

**Ch. HANOCQ**

Professeur à l'Université de Liège

---

# **L'Evolution de la technique dans la construction des machines depuis un siècle**

---

Allocution prononcée à la séance du 10 février 1934,  
à l'occasion du centième anniversaire  
de l'École Industrielle Supérieure de Liège.


---

LIÈGE  
H. VAILLANT-CARMANNE, S. A., IMPR. DE L'ACADÉMIE  
4, PLACE SAINT-MICHEL, 4

1934

7879

A. 3312

A mon cher Collignon  
Museum Campus  
Cortial laumage  


UNIVERSITÉ DE LIÈGE  
INSTITUT DU GÉNIE CIVIL  
BIBLIOTHÈQUES

## Allocution de M. CH. HANOCQ

Professeur à l'Université de Liège

Monsieur le Bourgmestre,  
Messieurs les Echevins,  
Monsieur le délégué du Gouvernement,  
Mesdemoiselles,  
Messieurs,

**R**EUNIS dans cette pensée commune de commémorer dignement un événement heureux dont peut s'enorgueillir à juste titre la Ville de Liège, j'ai pensé répondre à votre attente, en prenant comme sujet de l'allocution que vous m'avez fait l'honneur de me demander : « L'évolution de la technique dans la construction des machines, depuis un siècle ».

Après l'exposé si clair et si complet de M. Barbette l'actif et dévoué Directeur, sur les origines et l'évolution de l'enseignement dans cette brillante école dont nous fêtons le centenaire, après le rappel enthousiaste fait par M. Dacos, l'un des fondateurs de l'Association des Anciens Elèves, du rôle magnifique que celle-ci a joué depuis près de 50 ans, en groupant dans un sentiment de solidarité et de reconnaissance ceux qui puisèrent dans l'enseignement industriel le meilleur de leurs connaissances théoriques, il m'est apparu qu'il pourrait être intéressant de dresser devant vous le bilan d'un siècle de progrès dans le domaine de la mécanique, *mère de l'industrie*, et de vous mettre ainsi à

même de comprendre la raison d'être de l'évolution de l'enseignement technique aux différents degrés dans notre pays.

Une fois le sujet choisi et la décision prise de le développer devant vous, il m'est apparu rapidement que la tâche se compliquait grandement non seulement du fait que le temps mis à ma disposition était forcément très limité, mais encore du fait qu'il importait d'éviter à tout prix, de transformer mon exposé en une conférence technique qui n'aurait d'attrait que pour les initiés.

Il n'est pas douteux en effet — et il est absolument inutile de le déplorer puisque aussi bien c'est une fatalité — que le monde moderne est devenu si complexe, son évolution si rapide qu'il n'est plus possible à l'homme cultivé d'aujourd'hui d'avoir des *lumières sur toutes choses*. Pour ce qui concerne la mécanique en particulier, l'importance des connaissances de base, la nécessité de posséder une pratique suffisante du dessin technique pour suivre avec fruit un exposé documenté, font que l'essence même de ce qui touche à la machine, reste difficilement accessible au public non spécialisé.

Cette constatation ne saurait toutefois constituer une raison valable pour que l'élite reste indifférente à cette évolution des moyens de production qui a engendré les merveilles dont nous sommes entourés et qui a permis à la masse de connaître un bien être très supérieur à celui qui était réservé, il y a moins d'un siècle, exclusivement à de rares privilégiés.

Que l'esprit se reporte volontiers vers les admirables créations du passé, dans une pensée d'infinie reconnaissance pour les hommes de génie qui ont enrichi le patrimoine commun de beauté, tant dans le domaine de l'art que de la philosophie, rien de plus juste, mais que volontairement et quelquefois dans une pensée de dénigrement, l'homme cultivé se complaise à ignorer tout ce qui a fait la grandeur de cette civilisation où la science et la machine ont

pris une part si prépondérante, c'est là vous en conviendrez une attitude regrettable, génératrice des plus graves malentendus. Je sais bien qu'à l'heure angoissante que nous vivons, il est difficile de juger avec sérénité les bienfaits de cette civilisation qui paraît avoir engendré tant de malheurs.

Mais comment ne pas voir tout ce qu'il y a d'injuste dans les reproches faits à la machine, comment ne pas sentir que c'est grâce à elle qu'aujourd'hui encore, après quatre années d'une dépression économique sans précédent, nous sommes capables de maintenir cette atmosphère de bien être relatif dont nous sommes entourés, par un effort d'entraide également, il faut bien le dire, sans précédent. Je ne voudrais pas m'étendre davantage sur ce côté philosophique de la question qui pourrait faire l'objet d'un autre exposé. Ce que je désirerais simplement, c'est faire ressortir devant vous, l'immense effort collectif, et souvent anonyme, qui a été accompli dans le domaine de la technique depuis cent ans, pour donner à la vie sociale d'aujourd'hui un niveau matériel et, malgré toutes les controverses, un caractère de dignité collective qui n'avait jamais été atteint dans le passé.

Messieurs,

Il y a cent ans à peu près jour pour jour, la Chambre discutait *l'établissement du premier chemin de fer en Belgique*, et dans une vision très juste des possibilités que l'avenir réservait à une telle invention, malgré les oppositions les plus inattendues et les plus inexplicables aujourd'hui, elle décidait de tenter un essai sur un tronçon de faible étendue : Bruxelles-Malines.

Grâce à cette initiative, la Belgique allait connaître, la première sur le Continent, un essai de transport par voie ferrée. Le problème se posait toutefois de pouvoir confier à l'industrie naissante du pays, la construction du matériel d'exploitation. Un seul établissement était capable à cette

époque d'aborder pareille entreprise : l'établissement que William Cockerill avait fondé dans notre pays vers 1800 pour la construction des machines textiles et qui sous l'impulsion de son fils, homme de génie, avait pris un merveilleux essor. Cet établissement s'était transporté à Seraing en 1818 dans les dépendances du Château des Princes Evêques alors abandonné, et grâce à l'activité, à la puissance créatrice de son directeur John Cockerill, il devenait en moins de 15 ans le plus vaste et le plus harmonieux ensemble industriel du Continent et d'une ampleur telle que l'Angleterre elle-même, aurait pu nous l'envier : John Cockerill avait foncé des puits pour l'extraction du charbon, élevé un haut fourneau, multiplié les fours à puddler, créé des laminoirs, une forge puissante. Des ateliers de parachèvement et de montage ainsi qu'une menuiserie importante permettaient de passer du produit brut au produit fini incorporé dans la machine elle-même, sans faire appel à aucun intermédiaire. La main-d'œuvre dont pouvait disposer John Cockerill était d'ailleurs la première du monde au point de vue de l'exploitation du charbon, de la fabrication du fer, de l'ajustage mécanique.

Comment dans ces conditions aurait-il pu échouer dans l'entreprise vraiment difficile pour l'époque de réaliser un ensemble aussi complexe et aussi compact que celui de la locomotive.

Celles qui avaient été commandées en 1834 <sup>(1)</sup> ne différaient pas essentiellement de celles d'aujourd'hui, si ce n'est par la masse qu'elle représentait : 10 tonnes contre 100 ou 120 tonnes pour les monstres qui de leur souffle puissant traînent aujourd'hui derrière eux à 120 km. à l'heure des trains de 10 ou 15 voitures.

Elles étaient basses sur leurs roues avec une cheminée très haute ; la plate-forme sur laquelle se trouvaient le

(1) Voir fig. 8, planche II.

chauffeur et le mécanicien n'était pas protégée ; il est vrai qu'elles n'étaient pas destinées à dévorer l'espace : la vitesse de 35 km à l'heure leur suffisait. La chaudière était timbrée à 4 kg., chiffre élevé pour l'époque, alors qu'aujourd'hui on utilise couramment des pressions de 16 et 18 kg/cm<sup>2</sup> et que l'on envisage de construire des locomotives à haute pression à 60 kg/cm<sup>2</sup>.

Enfin vous aurez tout compris à leur sujet lorsque j'aurai ajouté que le châssis de la locomotive était en bois et que les butoirs étaient sans ressorts. Telle qu'elle était pourtant, elle constituait l'aboutissement d'un très gros effort, poursuivi sans relâche pendant plus de 15 ans par des pionniers anglais dont Stephenson reste le plus célèbre. Pour en arriver là il avait fallu se débarrasser de l'emprise du passé ; jusque-là, la machine motrice à vapeur due au génie de Watt et dont la première réalisation datait de 1776, avait été construite avec un mécanisme de transformation du mouvement alternatif du piston en mouvement continu de l'arbre assez compliqué, comprenant un balancier, une bielle et une manivelle <sup>(2)</sup>. Dans la locomotive de Stephenson le balancier a disparu et a fait place au mécanisme beaucoup plus simple et moins encombrant par bielle et manivelle, le mouvement rectiligne de la tige du piston étant alors assuré par une crosse coulissant dans un guide. Le nombre de tours qui ne dépassait pas alors 15 ou 20 dans les machines fixes, avait dû être porté dans la locomotive, à 100 tours et plus, pour permettre d'atteindre avec des roues motrices d'environ 1,50 m. de diamètre, la vitesse de translation de 30 km. En ce qui concerne la pression, les quelques machines à feu qui servaient à l'exhaure des mines en ce temps là, fonctionnaient surtout par le vide créé sous le piston au moyen de la condensation directe de la vapeur dans le

<sup>(2)</sup> Voir machine à vapeur de Watt, 50 chevaux effectifs, fig. 2, planche I.

cylindre, et les chaudières travaillaient sous une pression de 0,5 kg. ou 1 kg seulement au-dessus de l'atmosphère. La condensation étant impossible sur la locomotive, il avait fallu passer de la pression de 1 à 4 kg. pour obtenir l'effort moteur nécessaire. Le rapprochement des chiffres que je viens de citer, montre assez le chemin qu'il avait fallu parcourir pour atteindre cette modeste réalisation d'une locomotive de 10 tonnes capable de remorquer à la vitesse de 30 ou 35 km. à l'heure un train composé de quelques voitures sur une rampe maximum de 1 millimètre par mètre.

Rien ne donnera mieux une idée de l'état embryonnaire dans lequel se trouvait l'organisation de la construction en 1833 qu'en entrant dans quelques détails au sujet du mode de réalisation d'une *machine d'exhaure de 50 chevaux utiles, comme celle qui assurait le service au puits n° 2 des Charbonnages de Bascoup* <sup>(3)</sup>.

L'homme qui assumait la conception d'une telle machine et en surveillait l'exécution, celui que nous désignerions aujourd'hui sous le titre ingénieur, était connu à cette époque sous le nom de machiniste. Par croquis séparés, c'est lui qui communiquera à chacun des entrepreneurs qui se partagent l'exécution, les renseignements nécessaires ; après l'exécution, c'est lui qui en surveillera le montage. Ces entrepreneurs, tous isolés, sont au nombre de cinq : le fondeur qui exécutera les cylindres de la machine et des pompes et les quelques pièces de fonte de la distribution, le forgeron pour la fourniture des tringles, des chaînes, des pivots, des brides d'assemblage, etc., le chaudronnier qui s'occupera de la chaudière, des conduites et des robinets ; le charpentier qui aura à ses charges le gros œuvre, support du balancier et le balancier lui-même, les maîtresses tiges qui vont à 200 mètres sous terre actionner les pistons des

<sup>(3)</sup> Voir machine d'exhaure de Newcomen de 50 chevaux effectifs, fig. 1, planche I.

pompes, enfin le maçon qui aura à réaliser les fondations, les carneaux de la chaudière, le bâtiment protégeant le puits et servant de support à l'axe du balancier.

Vous aurez une idée d'un tel ensemble quant je vous aurai dit que le piston en bois cerclé de fer et garni d'étoupe avait 1,76 m. de diamètre et que sa course atteignait 1,85 m. : tout cela pour élever 50 m<sup>3</sup> d'eau par heure à la hauteur de 250 m., ce que l'on ferait aujourd'hui avec une pompe centrifuge de 5 à 6 roues de 20 cm. de diamètre qui mue par moteur électrique, pourrait tenir largement à l'aise dans la moitié du cylindre de ce mastodonte. Vous imaginez assez facilement ce que devait être le prix d'un pareil instrument exécuté avec des moyens aussi élémentaires, sans appareils de manutention, sans autre machine-outil que le tour, car le cylindre n'était pas alésé, mais simplement garni d'un revêtement interne en tôle de cuivre.

Il est difficile toutefois de se faire une idée juste à cet égard, même en s'adressant aux documents de l'époque : le chiffre de 50.000 fr. paraît correspondre à l'ensemble du travail. Mais en ce temps là le prix d'une heure de travail était 30 fois plus bas que celui d'aujourd'hui, 15 centimes environ, si bien que compte tenu de ce rapport, le prix exprimé en notre monnaie serait de 1.500.000 fr.

1.500.000 fr. pour 50 chevaux utiles, c'est-à-dire 30.000 fr. par cheval, alors que l'on ne dépasse pas dans les grandes centrales modernes 1500 fr., en incorporant dans ce prix les bâtiments, la partie électrique et tous les ultimes perfectionnements intérieurs, c'est-à-dire 20 fois moins. Pour donner une signification plus frappante du progrès que cette réduction de prix représente, je vous demanderai de réfléchir à la situation de l'usinier d'alors qui, pour parer à une insuffisance de force motrice se décidait à acquérir une machine à vapeur de 50 chevaux utiles, et qui devait se résoudre à une dépense de 1.500.000 fr., alors qu'aujourd'hui

d'hui le petit entrepreneur, le petit patron qui veut disposer d'une telle puissance, peut se raccorder au secteur d'électricité et, pour un prix d'exploitation très inférieur, même dans les circonstances où l'on peut se plaindre du prix de l'électricité, obtenir une installation qui n'exigera aucune surveillance et pratiquement aucun entretien, pour la somme de 50.000 fr. au maximum c'est-à-dire pour un prix 30 fois moins élevé.

Quand, au souvenir de cette dure période qui correspond aux origines de l'industrie dans notre pays, nous avons tendance à nous indigner contre cette âpreté au gain et dans certains cas contre cette absence de cœur des dirigeants d'alors, il faut bien pour comprendre l'exacte situation — je ne dis pas pour l'excuser systématiquement dans tous les cas — se représenter l'effort formidable que devait fournir à cette époque le fabricant, l'usinier, le constructeur pour adapter son entreprise aux méthodes nouvelles de production : car ces chiffres que nous venons de citer pour l'appropriation en force motrice de l'usine, restaient vrais pour l'équipement en machines-outils, en appareils de manutention, etc., et ces immobilisations ne pouvaient se faire que sur les gains réalisés dans l'entreprise elle-même.

Aussi lorsque John Cockerill entreprend en 1833 la construction des premières locomotives, a-t-il dû faire un immense effort d'organisation, non seulement pour assurer la fabrication du fer dont il a besoin et le mettre en œuvre dans des forges puissantes, non seulement pour créer les machines-outils nécessaires au parachèvement des différents organes de la machine motrice, tous en fonte ou en fer cette fois, mais encore pour créer un organisme d'études qui dressera des plans d'ensemble avant l'exécution des détails.

Jusqu'au milieu du siècle dernier, le bureau d'études n'aura pas l'ampleur que nous lui connaissons ; les renseigne-

ments sont fournis aux ouvriers sous forme de croquis ou de dessins en grandeur exécutés au crayon sur une planche rabotée : au besoin pour se faire comprendre le contre-maître exécutera un modèle en bois qui servira à préciser les formes, auprès du forgeron par exemple. Si en 1833 les mesures en toises et en pieds commencent à disparaître au profit du système métrique, on en restera pendant plus de 50 ans à l'utilisation du mètre pliant comme moyen de mesure courant dans l'atelier et l'on se bornera pour les ajustages exigeant de la précision, à exécuter les pièces d'un assemblage *l'une d'après l'autre*. Les machines-outils de grandes dimensions faisant défaut, on en sera réduit à dresser des bâtis au burin et à la lime, à utiliser pour les assemblages importants *des dispositifs par clavettes qui feront de l'ajusteur le roi de la machine*. On comprend dans ces conditions combien lents devaient être les progrès.

La construction des machines était toute entière orientée vers la réalisation de la machine à vapeur d'épuisement de mines qui rendait possible l'exploitation de charbonnages à plus grande profondeur, vers les machines motrices dans l'industrie textile et dans l'industrie métallurgique, enfin et surtout vers la construction du matériel roulant. *Car alors comme aujourd'hui, le grand mobile restait celui qui avait pour but le développement des moyens de transport, et qui exigeait par voie de conséquence le développement des usines métallurgiques et des charbonnages.*

Mais tout était à faire : un haut fourneau produisait alors 15 tonnes par 24 heures contre 700 aujourd'hui. Pour transformer la fonte en fer, il fallait utiliser des fours à puddler dont la production ne dépassait pas 8 à 900 kg. par 24 heures et par four. La qualité des matériaux laissait pour le surplus à désirer et le prix de revient restait très élevé. Pour donner une idée de l'insuffisance de la qualité, je rappellerai le propos que tenait un grand métallurgiste

belge, feu Adolphe Greiner, il y a 30 ans : exposant les progrès accomplis dans le mode de fabrication des rails, il affirmait que si l'on avait dû en rester aux procédés anciens par puddlage, la totalité du personnel de l'industrie métallurgique d'alors n'aurait pu suffire à la fourniture *pour simple remplacement*, des rails en service, tant l'usure et la détérioration de l'entablement de ces rails étaient rapides.

On peut comprendre dans ces conditions ce qu'a représenté pour l'industrie de la mécanique l'introduction du procédé Bessemer dans la fabrication de l'acier. 1861 est à ce point de vue une date mémorable puisque c'est en cette année que la Société Cockerill introduisit, la première dans notre pays, le procédé d'affinage de la fonte par insufflation à travers la masse en fusion, de l'air chargé d'oxyder le carbone.

Non seulement les ateliers allaient pouvoir disposer d'un matériau plus homogène produit à meilleur compte et en lingots de grandes dimensions, mais la fourniture de l'important matériel qu'exigeait l'application du procédé Bessemer, poches de coulées, engins de manutention, puissantes machines soufflantes, allaient alimenter, avec la construction du matériel de chemins de fer, la production des grands ateliers.

Je voudrais citer quelques faits pour fixer la situation entre 1860 et 1880.

L'exposition de 1867 à Paris montre à ses visiteurs une machine à vapeur monocylindrique à détente à 4 distributeurs de 50 chevaux (4). En 1873 à l'exposition de Vienne, on voit figurer des machines compound à soupapes ou à robinets marchant à une pression de 10 kg/cm<sup>2</sup> et tournant à la vitesse de 70 et 80 t/m. Le bâti pour la première fois est du type à bayonnette avec guide cylindrique alésé et centré automatiquement sur le cylindre. La consommation est alors de l'ordre de 8 kg. par cheval, soit 1,25 kg. de charbon

(4) Voir fig. 3, planche I. Machine à vapeur Sulzer de 50 chevaux effectifs.

contre 5 kg. pour la machine d'exhaure de 1835 et 0,65 kg. pour la machine compound d'aujourd'hui c'est-à-dire environ 8 fois moins, comme conséquence d'un siècle de progrès. A cette époque le souci de simplifier, d'améliorer l'esthétique de l'ensemble, de faciliter le montage et l'entretien se fait jour. Le bureau d'études prend de l'importance : on ne conçoit plus une machine qui n'ait été étudiée minutieusement dans toutes ses parties, pour laquelle tous les plans de détails n'ont pas été dressés, cotés avec les indications des particularités de fabrication. On n'en est pas encore à la préparation au bureau d'études du travail d'atelier, mais le rôle du dessinateur technicien grandit considérablement.

Il est vrai que l'on en est encore réduit à reproduire les dessins sur calques pour les faire circuler dans les ateliers, les procédés par photocopies, généralisés aujourd'hui, n'existant pas. Il est vrai également que la fourniture de toute machine un peu importante suppose une étude particulière destinée à l'adapter au goût du client qui émet le plus souvent des exigences contradictoires sans s'en rendre compte. Il faut pour enlever la commande lui présenter des plans d'ensemble figués, passés à l'encre de chine et à la couleur, accompagnés parfois de vues perspectives qui exigent des dessinateurs un véritable talent.

Avec l'augmentation constante des puissances et des vitesses de rotation auxquelles on est conduit par suite de l'extension des programmes industriels dans le domaine de l'exploitation des mines et de la métallurgie notamment, les problèmes qui se posent au constructeur se compliquent et se multiplient, et il faut faire appel pour les résoudre à des connaissances théoriques de plus en plus étendues : le praticien qui tient de l'observation et de l'intuition le meilleur de son savoir et de son savoir-faire, va devoir se doubler petit à petit d'un théoricien. Il faudra bientôt demander à

la science la connaissance des lois générales de la physique et les moyens mathématiques d'étendre ces lois aux phénomènes particuliers rencontrés dans le fonctionnement des machines. Et cette évolution de la technique vers plus de science ira s'accroissant à mesure que la science appliquée elle-même se perfectionnera et que de nouvelles inventions capitales dans le domaine industriel se feront jour.

Parmi ces inventions il faut citer en tout premier lieu *la dynamo industrielle* due aux difficiles et patientes recherches de notre génial compatriote, élève de l'Ecole Industrielle de Liège, *Zénobe Gramme*. Car on peut l'affirmer sans crainte d'être démenti : la transformation la plus profonde dans la technique de la construction aura comme source la possibilité du transport de l'énergie à distance, que contient l'invention de Gramme. Nous sommes en 1869, mais ce n'est toutefois que 10 ans plus tard que la dynamo commencera à exercer une véritable influence, lorsque l'invention de la lampe à incandescence d'Edison notamment viendra faciliter l'éclairage des usines et des habitations par l'emploi du courant électrique. *Dès ce moment les constructeurs auront à se préoccuper d'adapter les machines à vapeur à l'attaque des génératrices électriques pour créer des groupes électrogènes de plus en plus importants.* L'application de l'électricité à la traction des tramways et au transport de l'énergie à l'intérieur des usines accentuera encore cette véritable révolution dans la conception de la machine motrice, née de l'emploi en grand de l'électricité.

1880 doit donc être considéré comme le début d'une ère nouvelle. Je n'irai pas jusqu'à dire que cette ère nouvelle est celle de l'électricité, mais on peut affirmer que le mouvement en avant est déclenché et rendu possible par elle. Jusque-là en effet, le moteur à vapeur qui a près d'un siècle d'existence mais qui n'a vraiment exercé son influence sur le développement de l'industrie et des moyens de transport



que depuis 50 ans, a régné seul en maître : un établissement comme la Société Cockerill en compte alors près de 200 et autant de chaudières réparties dans les différents services de l'usine et l'on conçoit ce qu'une telle débauche de moteurs isolés de faibles puissances peut entraîner de frais d'entretien et de consommation de combustible.

Le moteur à gaz qui a eu un précurseur dans la machine à gaz sans compression de notre compatriote Lenoir et qui a été créé sous la forme que nous lui connaissons par Otto en utilisant le cycle à 4 temps décrit par un français Beau de Rochas, commence à s'implanter dans les villes où il forme avec la dynamo de Gramme des groupes électrogènes ; et voici un premier concurrent de la machine à vapeur. Mais avec les progrès dans la fabrication des aciers et dans le parachèvement de précision, on en voit apparaître un autre, la turbine à vapeur dont le principe était connu depuis plusieurs siècles, mais dont la réalisation dans des conditions économiques exigeait des vitesses de rotation inusitées et irréalisables sans un ensemble de conquêtes nouvelles à la fois dans le domaine de la métallurgie et dans celui de la fabrication mécanique. La première turbine voit le jour en Angleterre avec Parsons en 1884 ; sur un autre principe l'ingénieur suédois de Laval en 1889 crée de façon hardie une turbine de faible puissance et parfaitement viable au point de vue industriel, tournant à la vitesse fantastique de 500 tours par seconde. Mais toutes ces inventions ne peuvent réellement passer dans le domaine industriel qu'à deux conditions :

1° que les applications de l'électricité se développent et exigent des centrales de production de plus en plus puissantes ;

2° que les moyens d'exécution se perfectionnent.

Et tout naturellement sous l'impulsion des nécessités nouvelles un gros effort est fait pour perfectionner l'outil-

lage. En 1889 à Paris on voit figurer la première machine à fraiser universelle de Brown et Sharp et des machines à rectifier intérieurement et extérieurement permettant de travailler *après durcissement des surfaces par la trempe*, les organes soumis à des frottements importants.

L'emploi des calibres <sup>(6)</sup> pour contrôler les dimensions des pièces fraisées et rectifiées se développe. C'est de cette époque que date le foret américain qui marque un progrès important dans le domaine de l'outillage des ateliers. Sur ce terrain de la fabrication, comme on le voit, les américains donnent le ton. Faut-il s'en étonner ? Tout progrès là-bas dans la construction de la machine est lié à l'organisation de la fabrication, car la main-d'œuvre y est rare et peu préparée pour des travaux de précision. Il faut à tout prix si l'on veut développer la production — et les besoins sont à ce moment illimités dans tous les domaines — substituer à la main-d'œuvre qualifiée, le travail mécanisé qui ne demande qu'un peu d'habileté manuelle, un peu d'adresse, une réaction vive, au total une volonté appliquée. Pour rendre le résultat indépendant de la qualité de la main-d'œuvre, il faut créer la machine-outil spécialisée qui ne fait qu'un petit nombre d'opérations et qui, une fois réglée dans ses différents outils, peut opérer en quelque sorte automatiquement : *l'ouvrier donne encore l'avancement, mais la limite de celui-ci est réglée à l'avance*. Il suffit de contrôler au moyen de calibres à tolérance mis à la disposition de l'ouvrier, si le réglage se maintient et si les dimensions sont celles prévues. Peut-être n'est-il pas inutile de donner un mot d'explication au sujet de ce que l'on a appelé « calibre à tolérance ».

Il s'agit d'instruments de mesure constitués pour vérifier une seule dimension mais conçus de façon que l'une des parties soit portée à la cote exacte plus 2 ou 3 centièmes de

(6) Voir fig. 11 et 12, planche II. Les calibres à tolérance pour vérifier respectivement un diamètre, un alésage.

millimètre et l'autre portée à la cote exacte moins 2 ou 3 centièmes. En présentant successivement l'instrument sur la pièce par l'un puis par l'autre bout, on peut sans aucune difficulté, sans erreur possible, s'assurer que la pièce fabriquée reste dans les *tolérances* de fabrication que l'on s'est imposées <sup>(6)</sup>.

On comprend la révolution que cette méthode a permis de réaliser dans la fabrication de précision *puisqu'elle mettait dans les mains de tout ouvrier, un moyen en quelque sorte automatique de s'assurer que la pièce fabriquée par lui, pouvait convenir à sa destination sans aucune retouche ultérieure*, prête à entrer dans l'ensemble auquel elle était destinée, *sans ajustage*. Ces moyens de contrôle ayant été appliqués en grand, les instruments de mesure qu'il a fallu créer pour réaliser avec la précision voulue ces calibres à tolérance, ont permis d'envisager des moyens de vérification de plus en plus précis des formes et dimensions des outils, si bien que l'on a pu atteindre dans la taille des roues dentées notamment, une régularité telle qu'il a été possible de les employer pour des vitesses de rotation de plus en plus grandes comme celles que réclamait le moteur électrique dans ses applications à la traction, à la commande des machines-outils, etc. Après quinze ans d'effort des firmes spécialisées dans cette fabrication, firmes étrangères malheureusement — mais notre pays n'était pas assez grand pour entrevoir des débouchés intérieurs pour de telles spécialités — après quinze ans d'effort, dis-je, la technique est parvenue à créer des réducteurs à grande vitesse tangentielle employés dans la marine et permettant d'adapter la turbine au propulseur l'hélice.

Et l'on peut dire que ce fut un des grands progrès du dernier quart de siècle que la réalisation de ces réducteurs

<sup>(6)</sup> Fig. 11 et 12, planche II.

qui permirent d'associer aisément les machines motrices rotatives modernes aux réceptrices, et inversement.

Mais revenons quelque peu en arrière pour examiner la situation à la fin du siècle dernier, *en jetant un coup d'œil sur cette exposition de Paris de 1900 qui présenta une synthèse grandiose de l'art de la mécanique*.

On assiste là à une sorte d'apothéose de la machine motrice à piston qui est alors représentée par de grandes unités à vapeur allant jusqu'à 4000 chevaux, verticales et horizontales, destinées aux centrales électriques des grandes capitales européennes. Les belges figurent dans cet ensemble par une présentation très importante de machines à soupapes, à pistons-valves et à robinets, et se partagent avec les firmes suisses et allemandes les faveurs du public. Le spectacle justifie d'ailleurs les sentiments d'admiration des visiteurs et le légitime orgueil des constructeurs mécaniciens. Car la machine à piston n'est pas seulement représentée par des unités à vapeur, mais par un moteur unique celui-là par son importance et qui est belge : *un moteur à gaz de 600 chevaux de la Société Cockerill* <sup>(7)</sup> qui est conçu pour l'attaque directe d'une soufflante de haut fourneau.

Cette machine, d'une très grande hardiesse pour l'époque et qui fait impression par ses dimensions, a été conçue d'après les idées et les plans d'un inventeur français Delamare Debutville, mais elle a été exécutée et mise au point par un brillant ingénieur sorti de l'École de Liège, technicien dans l'âme, M. A. Bailly, et elle est défendue avec autorité dans la presse technique par notre ancien Maître H. Hubert dont la mémoire a été rappelée à juste titre dans cette assemblée, à la fois comme savant, comme professeur et comme homme de grand cœur.

Non seulement la conception de ce moteur est hardie,

<sup>(7)</sup> Voir fig. 6, planche I. Le moteur à gaz de 600 chevaux actionnant directement une soufflante à gaz.

mais le problème qu'il résoud est d'une haute portée pour l'économie qu'il fait réaliser dans la métallurgie : utilisant les gaz pris à la sortie du haut fourneau, et regardés jusqu'alors comme n'ayant qu'une faible valeur, le moteur ainsi conçu permet de transformer en énergie électrique, une source de force motrice à très bas prix, qui va permettre d'abaisser le prix de revient de la fonte, et de mettre notre industrie dans une position favorable, au moins pendant quelque temps, pour faire la concurrence à l'étranger.

A ce moment l'industrie de la mécanique belge n'a rien à envier à ses concurrentes étrangères et l'exposition de Liège de 1905 en donnera une nouvelle preuve puisque l'on y verra figurer non seulement des moteurs à gaz à double effet perfectionnés, de la Société Cockerill, non seulement un magnifique ensemble de machines à vapeur à soupapes des principaux constructeurs belges, *mais le premier grand moteur Diesel de 600 chevaux, construit par la Firme Carels de Gand.*

*En machines-outils nous restons à la hauteur pour ce qui est de l'équipement lourd* des ateliers mais dans les autres domaines la concurrence étrangère, allemande et américaine notamment, se montre de plus en plus dangereuse. La machine-outil spécialisée qui est l'objet d'études attentives et extrêmement poussées de la part des constructeurs américains et allemands, parce qu'elle trouve dans ces pays des débouchés formidables ne pourra être réalisée chez nous qu'à titre exceptionnel, et ce sera là un des premiers renoncements commandés par l'ère de la spécialisation à outrance qui va s'ouvrir.

Ce n'est pas le seul domaine malheureusement où nous allons devoir marquer le pas.

La turbine à vapeur qui va supprimer la machine motrice à piston de grande puissance, dans l'application à la commande des génératrices électriques, va être introduite sur

le continent par une firme anglaise — nous avons vu qu'elle est d'invention anglaise — et bientôt elle sera construite par une société suisse créée à cet effet. Des constructeurs français et allemands vont bien s'appliquer à réaliser le nouveau moteur, mais la Belgique restera tributaire bien longtemps, trop longtemps pour ses études, des constructeurs étrangers. Il serait trop long d'analyser les raisons de cette sorte d'abdication : ce que je puis dire sans trop m'attarder, c'est que les méthodes nouvelles d'étude et d'expérimentation qui s'imposaient pour la mise au point de cette nouvelle technique, n'étaient plus du ressort du praticien, du contre-maître habile et de vive intelligence que nous possédions, et que nous n'avons pas eu la hardiesse et la clairvoyance à ce moment, d'en tirer la conclusion qui s'imposait.

C'est en tout cas à partir de cette époque 1905, que l'on voit s'ériger en Belgique de nombreuses centrales équipées de turbines à vapeur, la plupart construites à l'étranger et en 1910, déjà le nombre de machines à piston pour lesquelles nous étions sans concurrence à l'intérieur, va diminuant et tend rapidement vers zéro. *Les centrales électriques qui vont se répandre et s'amplifier dans des proportions qu'il aurait été difficile de prévoir à ce moment, vont introduire dans la technique des exigences nouvelles.* Il faudra approprier au moteur électrique, les machines réceptrices, pompes, compresseurs, etc. et ce sera la raison d'être de l'essor pris par les turbo-machines, pompes centrifuges, ventilateurs centrifuges, compresseurs centrifuges dont nous ne nous approprierons la technique qu'assez lentement.

Avant de donner une idée de ce que représente la centrale électrique moderne au point de vue du progrès technique, je voudrais m'arrêter un instant à un nouveau venu, qui vers 1900 fait parler de lui, et va exercer sur l'évolution de la mécanique le plus formidable bond en avant qu'elle ait connu depuis son origine : *le moteur à explosion à essence.*

Il est sorti directement de l'invention du moteur à gaz puisqu'il n'en diffère que parce qu'il utilise comme gaz combustible l'air carburé par les vapeurs d'essence ; mais en cherchant à l'adapter à des vitesses de rotation de plus en plus grandes, on voit en lui le moyen de réaliser le rêve de l'homme, depuis plus d'un siècle, celui de se transporter par la route, dans *une voiture automobile*. Pour quelques précurseurs hardis le moteur à essence signifie autre chose de plus encore : c'est la réalisation possible du rêve merveilleux que fait l'humanité depuis la plus haute antiquité : se libérer de la pesanteur, s'élancer vers le ciel, vers la lumière, ce que les modernes préféreront appeler l'empire de l'air.

Comme ce fut le cas en 1830 pour le transport par voie ferrée, toute l'activité intellectuelle des hommes spécialisés va se porter vers la réalisation du moteur à grande vitesse et son adaptation à la voiture auto-motrice sur pneu. Car à ce moment le pneu a fait ses preuves : c'est lui qui a donné un essor extraordinaire à la bicyclette et si on lui fait le reproche de coûter cher et de s'user trop rapidement, on n'est qu'à l'origine des recherches qui se poursuivront pendant 25 ans dans deux plans différents :

1° en multipliant les cultures des arbres particulièrement appropriés à la production du latex, de façon à réduire le prix de la matière première ;

2° en améliorant la composition et la fabrication du pneu de façon à augmenter la souplesse et la résistance à l'usure.

Pour rester dans le domaine de la mécanique proprement dit, je dirai que la réussite dans cette nouvelle conquête de l'homme, est liée à des perfectionnements nombreux dont nous allons énoncer les 3 principaux :

1° il faut améliorer les aciers pour obtenir des résistances plus élevées, des duretés plus grandes et obtenir ainsi des transmissions par roues dentées qui seront réduites au strict minimum d'encombrement et de poids, tout en présentant

*une sécurité et une résistance à l'usure beaucoup plus grandes ;*

2° il faut parfaire les moyens de réalisation mécanique et les moyens de contrôle, de façon à assurer la parfaite interchangeabilité des différents organes et maintenir une constance de fabrication telle que la machine reste entièrement conforme à l'original, au prototype comme on dit aujourd'hui, sur lequel ont porté les essais et les mises au point ;

3° il faut créer un outillage qui permette d'obtenir à bas prix des pièces de fonte et de forge de qualité et de précision non atteintes jusque là.

La métallurgie s'organise et grâce aux méthodes d'investigation nouvelles et aux progrès scientifiques dans la connaissance de la constitution des alliages, on met en peu de temps les ateliers à même de disposer d'aciers spéciaux qui après traitement approprié sont capables de supporter des charges de 100 kg. par mm<sup>2</sup> et plus, contre 55 à 60 kg avec les aciers courants. Au point de vue de la réalisation à l'atelier, la généralisation des calibres à tolérance au 1/100 de millimètre, des machines à fraiser et des machines à rectifier, vont rendre possible l'obtention de pièces parfaitement interchangeables n'exigeant aucune retouche, lors des assemblages. Par l'estampage, on réalisera d'un seul coup de matrice des bielles, des coudés, des soupapes, des moyeux qui auraient exigé auparavant un long et patient travail de forge. A la fonderie, l'introduction du moulage sur modèles métalliques va permettre de réduire le prix de revient et d'obtenir des pièces d'une remarquable régularité de dimensions, d'une perfection de formes que l'on n'aurait pu obtenir avec les procédés anciens.

Tous ces procédés vont non seulement concourir à réaliser une perfection d'exécution non encore atteinte, mais la rapidité d'opération va être telle que les prix de revient seront diminués dans des proportions qui défieront les prévisions des plus optimistes et dérouteront les vieux mécaniciens.

Tout cela ne pourra être mené à bien que par un développement :

1° du laboratoire de contrôle et même du laboratoire de recherches ;

2° du bureau d'études qui voit ainsi ses attributions grandir de jour en jour.

Il ne s'agit plus en effet d'étudier la machine, de la représenter dans toutes ses parties au moyen de plans de détails portant les indications principales nécessaires au parachèvement ; il s'agit d'étudier les moyens de réalisation, de prévoir, dès la conception, les différentes opérations qui conduiront à la pièce finie, de concevoir un outillage, des *pincés* comme on les appelle en langage d'atelier, qui permettront un montage rapide des pièces sur les machines à parachever, assurant un guidage des outils et partant la parfaite réalisation des cotes du plan. Les tolérances de fabrication feront l'objet de calculs préalables au bureau d'études, et les méthodes américaines connues sous le nom de taylorisation aidant, on en viendra à préparer les outils, à les réunir et à les mettre à la disposition de l'ouvrier chargé du parachèvement, au moment même où il recevra le plan de la pièce à parachever et les instructions écrites, tout au moins lorsqu'il s'agit d'ateliers ne travaillant pas en série. Ceci explique le rôle grandissant de l'ingénieur, du technicien, du dessinateur-technicien, et la nécessité d'un développement approprié de l'enseignement professionnel et technique aux différents degrés.

La préparation du travail à l'atelier devient primordiale. Cela part de l'idée que seul, un personnel technique de bureau entraîné, peut conduire à bien une telle tâche d'organisation qui exige des vues d'ensemble que le chef d'atelier ne peut posséder ; cela est imposé aussi, il faut le dire, par la nécessité d'utiliser de façon intensive les machines-outils qui représentent un capital si important que

les frais d'intérêt et d'amortissement viennent grever lourdement le prix de revient. Sans doute, à côté de l'atelier fortement spécialisé, subsiste-t-il, dans notre pays particulièrement, l'atelier réalisant des machines lourdes ou non, mais non vendables en tout cas à un grand nombre d'exemplaires, dont l'exécution ne peut s'accomoder d'un tel mode de travail. Mais les méthodes d'organisation modernes devront pénétrer là comme ailleurs au point de vue de la préparation de l'outillage, de l'organisation du contrôle aux différents stades de fabrication. Avec la fabrication en série qui permet d'abaisser le prix de revient, il devient possible de populariser des instruments de travail comme la bicyclette, la motocyclette et plus tard l'automobile ; mais alors *deux problèmes capitaux se posent* : 1° celui d'une organisation commerciale très développée capable de diffuser au loin la vente des produits de l'usine, d'étendre le marché accessible au produit fabriqué, au monde entier peut-on dire ; 2° celui aussi impérieux que le premier lorsque la masse fabriquée est considérable, de l'écoulement *régulier* et en quelque sorte *automatique du produit fabriqué à travers l'usine*. De là le travail à la chaîne inventé et mis au point en Amérique, que l'on commence à appliquer ici dans quelques fabrications très spéciales et dans quelques usines particulièrement bien équipées. Travail à la chaîne ! Le mot éveille une terrible idée d'esclavage ; et l'artiste et le poète se représentent volontiers l'homme rivé en quelque sorte à la machine, faisant corps avec elle obligé de se soumettre — je ne dirai pas à son caprice — car il n'y a tout de même encore que les hommes pour avoir des caprices — mais à son rythme, à son implacable volonté.

Il est possible de tout dramatiser mais rien ne ressemble moins à des esclaves pliant sous le fardeau, que ces ouvriers alertes et sportifs qui d'une main sûre, d'un coup d'œil prompt saisissent les pièces qui leur descendent du ciel par

la voie de transporteurs mécaniques ou de potences appropriées, pour l'incorporer à l'ensemble de la voiture qui s'avance mécaniquement, automatiquement, en se modifiant, s'amplifiant, se modelant pour devenir petit à petit, après 30 ou 40 groupes d'opérations et quelques 30 ou 40 minutes de temps, une de ces somptueuses automobiles puissantes et souples qui emporteront l'homme d'affaires ou l'homme tout court, sous le signe de la richesse — tout au moins dans des pays comme le nôtre.

Car c'est ainsi que s'opère dans les grandes usines de l'automobile le montage des différentes pièces du moteur d'abord, du châssis ensuite, puis enfin le montage du moteur et de la carrosserie avec tous les accessoires, sur le châssis.

Vous avez certainement entendu parler sans toujours y croire, de cette formidable usine qui fabrique des voitures et des camions automobiles à la cadence de 6000 à 8000 par jour, *c'est-à-dire qui est capable de fournir en un mois plus que la totalité des voitures qui circulent dans toute la Belgique*. C'est en appliquant en grand les procédés de fabrication et de montage que je viens de décrire que cette usine est parvenue à réduire le prix de vente d'une voiture de luxe, sur pneus, en ordre de marche, 8 cylindres, à 15.000 fr. de notre monnaie au dollar à 25 fr., avec la main d'œuvre payée 100 fr. les 8 heures, c'est-à-dire, lorsqu'on tient compte de la remise au vendeur et des frais généraux, à produire une voiture de cette qualité en moins de 500 heures de travail en partant du charbon et du minerai <sup>(8)</sup>.

Ah ! je sais que l'on me dira : la belle affaire ! qu'avez-vous ajouté avec tout cela, au bonheur de l'humanité ? M'est-il permis, tout au moins provisoirement, de ne pas me placer à ce point de vue. Le bonheur ne se fabrique ni à la chaîne, ni sans chaîne, et si une question se pose,

<sup>(8)</sup> Voir planche II, fig. 14. Une automobile Ford.

c'est celle-ci : en rendant, en Amérique, l'automobile accessible à un ouvrier à peu près pour le même nombre d'heures de travail qu'une modeste motocyclette ici, a-t-on dans ce pays immense, aux moyens de communication interurbains moins développés, facilité et rendu incontestablement plus agréable son existence ? Est-il besoin de dire que l'automobile n'est pas restée là-bas un moyen de se déplacer pour son plaisir, de se délasser, mais qu'elle a toujours été ce qu'elle tend à devenir dans notre pays un moyen de transport qui transforme les possibilités d'exploitation, abaisse le prix de revient et concourt de ce fait à l'accroissement du bien être général. Mais que d'efforts pour en arriver là : quel génie dépensé dans la conception de la machine elle-même, des moyens de fabrication mis en œuvre, dans l'organisation du bureau d'études, dans le laboratoire de recherches, dans la préparation du travail d'atelier, sans parler de la création des services chargés, *en permanence*, de promouvoir les progrès dans toute l'usine, et surtout sans tenir compte de cette nécessité impérieuse d'une adaptation des services commerciaux et financiers à des conditions pareilles d'exploitation. Le travail à la chaîne ne représente pas seulement un moyen d'accélérer le montage et d'abaisser le prix de revient mais celui de maintenir automatiquement et sans aucune surveillance la cadence dans l'avancement, l'évacuation régulière et continue du produit *sans laquelle une telle usine ne pourrait se concevoir*. Le principe de la chaîne est appliqué dans toute la fabrication parce que, sans elle, la quantité de matières à l'état brut, ouvré ou demi-ouvré qui resterait engagée dans l'atelier serait telle, que la partie du capital réservée à cette seule fin, essentiellement improductive, pèserait lourdement sur le prix de revient. Grâce à une telle conception poussée jusqu'à son ultime perfection, il a été possible de réaliser ce tour de force invraisemblable

de faire que le minerai qui entre au début de la semaine au haut fourneau de l'usine, en sorte sous forme d'automobile à la fin de cette même semaine, et j'ajoute, pour que cette affirmation prenne toute sa signification, que, malgré cette rapidité, le capital stagnant reste encore de l'ordre du demi-milliard.

L'imagination a quelque peine à se représenter un tel ensemble qui constitue sans discussion possible, une des merveilles modernes dignes des plus grandes de l'antiquité.

Je ne voudrais pas m'attarder à cette vision fantastique, hallucinante de la construction mécanique appliquée à la réalisation des objets de grande valeur, en grande série ; la construction n'a pu revêtir cet aspect que dans les pays riches, puissants, au marché intérieur presque illimité dans ses possibilités. Elle n'a pu se développer sur un tel plan, pas plus chez nous qu'ailleurs, pour la fabrication du gros matériel ou du matériel spécial, tel celui qui équipe nos chemins de fer, nos centrales, etc.

*C'est pourquoi je voudrais pour terminer mon exposé, dire quelques mots de la conception et de la réalisation d'une centrale thermique moderne.*

Si l'on peut regarder l'automobile et l'avion — dont je regrette de n'avoir pas eu le temps de montrer les particularités techniques qui ont assuré son rapide succès — comme ayant été le pôle attractif vers lequel ont convergé tous les efforts pour donner à la technique de la mécanique dans les domaines qui relèvent de la fabrication et de l'organisation, *sa plus haute perfection*, on peut dire qu'un second pôle non moins puissant a existé dans le domaine plus particulier de la science appliquée, problème à la solution duquel des milliers de savants et de techniciens se sont attachés avec une persévérance et une fécondité tout-à-fait remarquables, je veux parler de *la centrale électrique moderne.*

La mise au point de cet ensemble qui dispense aujourd'hui

d'hui dans le monde civilisé, la lumière et la force motrice, est le résultat du groupement de tous les progrès réalisés dans toutes les directions tracées par les diverses sciences appliquées : physique industrielle, électrotechnique, mécanique appliquée, résistance des matériaux, chimie, métallurgie. Elle suppose en effet, une mise au point de la turbine à vapeur pour les plus grandes puissances et d'une manière générale des turbo-machines accessoires, pompes centrifuges d'alimentation, de circulation, d'extraction, ventilateur de tirage, etc. Elle suppose la mise au point de la technique électrique appliquée à la construction non seulement de la génératrice de grande puissance, à grande vitesse périphérique, mais encore de tout l'appareillage de la haute tension nécessitée pour le transport de l'énergie à grande distance. Elle suppose enfin la mise au point des chaudières pour des pressions et des surchauffes de plus en plus élevées, avec tous leurs accessoires, réchauffeur, réchauffe-air, convoyeur de charbon, chargeur automatique, etc.

Je ne pourrais entrer dans des détails faute de temps, mais je citerai quelques chiffres et quelques faits qui feront ressortir pour le profane l'invraisemblable complication d'un ensemble dont la beauté ne saurait être mise en doute, si l'on veut bien contempler ce chef d'œuvre de la science moderne en faisant intervenir non seulement ses yeux, mais son cerveau.

Si le problème s'était posé il y a trente ans de concentrer en une seule usine, la force motrice correspondant à 50.000 kW, au temps où la machine motrice à vapeur à piston était la seule possible, il aurait fallu grouper 16 machines de 5000 chevaux <sup>(\*)</sup>, dont 2 de réserve, qui auraient occupé un emplacement de 250 m. de long sur 25 m. de large soit 6250 m<sup>2</sup>. Avec les chaudières qui se construisaient alors en unités de 500 m<sup>2</sup> au maximum, l'emplacement

<sup>(\*)</sup> Voir planche II, fig. 15. Une machine à piston de 5000 chevaux et fig. 17, une centrale à piston de 45.000 chevaux.

total d'une telle centrale eût été de 250 m. de long sur 55 m. de large soit 13.750 m<sup>2</sup> dont 7650 m<sup>2</sup> pour les 48 chaudières, et 1900 m<sup>2</sup> pour le tableau et les services électriques accessoires.

Ne cherchons pas à nous représenter ce que serait devenue la manutention du charbon et des cendrées dans un tel ensemble à une époque où les moyens de manutention n'étaient pas appliqués systématiquement. Ce qui fera mieux comprendre le progrès que toute description, ce sont les chiffres que je vais mettre en regard des premiers.

Au lieu des 16 machines occupant une surface horizontale de 6250 m<sup>2</sup>, 3 turbines de 25.000 kW<sup>(10)</sup> dont une de réserve, exigeant 1050 m<sup>2</sup> seulement, soit 6 fois moins, suffiraient aujourd'hui pour produire la même puissance. Au lieu des 48 chaudières, 6 chaudières réparties dans un bâtiment de 1200 m<sup>2</sup> assument la fourniture des quelques 250 tonnes de vapeur nécessaires à l'heure. Le chargement se faisant mécaniquement, la manutention du charbon serait assurée dans un tel ensemble, par convoyeurs partant de la fosse où viennent se vider les wagons de 40 tonnes ; des moyens analogues seraient réalisés pour l'évacuation des cendrées. Le personnel total pourrait être ramené dans ces conditions à 20 par pose, contre 200 dans le système ancien.

Quant à la consommation en charbon par kWh, on peut dire qu'elle est passée pour une telle centrale de 1 kg. 5 à 0,500 kg. soit le tiers d'il y a trente ans. Pour atteindre ce résultat il a fallu porter la pression des chaudières de 15 kg./cm<sup>2</sup> à 55 kg./cm<sup>2</sup>, la surchauffe de 325° à 450°, il a fallu alimenter les chaudières avec de l'eau distillée, car faute de cette précaution, le fonctionnement de ces chaudières serait rendu totalement impossible par suite des dépôts de sels calcaires qui viendraient rapidement obturer

<sup>(10)</sup> Voir planche II, fig. 16. Une turbine de 50.000 chevaux et une centrale à turbines de 450.000 chevaux.

le faisceau tubulaire de l'appareil évaporatoire. Ce problème du retour vers la chaudière de l'eau provenant de la condensation de la vapeur au sortir de la turbine motrice, a dû faire l'objet d'une étude toute spéciale pour empêcher cette eau de se charger à nouveau de l'oxygène de l'air avant sa réintroduction dans la chaudière. Pour remplacer la quantité d'eau qui est perdue dans le circuit continu qui s'établit entre les chaudières et les turbines, puis entre les turbines et les chaudières, quantité qui dans les meilleures installations reste d'au moins 4 à 5 %, il a fallu introduire des appareils capables de fournir l'eau d'appoint sous forme d'eau distillée.

Avec les pressions réalisées, il est nécessaire en plus de maintenir l'eau de la chaudière dans un état chimique bien déterminé, sans lequel on aboutirait à une oxydation rapide et dangereuse de la partie interne de l'appareil évaporatoire ou à un primage c'est-à-dire un entraînement d'eau par la vapeur qui va aux turbines, entraînement qui mettrait celles-ci en danger.

Ai-je besoin de dire qu'avec une telle installation, bien en ordre, bien exploitée, le prix de revient du kWh a pu être abaissé considérablement, si on le compare à celui qui pouvait être atteint il y a trente ans ? En tenant compte de la diminution de la main-d'œuvre dans le rapport de 10 à 1, de la diminution de la consommation dans le rapport de 3 à 1, de la possibilité d'utiliser des charbons de moindre qualité par l'emploi des grilles mécaniques et du charbon pulvérisé, on arrive à ce résultat que, charges financières comprises, le kWh. revient à la centrale à 14 centimes contre 60 centimes accessible il y a trente ans avec la machine à vapeur à piston, pour une utilisation moyenne correspondant au 1/3 de la puissance installée.

Il est temps de conclure car je craindrais d'abuser de votre patience. Ce qui domine dans cette évolution de la



mécanique des trente ou quarante dernières années, c'est le rôle de la science, ou si vous voulez plus modestement, de la *recherche systématique sur un programme d'ordre assez général*, des problèmes posés par le bureau d'études et cela en s'aidant de tous les moyens d'investigation que peuvent donner les mathématiques et l'expérimentation scientifique ; c'est aussi, il faut l'ajouter, *le perfectionnement de la technique dans la fabrication*, dominée par la division et l'organisation scientifique du travail et par le développement des moyens de contrôle. La rapidité des progrès qui s'est accentuée d'année en année, est venue de la répercussion l'une sur l'autre, des améliorations apportées dans des domaines voisins. Ai-je besoin d'insister ? la découverte d'un acier à outil d'une dureté voisine du diamant, va provoquer une transformation de la machine-outil et de l'outillage qui par voie de conséquence aura sa répercussion non seulement sur le prix de revient, des objets fabriqués mais encore sur la qualité, sur la précision de l'usinage, puisque l'outil pourra travailler sans aucune usure appréciable. Il ne s'agit là que d'un exemple entre mille, mais qui montre bien les conséquences que peut entraîner un seul perfectionnement d'apparence modeste à première vue.

Est-il possible de distinguer les tendances actuelles dans la voie du progrès : cela n'est pas facile, on le conçoit, à travers le dédale des découvertes et des perfectionnements qui se succèdent en réagissant les uns sur les autres. L'amélioration des matériaux mis à la disposition du constructeur mécanicien, la possibilité de traiter ces matériaux pour leur donner des qualités particulières, une dureté superficielle très grande, notamment, sans nuire à leurs qualités de résistance aux efforts extérieurs ou aux chocs, laissent entrevoir des perfectionnements importants dans les moteurs à grandes vitesses, tels les moteurs d'automobile et d'avion, dont la durée est augmentée *en même temps que la permanence*

*de leur bon fonctionnement reste assurée, puisque sans usure, l'appareil reste constamment identique à lui-même.*

L'utilisation des alliages légers à grande résistance permet d'entrevoir également des perfectionnements dans le matériel de transport par fer et par route, par la diminution du poids mort. Enfin l'étude des fabrications par les procédés de matricage et d'emboutissage généralisés, donnent le moyen d'abaisser le prix de revient de bien des appareils de grande consommation, moteurs électriques de faibles puissances, instruments ménagers, etc.

Malheureusement, me direz-vous, tous ces progrès tendent à éliminer non seulement l'emploi de la main-d'œuvre qualifiée, mais l'emploi de la main-d'œuvre tout court, et cela n'est pas douteux. D'autre part, la conception actuelle, qui exige pour beaucoup de spécialités, une organisation très poussée des services d'études et de recherche, un outillage important et coûteux, donne à la direction chargée d'orienter la fabrication, une responsabilité écrasante et à l'entreprise une certaine précarité qui n'existait pas à ce degré dans le passé ; il suffit parfois d'une erreur psychologique sur les goûts futurs de la clientèle — c'est le cas notamment en automobile — pour anéantir pendant longtemps les espérances financières de l'entreprise. Si j'ajoute qu'à l'heure grave que nous traversons la difficulté d'orientation est encore accrue par la nécessité de travailler pour un marché de plus en plus étendu dont l'importance est soumise aux fluctuations de la politique, vous pourrez aisément comprendre comment ce merveilleux édifice dressé par un siècle de progrès, dans le domaine de la mécanique, *mère de toute industrie*, paraît menacé.

Le danger ne vient pas de la tendance des hommes à augmenter de plus en plus la productivité du travail humain, par l'introduction de la machine, puisque cette tendance a toujours existé depuis les temps les plus reculés, que tous

les progrès sont sortis de cette volonté des hommes de se libérer des tâches lourdes et déprimantes et d'augmenter pour un effort donné, la somme des biens disponibles. Est-il besoin d'insister ici pour faire comprendre qu'en définitive l'augmentation du bien-être collectif ne peut être que le résultat d'un accroissement de la productivité de l'homme, par le travail rationnellement organisé et par l'emploi intensif de la machine.

Le danger présent vient de ce que les besoins dont la mécanique peut assurer, directement ou indirectement, la satisfaction, n'augmentent pas assez vite pour permettre aux ouvriers libérés de leur tâche ancienne par l'emploi de la machine, de trouver une activité utilement orientée vers d'autres fins.

Pour que tout cet immense effort dont j'espère vous avoir donné une idée suffisamment haute et juste n'aboutisse pas finalement à un échec, il faut que l'humanité se rende compte clairement qu'il y a une limite aux possibilités, que cet accroissement du bien-être matériel ne peut se continuer indéfiniment à l'allure que nous lui avons connue, qu'en tout cas, cet accroissement du bien-être ne peut être que la conséquence à la fois d'une amélioration des moyens de production et d'une élévation constante du niveau intellectuel et moral de la masse.

Il faut surtout que les hommes comprennent intensément ce qu'ils doivent au passé, soient prêts à défendre ce qui en a fait la fécondité depuis un siècle : le sentiment de liberté dans son sens le plus large et le plus élevé ; il faut aussi que, luttant contre leur propre égoïsme, ils réalisent de plus en plus profondément, ce qui fera la grandeur du siècle qui s'ouvre, à moins qu'il ne faillisse définitivement à sa tâche : la solidarité.

val

N



N<sub>e</sub>



Planche I. – Machines motrices à piston, à vapeur et à gaz, de 50 chevaux effectifs, à la même échelle

Type Newcomen (1823)

Machines d'exhaure des Charbonnages de Bascoup 1833

$N_e = 50$  chevaux     $N = 10$  t/m     $p_a = 1,5$  kg/cm<sup>2</sup>

A titre de comparaison, ci-dessous à la même échelle, la pompe centrifuge électrique 1933 pour les mêmes conditions de service

$Q = 45$  m<sup>3</sup>/h     $H = 300$  m     $N = 2900$  t/m

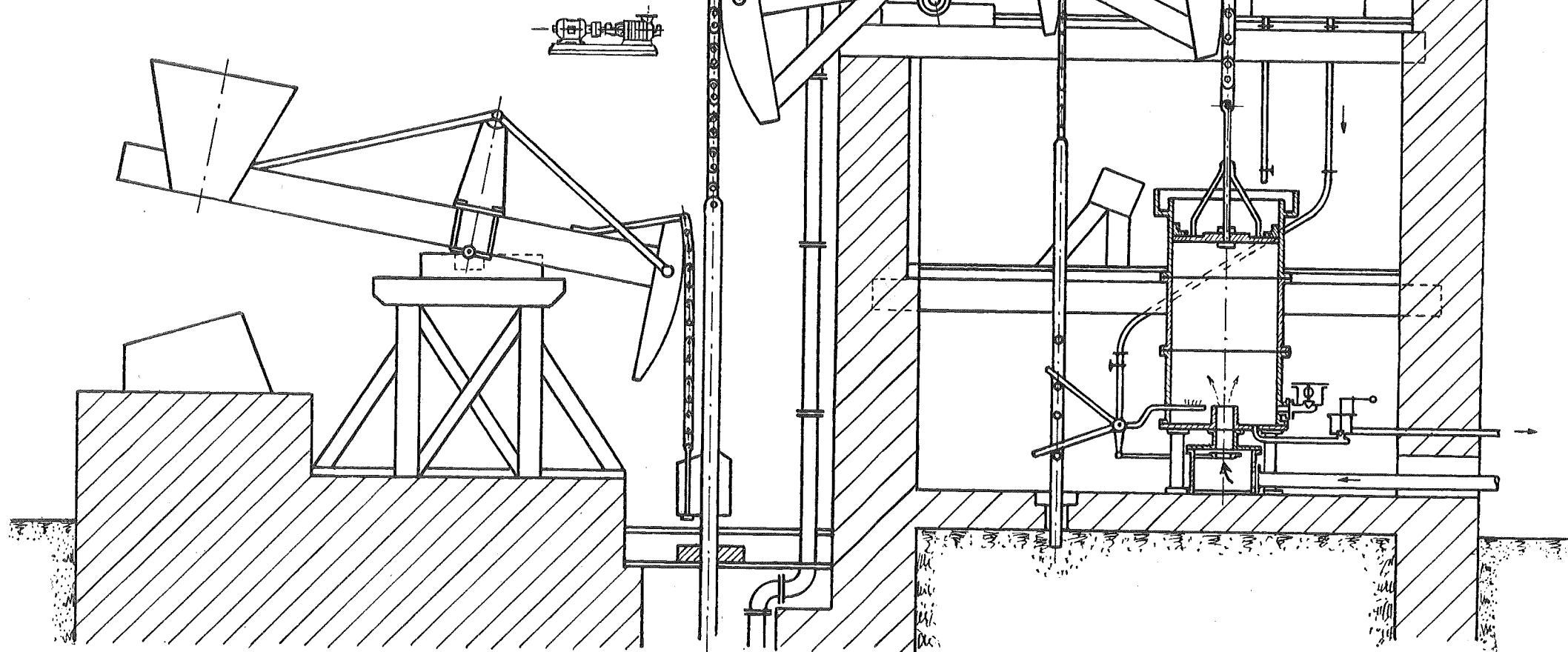


FIG. 1

Type Watt (1833)

$N_e = 50$  chevaux     $N = 30$  t/m     $p_a = 4$  kg/cm<sup>2</sup>

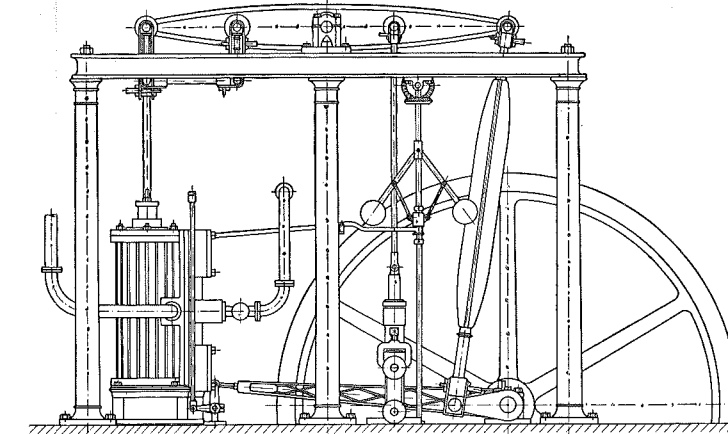


FIG. 2

Type Otto (1900)

$N_e = 50$  chevaux     $N = 180$  t/m

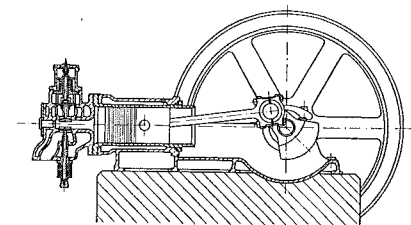
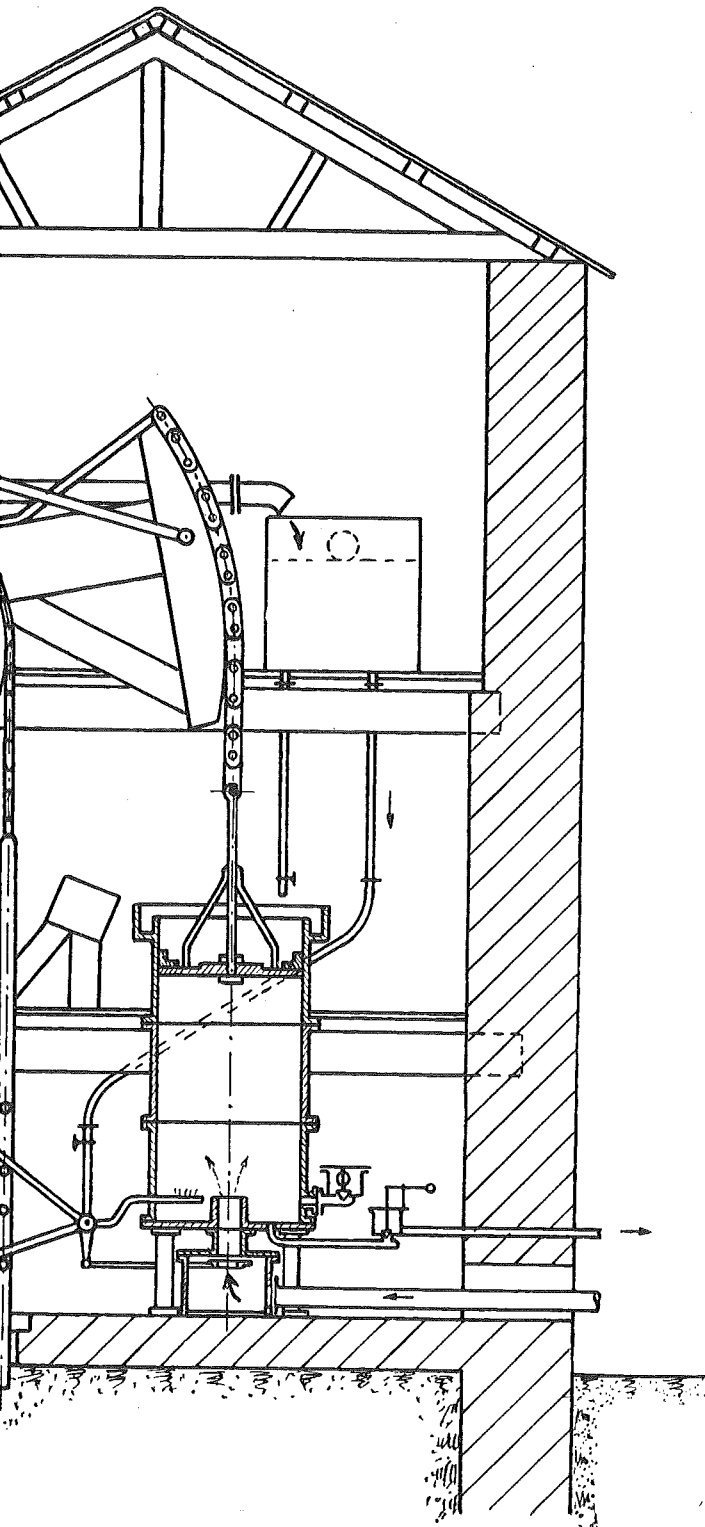


FIG. 5

achines à piston, à vapeur et à gaz, de 50 chevaux effectifs, à la même échelle 1/100° de 1833 à 1933



Type Watt (1833)

$N_e = 50$  chevaux  $N = 30$  t/m  $p_a = 4$  kg/cm<sup>2</sup>

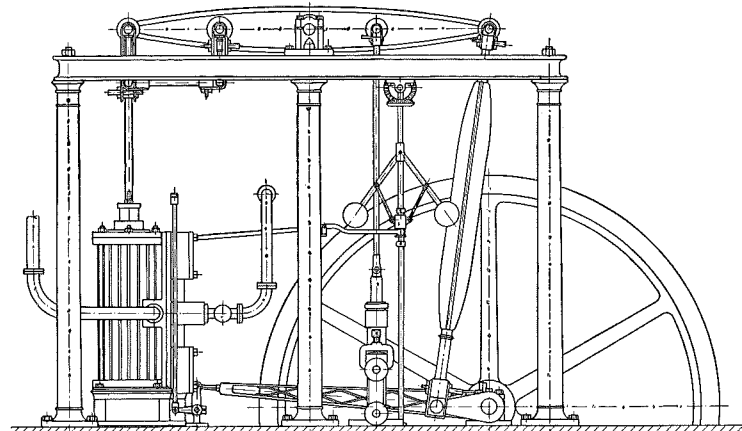


FIG. 2

Type Sulzer (1873)

$N_e = 50$  chevaux  $N = 45$  t/m  $p_a = 6$  kg/cm<sup>2</sup>

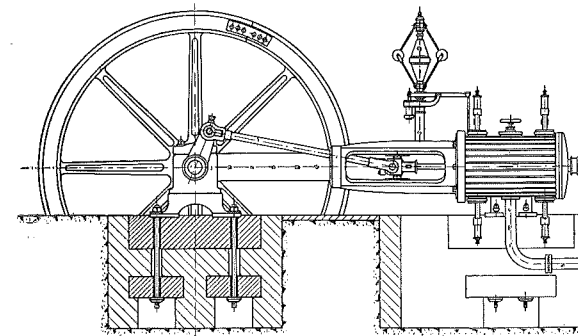


FIG. 3

Type Walschaert (1933)

$N_e = 50$  chevaux  
 $N = 300$  t/m  
 $p_a = 12$  kg/cm<sup>2</sup>

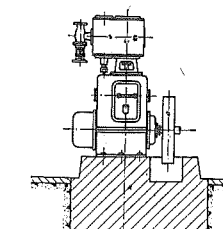


FIG. 4

Type Otto (1900)  
 $N_e = 50$  chevaux  $N = 180$  t/m

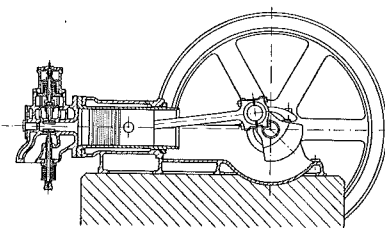


FIG. 5

Type Cockerill (1900)

Soufflante à gaz de 600 chevaux à 60 t/m

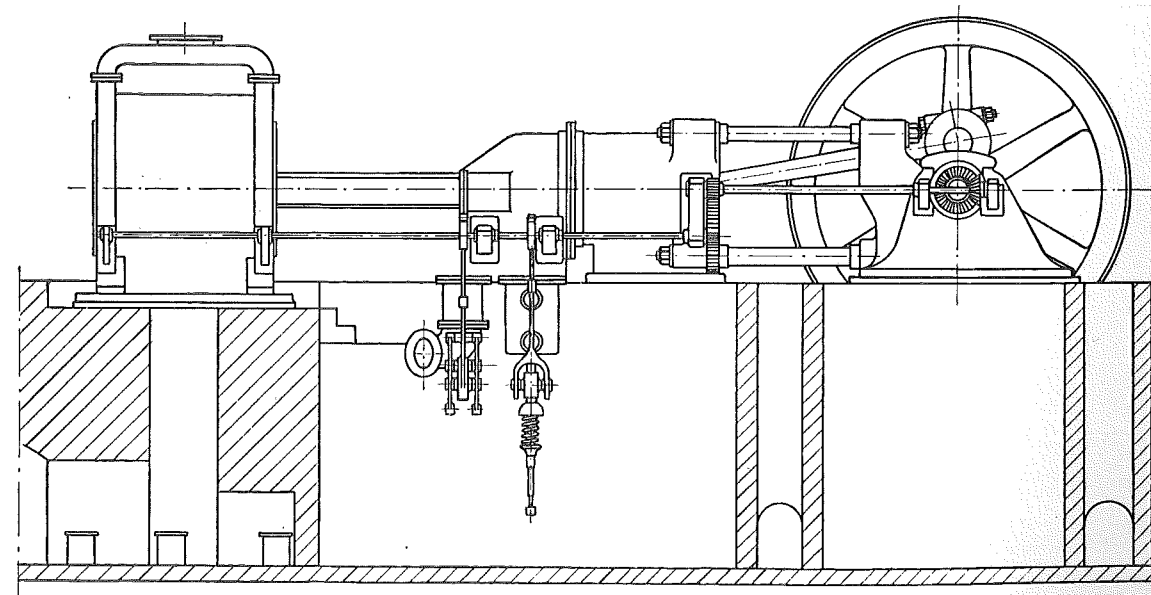
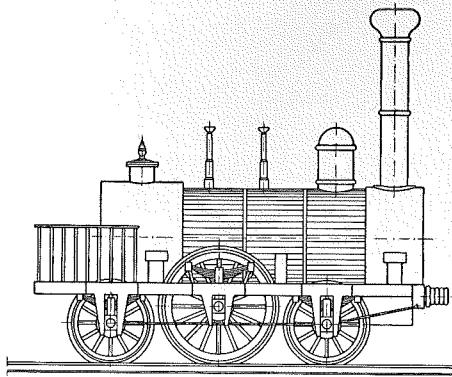


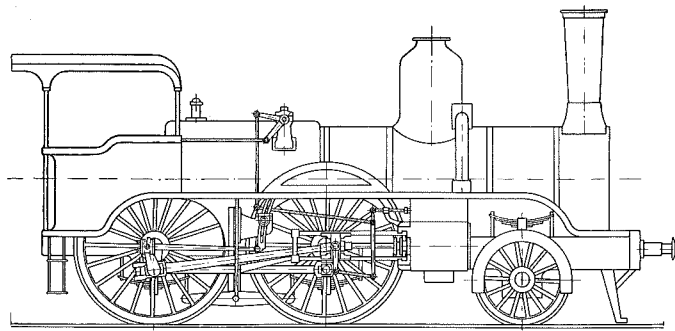
FIG. 6

Planche II. – La Locomotive, l'Automobile, la Cen



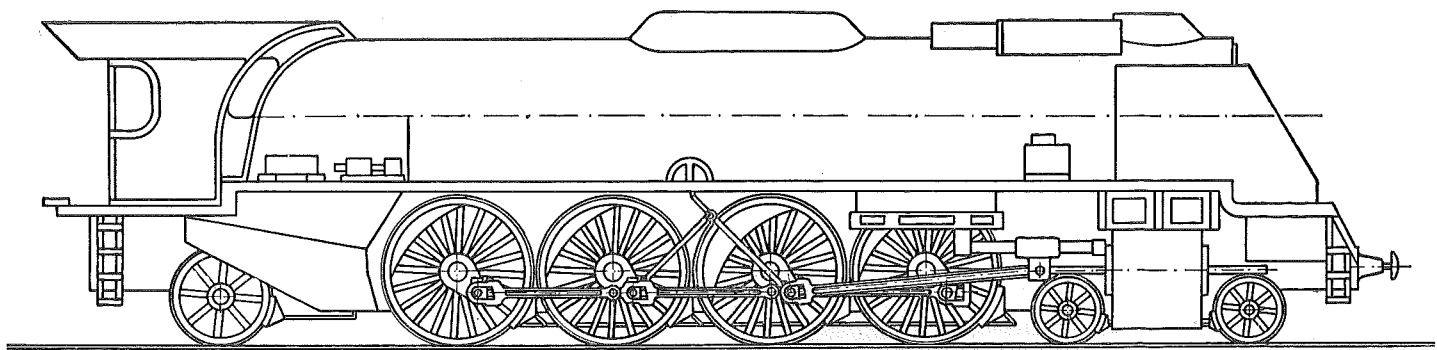
1833  
 Poids ..... 8700 kg.  
 Puissance ..... 150 chevaux.  
 Prix ..... 800.000 fr.

FIG. 8 (Echelle 1/100<sup>e</sup>)



1873  
 Poids ..... 35.000 kg.  
 Puissance ..... 750 chevaux.  
 Prix ..... 1.000.000 fr.

FIG. 9 (Echelle 1/100<sup>e</sup>)



1933      Poids : 120.000 kg.      Puissance : 2200 chevaux.      Prix : 1.200.000 fr.

FIG. 10 (Echelle 1/100<sup>e</sup>)

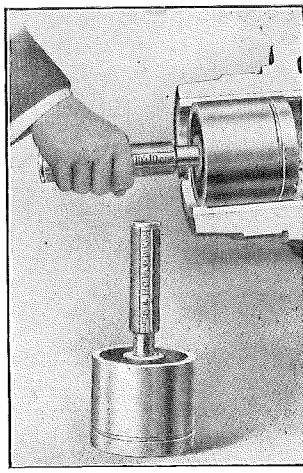
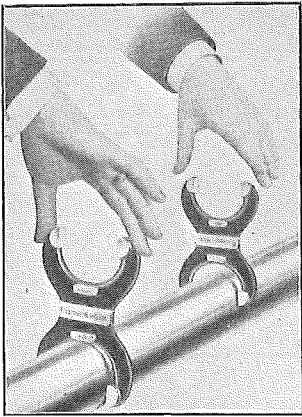


FIG. 11 et 12

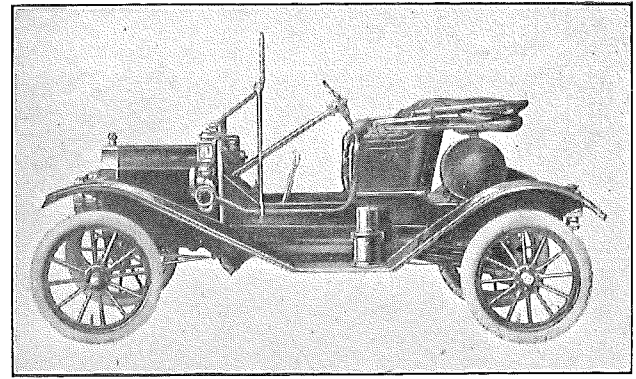
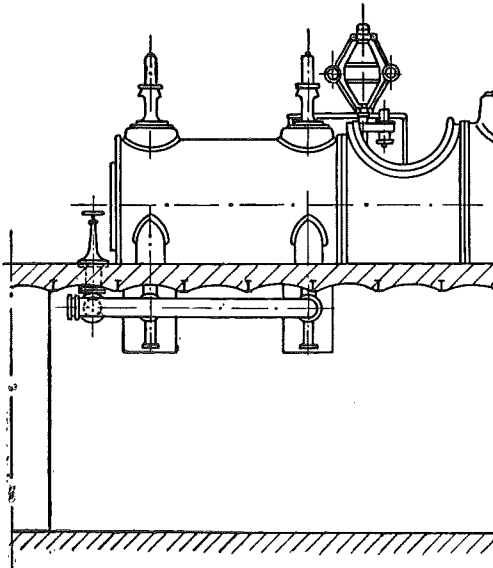


FIG. 13  
 1908  
 Prix :  
 50.000 fr.  
 Puissance :  
 20 chevaux.

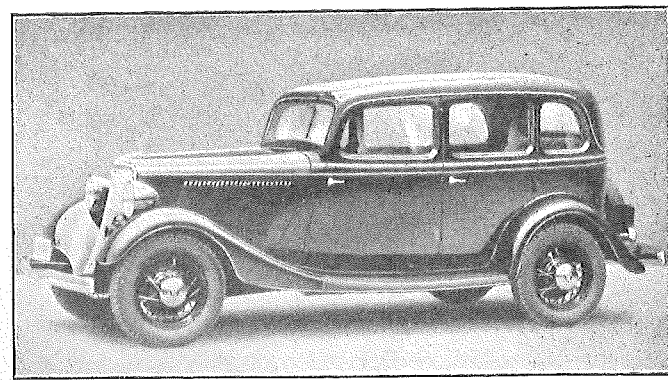
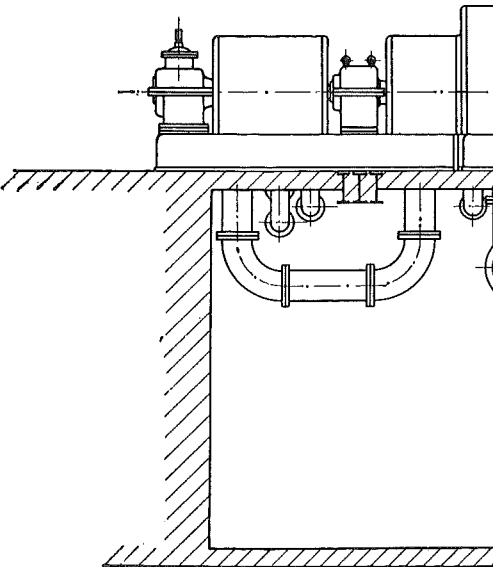


FIG. 14  
 1933  
 Prix :  
 15.000 fr.  
 Puissance :  
 90 chevaux.

FIG. 11 et 12

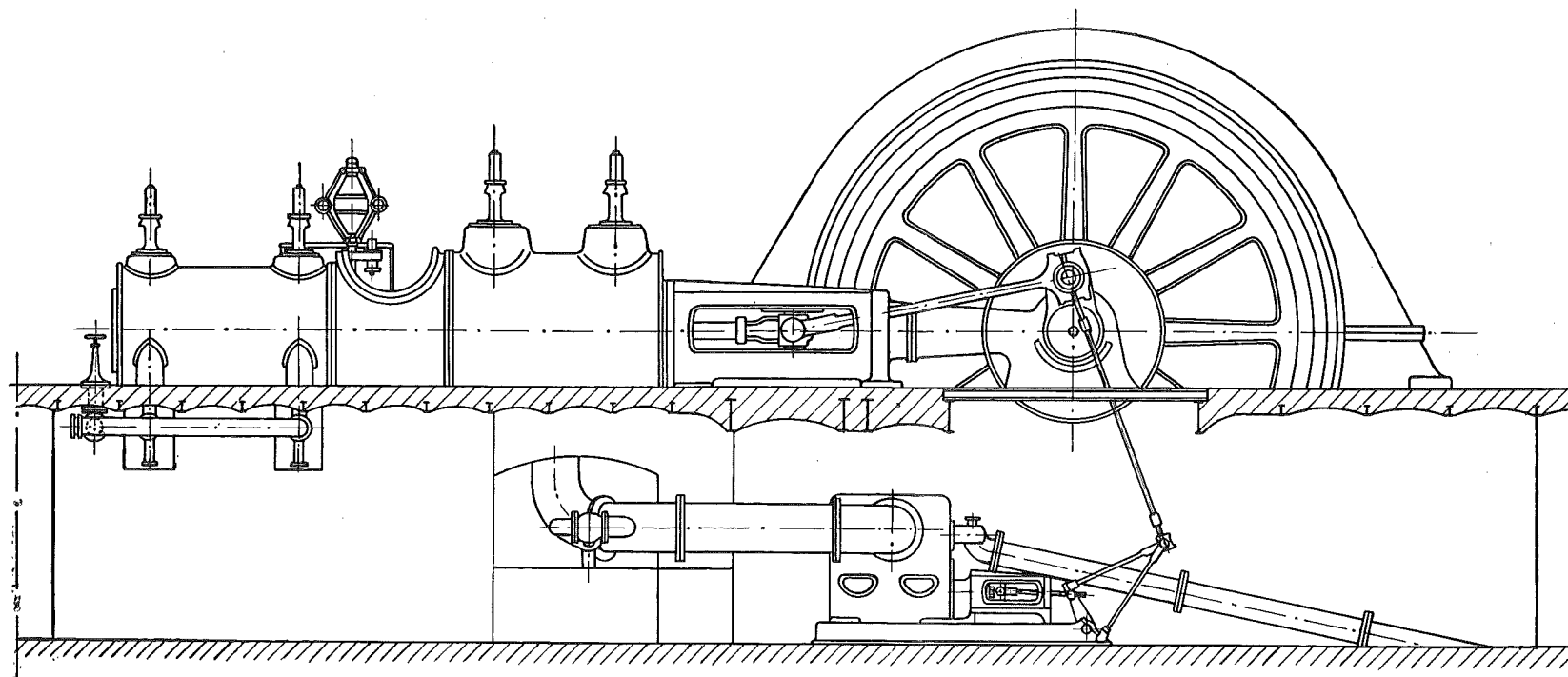


FIG. 13

1908

Prix :

50.000 fr.

Puissance :

20 chevaux.

FIG. 14

1933

Prix :

15.000 fr.

Puissance :

90 chevaux.

FIG. 15 (Echelle 1/100<sup>e</sup>)

Machine à piston à vapeur de 5000 chevaux

FIG. 16 (Echelle 1/100<sup>e</sup>)

Turbine à vapeur de 50.000 chevaux

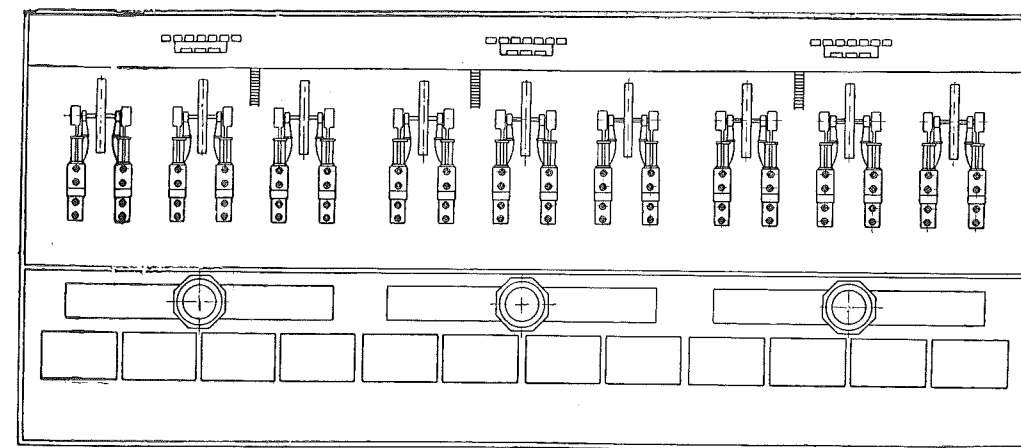


FIG. 17 (Echelle 1/1000<sup>e</sup>)

Centrale avec machine à vapeur à piston de 45.000 chevaux

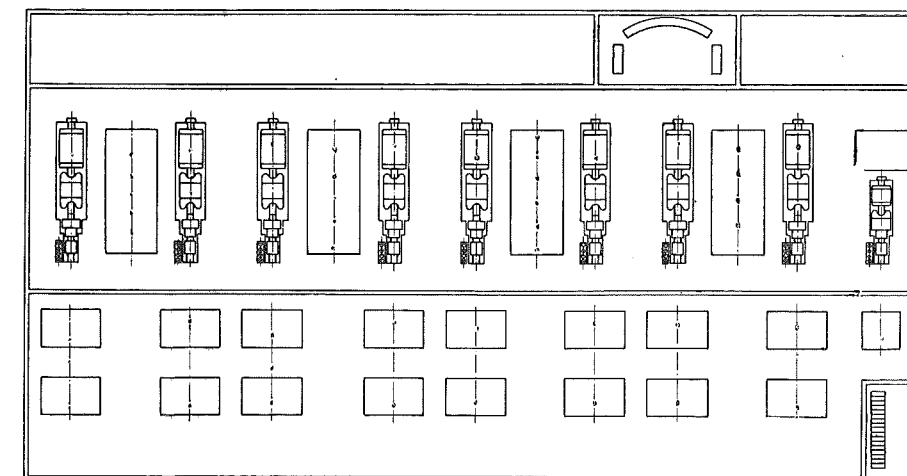


FIG. 18 (Echelle 1/1000<sup>e</sup>)

Centrale avec turbine à vapeur de 450.000 chevaux