecteurs pour projecteurs ou pour phares se développait, il devenait indispensable de perfectionner également les méthodes de vérification des optiques elles-mêmes. Pour les projecteurs notamment, dont les réflecteurs sont d'une seule pièce, on avait proposé l'emploi de réseaux rectilignes dont l'image était reçue par un objectif convenablement placé. Ce dispositif n'est, en réalité, qu'un trompe-l'œil qui ne permet nullement de se rendre compte des aberrations optiques d'un réflecteur, mais seulement des défauts locaux qu'il peut présenter.

La nouvelle méthode imaginée par Jean Rey est exposée dans une Note à l'Académie des Sciences du 4 Août 1913. Elle est basée sur la photographie de l'ombre d'un réseau rectiligne placé dans le faisceau, et non plus de son image. Elle s'applique d'une manière générale non seulement aux réflecteurs paraboliques, mais également aux réflecteurs elliptiques ou hyperboliques dont l'emploi commence à se répandre pour l'obtention de faisceaux divergents. Elle donne le moyen de relever la courbure réelle d'un réflecteur et, par suite, fait connaître, en chaque point, l'erreur vraie de construction. Elle renseigne donc sur les retouches à faire soit à l'outillage, soit aux méthodes de fabrication.



On peut dire que, dans le domaine de l'optique industrielle des grands réflecteurs, cette méthode rend les mêmes services que celle de Foucault appliquée aux réflecteurs astronomiques.

Le problème général de l'éclairage des côtes ne consiste pas seulement à accroître l'éclat intrinsèque des sources lumineuses ainsi que le flux total qu'elles émettent, mais à rendre plus rationnelle l'utilisation du flux lumineux par un calcul judicieux des appareils optiques.

Toujours en collaboration avec M. Blondel, Jean Rey s'est attaché à déterminer la loi d'utilisation physiologique d'un feu déterminé, c'est-à-dire l'intensité de perception obtenue dans telle ou telle condition et notamment l'action comparée de l'intensité d'émission et de la durée. Cette étude a été poursuivie, aussi bien au laboratoire qu'à l'aide des renseignements fournis par les observations des navigateurs; les mesures de portées furent effectuées par l'Administration française des phares.

Dans une Note présentée à l'Académie des Sciences le 3 Juillet 1911, en collaboration avec M. Blondel, Jean Rey donna des résultats très précis obtenus par deux méthodes différentes consistant toutes deux à comparer deux sources lumineuses ponctuelles discontinues, réglables à volonté. Les deux catégories de résultats obtenus ont conduit à déterminer la loi générale qui relie la durée des éclats avec l'éclairement perceptible.

La loi Blondel-Rey ainsi obtenue exprime que la quantité d'éclairement réellement utilisée pour la sensation est indépendante de la durée de l'éclat. Il y a donc intérêt, pour la meilleure utilisation d'une source lumineuse dans un phare à éclats, c'est-à-dire pour la plus grande portée, à concentrer les éclats dans le temps le plus court possible.

Le détail complet des expériences et des calculs d'établissement de la nouvelle loi a été publié par les mêmes auteurs, dans le *Journal de Physique*, livraison de Juillet-Août 1911, et complété par eux dans les *Comptes Rendus* (15 Juin 1916), puis dans la *Lumière Électrique* (15 juillet 1916).

Jean Rey ne pouvait, à cette époque, disposer que d'un nombre restreint de faits expérimentaux; il en analysa les données en utilisant la notion de l'éclairement équivalent qu'il avait défini. Cette méthode lui permit de fixer, pour des coefficients de transparence donnés, les portées qu'on peut obtenir pour tel ou tel calibre de projecteurs dont l'éclairement pratique est connu; il put ainsi tracer des abaques d'une grande généralité qui donnent la portée d'un appareil déterminé, pour une transparence atmosphérique connue.

Pour la réalisation technique de ses appareils, Jean Rey sut mettre en œuvre tout à la fois les ressources de sa haute culture scientifique et celles de son ingéniosité et de sa patience. Il sut, par des calculs pénibles, transformer la construction des grands miroirs Mangin à deux surfaces sphériques de grande distance focale en celle de miroirs à court foyer, présentant un minimum d'aberration que le colonel Mangin n'avait jamais obtenu. Plus tard, il a perfectionné aussi la taille des grands miroirs paraboliques de métal et de verre.

Pour éviter la vulnérabilité des miroirs en verre, il a créé pour l'usage militaire des réflecteurs en bronze d'aluminium doré qui ont été employés pendant la guerre et furent les premiers projecteurs à lumière jaune évitant l'éblouissement.

Grâce aux perfectionnements de la construction des réflecteurs, il a pu les employer ensuite pour réaliser un nouveau système de phares de grand atterrage formé de plusieurs segments de miroirs paraboliques et pouvant réaliser avec des sources lumineuses appropriées des faisceaux plus concentrés et une portée plus grande que les optiques de Fresnel.

L'idée fondamentale consiste à créer des optiques catoptriques donnant au flux lumineux qu'elles utilisent le maximum de concentration. Pour les feux à éclats régulièrement espacés, il est possible de faire usage d'un seul réflecteur mais, pour les feux à groupes d'éclats, il est nécessaire de segmenter l'optique de manière à entourer la source lumineuse suivant l'angle solide maximum pour recueillir la plus grande partie du flux lumineux. Cette segmentation ne pourrait

se faire d'une manière pratique avec des miroirs en verre du système Mangin ou du système parabolique, car elle obligerait à des opérations trop coûteuses. Jean Rey porta donc son choix sur les réflecteurs métalliques, en exécutant le profil parabolique dans la masse même du métal, à l'aide de procédés inédits.

Le réflecteur d'une seule pièce est d'abord segmenté suivant le nombre des éclats à produire; puis l'opération de la taille et celle du polissage sont opérées sur la pièce entière dont on a réassemblé les divers segments. Une fois le miroir terminé, il est recouvert d'une couche d'or déposée à l'aide de procédés spéciaux, et convenablement bruni, pour obtenir le poli spéculaire.

Dans les dernières années de la guerre, quelques appareils du nouveau système ont été construits, notamment celui du phare de la Galite, en Tunisie. Les essais auxquels cet appareil fut soumis ont complètement vérifié les résultats du calcul. La puissance lumineuse de cette optique, bien qu'il s'agisse d'un feu à quatre éclats groupés, n'était pas inférieure à celle d'une optique du système Fresnel, à éclats réguliers, du plus grand modèle employé sur les côtes de la Méditerranée. Le progrès réalisé était donc considérable.

Dans les projecteurs, il ne s'agit plus d'obtenir un éclat visible le plus loin possible, mais d'éclairer un objet, plus particulièrement un aéroplane, à la plus grande distance possible; le problème n'est plus celui de l'éclat intermittent, mais celui de l'éclairage continu. Jean Rey indiqua les méthodes à employer pour le calcul de cet éclairage, suivant qu'on emploie des réflecteurs Mangin ou des réflecteurs paraboliques.

La distance de perception de l'objet éclairé dépend naturellement de la forme, de la dimension et de la couleur de cet objet, ainsi que de la couleur du fond sur lequel il se détache; au point de vue physiologique, elle dépend également de l'acuité visuelle de l'observateur.

Jean Rey a contribué aussi à la création de nouvelles combinaisons optiques pour les phares d'aviation, les projecteurs à faisceaux divergents, etc.

Concurremment, il a perfectionné les sources lumineuses, notamment en réalisant la première lampe à manchon incandescent chauffé par la vapeur de pétrole; cet appareil fut le résultat de ses études très poussées sur la vaporisation du pétrole; il a été adopté ensuite sous des formes plus ou moins différentes dans des phares du monde entier.

### III. — *Thermodynamique.*

Les études thermodynamiques de Jean Rey n'ont pas seulement concerné l'utilisation de la vapeur dans les turbo-machines; il fit une étude très poussée des propriétés de la vapeur de pétrole, découvrant notamment une particularité fort curieuse de sa courbe entropique, de laquelle il résulte que cette vapeur se surchauffe par la détente, au lieu de se saturer. Cette constatation lui permit des applications très remarquables dans des lampes de phares à vapeur de pétrole d'une part et dans la carburation avec ou sans carburateur des moteurs à huile lourde.

Dès 1902, Jean Rey s'est occupé de la possibilité de perfectionner les appareils industriels destinés à l'évaporation des liquides de toute nature.

On sait que l'évaporation à feu nu n'est plus employée que dans les contrées lointaines où l'on ne dispose pas des moyens de faire l'évaporation à l'aide de la vapeur d'eau. Jean Rey a donc repris le principe de recompression mécanique de la vapeur produite par l'évaporation elle-même, pour élever sa température et la faire resservir en la condensant à nouveau, tout en cherchant à remplacer les compresseurs mécaniques habituels par un appareil à jet.

L'idée n'était pas nouvelle en soi, mais elle avait toujours échoué à cause du rendement mécanique déplorable de ces appareils.

Après plusieurs années d'expériences, il put réaliser un thermo-compresseur dont le rendement mécanique est compris entre 25 0/0 et 30 0/0 tandis que les injecteurs usuels n'utilisent en compression que 3 0/0 à 4 0/0 de la puissance vive contenue dans la vapeur motrice. En 1908, le nouveau système prenait corps et, dans une communication à la Société des Ingénieurs civils de France, en Avril 1909, Jean Rey en indiquait les premières applications en comparant son rendement à celui des compresseurs à pistons ou des turbo-compresseurs jusque-là exclusivement utilisés industriellement dans le même but. Depuis lors, les applications du thermo-compresseur se sont multipliées.

L'injecteur de Jean Rey se distingue de tous ceux qui ont été imaginés, par la forme du mélangeur: la vapeur motrice s'échappe, non plus par une tuyère circulaire, mais en lame mince, par une tuyère rectangulaire, et se détend dans un diffuseur en angle dièdre percé de fenêtres d'aspiration de sections convenables par où s'opère l'entraînement de la vapeur qu'il s'agit de comprimer.

Le résultat obtenu quantitativement est le suivant: 1 kg. de vapeur vive peut entraîner 2 kg. de vapeur à la pression atmosphérique, et les recomprimer à 1 kg. 3 absolu, en élevant la température du mélange de 7° à 8°.

Un thermo-compresseur est, dans ces conditions, équivalent à un appareil à triple effet, avec cette différence qu'il travaille à la pression atmosphérique et ne nécessite pas de condenseur.

#### IV. — *Télémechanique*

Les projecteurs terrestres construits par Jean Rey pendant la guerre, l'avaient conduit à réaliser une commande télémechanique d'asservissement précis, reliant ce projecteur au chercheur acoustique.

Il profita, dans cette branche, de ses réalisations antérieures dans la commande électrique des tourelles de cuirassés, où il était parvenu à obtenir une précision au moins égale à celle des commandes hydrauliques.

Lorsqu'il s'agit de mouvoir électriquement le gouvernail d'un navire les difficultés sont d'un autre ordre, et n'avaient jamais été résolues. Jean Rey en eut raison en commandant l'arbre du gouvernail par l'intermédiaire d'un différentiel dont chaque maître-pignon était entraîné par vis tangente. La vitesse angulaire du gouvernail, au lieu de dépendre de la vitesse absolue de rotation de l'un ou l'autre moteur électrique, dépend de leur différence.

L'étude de ce problème spécial conduisit Jean Rey à créer un type de manipulateur qui permet le changement de marche, le démarrage progressif, le freinage électrique et le retour automatique au zéro, en n'employant que des contacts en charbon, dispositif d'un montage simple et facilement accessible, conditions particulièrement précieuses à bord des sous-marins.

#### V. — Mines sous-marines.

Dès 1905, Jean Rey entreprit l'étude des perfectionnements à apporter aux mines sous-marines. Pour que la mine soit efficace et devienne une arme redoutable, il faut:

1° Qu'elle renferme un système d'immersion à la fois précis et puissant, lui permettant de s'immerger à la profondeur optimum;

2° Qu'elle puisse résister suffisamment aux courants produits par la marée ou d'autres causes, sans que la dénivellation résultante soit trop considérable, ce qui rendrait la mine inoffensive;

3° Que le système d'inflammation soit combiné de manière à fonctionner sans retard, dès que la mine est heurtée, tout en demeurant inactif pendant les manœuvres à bord et insensible à l'effet des courants et de la houle;

4° Que la mine puisse recevoir des charges puissantes, allant jusqu'à 150 kg. et au delà, et que l'explosif effectue sa déflagration complète avant de prendre contact avec l'eau;

5° Que la flottabilité soit suffisante pour assurer une bonne immersion, sans toutefois dépasser la valeur qui permettrait le soulèvement par la houle;

6° Que la construction du crapaud d'ancrage permette le mouillage par grands fonds, tout en assurant une stabilité parfaite de l'engin et sa résistance aux déplacements que tendent à produire les mouvements de la mer.

Il importe également qu'une mine sous-marine ait des mécanismes robustes et qu'elle puisse résister, pendant plusieurs mois, à l'effet de la corrosion, à l'usure produite par ses mouvements et à l'attaque des organismes marins. Il faut enfin qu'elle soit d'un maniement et d'un transport commodes.

Plusieurs années furent absorbées par l'exécution de centaines d'expériences, soit en laboratoire, soit dans une salle d'essais *ad hoc*, soit à la mer; enfin 1916 fut consacré à la mise au point d'un système pratique de mines à mouillage par sous-marins, et Jean Rey apporta encore, par la suite, de grands perfectionnements à ses modèles initiaux.

Dans le cas de mouillages peu profonds, la mine, abandonnée à elle-même, descend d'un bloc avec son crapaud d'ancrage à travers un puits avec sas et va jusqu'au fond. Le flotteur se dégage alors du crapaud et remonte en déroulant son orin. Arrivée à la profondeur d'immersion voulue, un mécanisme agissant sous l'action de la pression ambiante provoque le verrouillage du tambour d'enroulement du câble et la mine se trouve arrêtée à la profondeur fixée. Cette série d'opérations se produit sous l'eau et en aucun cas la mine n'apparaît à la surface. Le sous-marin peut donc mouiller ses mines sans que rien décèle sa présence.

Quand il s'agit d'immersions par très grands fonds (1000 et même 1500 mètres), on ne peut laisser le flotteur descendre jusqu'au fond avec le crapaud; il serait écrasé par la pression. L'appareil est donc muni de dispositifs automatiques qui laissent filer le câble à partir d'une certaine profondeur d'immersion, le crapaud continuant à descendre pendant que le flotteur remonte légèrement.

Quand le câble a atteint une certaine longueur, un autre mécanisme, également réglé d'avance en fonction du fond, verrouille à nouveau l'orin, et l'ensemble recommence à descendre jusqu'à ce que le

crapaud touche. La longueur de câble filée est réglée d'avance pour que le flotteur ne descende pas plus bas que la profondeur dont il peut supporter la pression. Dès que le crapaud a touché, le filage recommence automatiquement jusqu'à ce que la mine remonte à la profondeur d'immersion désirée, instant auquel un verrouillage final a lieu.

On comprend que, pour réaliser un mécanisme qui effectue automatiquement des opérations aussi complexes, il fallait pouvoir calculer d'avance les mouvements respectifs du crapaud et du flotteur avant et pendant le filage de l'orin, puis avant et après que le crapaud a touché. Jean Rey dut donc exprimer analytiquement l'ensemble de ces multiples mouvements. Il vérifia les résultats de ses calculs au moyen de manomètres enregistreurs, sur des mines non chargées et put ainsi, selon la saine méthode scientifique, y introduire les coefficients pratiques nécessaires à une exactitude rigoureuse.

La technique qu'il a créée permet maintenant le mouillage de ces engins dans des mers profondes, à une assez grande distance des côtes, et dans des conditions particulièrement redoutables pour l'ennemi.

La qualité défensive d'une mine ne dépend pas seulement de la perfection de réalisation des desiderata et manœuvres qui viennent d'être indiqués; elle dépend encore de la répartition des mines: Jean Rey fit aussi un examen analytique complet du problème sous ce point de vue.

#### *Conclusion.*

Voici donc terminé le résumé des travaux qui remplirent la vie de Jean Rey.

Tous ceux qui ont été aux prises avec les difficultés de *la réalisation* seront pleins d'admiration pour sa puissance d'action et sa ténacité; songeant encore aux multiples fonctions qui ont été énumérées plus haut, ils se demanderont comment un seul homme a pu suffire à un tel labeur.

Si incroyable que cela paraisse, il trouvait encore le temps d'ac-



corder son attention à bien d'autres objets, et c'est avec une profonde émotion que je me souviens de la bienveillance et de l'enthousiasme juvénile avec lesquels il m'encourageait dans certains travaux difficiles dont il avait été chargé de suivre le développement. Peu de jours avant sa mort, il venait encore assister à l'une de mes expériences, alors que sa santé eût peut-être dû lui déconseiller de s'exposer au froid aigre d'une matinée d'automne, dont j'avais pris soin de le protéger de mon mieux.

Ce sera donc sur l'hommage ému de ma reconnaissance personnelle que je terminerai ces pages dont la rédaction fut pour moi l'exécution d'un pieux devoir.

---

## LISTE DES PUBLICATIONS DE JEAN REY (1).

## A. Ouvrages.

- Note sur les feux éclairs à l'huile et à l'électricité*, 150 pages, édité à Paris (1896).  
*Sur l'incandescence par la vapeur de pétrole appliquée à l'éclairage des phares*, 39 pages (1901).  
*Notice sur un nouveau système de phare à réflecteur métallique*, 100 pages (1913).  
*Portée des projecteurs de lumière électrique*, 166 pages (1915) (traduit en anglais. Londres, 1917).  
*Les propriétés physiques des vapeurs de pétrole et les lois de leur écoulement*, 251 pages, édité par la librairie Dunod, à Paris (1925).

## B. Autres publications.

1. OPTIQUE. — Études expérimentales de l'éclat des projecteurs de lumière (en collaboration avec A. Blondel). *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 31 janvier 1898, t. CXXVI, p. 404-407.  
 L'éclat intrinsèque des gros arcs à courant continu. *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, juillet 1902, t. II, (2<sup>e</sup> série), p. 593-614.  
 Sur la perception des lumières brèves à la limite de leur portée (en collaboration avec A. Blondel). *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 3 juillet 1911, t. CLIII, p. 54-56.  
 Sur la perception des lumières brèves à la limite de leur portée (en collaboration avec A. Blondel). *Journal de Physique*, juillet et août 1911, t. I (5<sup>e</sup> série), p. 530-550 et 643-655.  
 Méthode de vérification des réflecteurs optiques. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 4 août 1913, t. CLVII, p. 329-331.  
 Comparaison, au point de vue de la portée, des signaux lumineux brefs produits, au moyen d'un appareil rotatif, par des sources de lumière donnant des durées d'impression différentes. Conditions d'efficacité maxima du flux lumineux utilisé (en collaboration avec A. Blondel). *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 5 juin 1916, t. CLXII, p. 861-867.  
 Portées des signaux lumineux brefs contenant des flux lumineux égaux, mais répartis sur des durées d'impression différente. Conditions d'efficacité maxima du flux lumineux utilisé (en collaboration avec A. Blondel). *La Lumière électrique*, 15 juillet 1916, t. XXXIV (2<sup>e</sup> série), p. 54-61.

---

(1) Empruntée à la Notice nécrologique de Jean Rey par M. André Blondel, Membre de l'Académie des Sciences.

Phare de grand atterrage avec optique à réflecteurs métalliques. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 8 septembre 1919, t. CLXIX, p. 471-473.

Prédétermination expérimentale en laboratoire de la caractéristique d'un phare à l'horizon. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 6 octobre 1919, t. CLXIX, p. 616-618.

Portée obtenue par un phare de grand atterrage avec optique à réflecteurs métalliques. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 30 janvier 1922, t. CLXXIV, p. 289-291.

De la probabilité d'éclairer un avion à l'aide d'un faisceau de projecteur électrique. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 18 septembre 1922, t. CLXXV, p. 466-469.

De la probabilité d'éclairer un avion à l'aide d'un faisceau de projecteur électrique balayant le ciel. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 9 octobre 1922, t. CLXXV, p. 580-583.

L'éclairage des avions pendant la nuit à l'aide d'un faisceau de projecteur électrique. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, juillet-septembre 1923.

Brillance et flux lumineux des charbons à haute intensité lumineuse pour la projection de la lumière électrique. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 28 décembre 1925, t. CLXXXI, p. 1133-1134.

Sur les arcs de projecteurs à très haute intensité. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, juillet 1926, t. VI (4<sup>e</sup> série), p. 732-734.

Comparaison d'une optique en verre avec une optique à réflecteurs métalliques. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 26 mars 1928, t. CLXXXVI, p. 855-857.

Application de la loi Blondel-Rey à la détermination des optiques les plus favorables pour les feux à éclats. Communication à l'Association technique maritime et aéronautique, juin 1929.

De l'invention du périscope. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 7 décembre 1931, t. CXCIII, p. 1138-1140.

2. MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ. — La turbine à vapeur système Rateau et ses applications. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, 18 mars 1904; mémoire honoré de la médaille d'or de cette société (prix accordé en 1905).

Les pompes centrifuges multicellulaires à grande élévation du système Rateau. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, juin 1904, t. CIII, p. 430-452.

De l'attraction dissymétrique du rotor dans les moteurs asynchrones. *L'Éclairage électrique*, 20 février 1904, t. XXXVIII, p. 281-285 et 12 novembre 1904, t. XLI, p. 257-260.

Note sur les turbines à gaz. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, mai 1906.

Quelques remarques sur les turbomachines. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, avril 1910.

Ac. des Sc. — Notices et discours.

La commande électrique des vannes et des portes de l'écluse à sas du bassin à flot du port de Boulogne (1919).

3. THERMODYNAMIQUE. — De la compression de la vapeur appliquée à l'évaporation. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, avril 1909.

Diagramme entropique du pétrole. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 4 mars 1918, t. CLXVI, p. 387-390.

Propriétés physiques de la vapeur de pétrole. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 10 mars 1919, t. CLXVIII, p. 509-513.

Sur l'écoulement de la vapeur de pétrole. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 2 juin 1919, t. CLXVIII, p. 1092-1095.

Les propriétés physiques des vapeurs de pétrole. *Annales des Mines*, juillet, août et septembre 1925.

Utilisation industrielle de l'énergie d'un liquide chaud dans une turbine à vapeur. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 6 décembre 1926, t. CLXXXIII, p. 1093-1096.

Les valeurs comparatives de l'unité de quantité de chaleur à 0° et à 15°. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, octobre 1929, t. CXXVIII, p. 708-709.

Du frottement de la vapeur d'eau dans les tuyaux et ajutages. Communication à l'Association technique, maritime et aéronautique, mai et juin 1927. — *Chaleur et Industrie*, novembre 1929, t. X, p. 519-525.

Des conditions de la meilleure utilisation de l'énergie des eaux chaudes naturelles ou industrielles. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 16 février 1931, t. CXCII, p. 385-389.

Fonctionnement d'un thermo-compresseur entraînant successivement deux fluides compressibles de densités différentes: Résultats expérimentaux. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 5 mars 1934, t. CXCVIII, p. 864-867.

Fonctionnement d'un thermo-compresseur entraînant successivement deux fluides compressibles de densités différentes: lois des débits en poids, lois d'invariance de la pression finale. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 12 mars 1934, t. CXCVIII, p. 997-1001.

Du rendement énergétique des thermo-compresseurs. Importance de sa définition. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 12 juin 1935, t. CC, p. 2001-2004.

Du rendement énergétique des thermo-compresseurs. Définitions des valeurs. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 1<sup>er</sup> juillet 1935, t. CCI, p. 9-11.

4. DÉFENSE NATIONALE. — Les ensembles électrogènes à vapeur (1909).

La commande électrique des gouvernails (1916).

La propulsion électrique des navires (1918).

Les phénomènes explosifs produits par les mines sous-marines (15 avril 1907).

Complément à la note sur Les phénomènes explosifs produits par les mines sous-marines (12 février 1908).

La commande électrique des tourelles cuirassées. *Bulletin de la Société française des Électriciens*, mai 1921, t. I (4<sup>e</sup> série), p. 197-212.

Du choc d'un bateau sous-marin ou d'un bâtiment de surface contre un barrage de mines sous-marines. *Académie de Marine*, 1916, t. VI.

Sur la probabilité du choc d'un bateau sous-marin ou d'un bâtiment de surface contre un barrage de mines. *Mémorial de l'Artillerie française*, 1928.

Note sur les moteurs à pétrole pour sous-marin (1917).

5. DIVERS. — Sur la constitution intérieure du globe terrestre. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, juillet 1911.

Note sur le traité de Paix (1918).

Les vrais profiteurs de la guerre (1920).

Discours prononcé dans la séance du 13 janvier 1933. *Mémoires et Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils de France*, janvier-février 1933, t. LXXXVI (9<sup>e</sup> série), p. 7-40.

